

SAVURMA DÖKÜM YÖNTEMİYLE METAL
MATRİKSLİ KOMPOZİT MALZEME
ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ersan MERTGENÇ

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Yılmaz Yalçın

METAL EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Ağustos 2004

“Bu tez çalışması “031.TEF.02” numaralı proje olarak A.K.Ü BAPK tarafından desteklenmiştir.”

T.C.
AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAVURMA DÖKÜM YÖNTEMİYLE METAL
MATRİKSLİ KOMPOZİT MALZEME
ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI

Ersan MERTGENÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Metal Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Yılmaz Yalçın

AFYON
2004

Ersan MERTGENÇ'in yüksek lisans tezi olarak hazırladığı "Savurma Döküm Yöntemiyle Metal Matriksli Kompozit Malzeme Üretiminin Araştırılması" başlıklı bu çalışma, lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

... / ... /

Jüri Üyesi : Prof Dr. Galip SAİD
(Başkan)

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Yılmaz YALÇIN
(Danışman)

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Süleyman TAŞGETİREN

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nunGün
vesayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Recep ASLAN
Enstitü Müdürü

SAVURMA DÖKÜM YÖNTEMİYLE METAL MATRİKSLİ KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Bu çalışmada, savurma döküm yöntemiyle SiC partikül takviyeli alüminyum matriksli kompozit üretimi araştırılmıştır. Bu amaçla, SiC pota içerisine koyulan Etial 171 Al-Si alaşımı ergitme fırınında ergitilmiştir. Sıvı alaşım, şamot ile kaplanmış paslanmaz çelik pervane yardımıyla karıştırılmıştır. Ön ısıtmaya tabi tutulan SiC partikülleri, hacimce %5, %10, %15 ve %20 SiC partikül takviyeli Al esaslı MMK üretmek için oluşan vorteks içine ilave edilmiştir. Kompozit karışımı 750 °C'ye çıkarılıp yaklaşık 20 sn karıştırıldıktan sonra metal (kokil) döküm ve savurma döküm ile dökülmüştür. Her iki kalıp, 250 °C'ye kadar ısıtılmış ve yapışmayı önlemek için iç kısımları talk ile kaplanmıştır. Bu kompozitlerin mikroyapısal ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Deneysel incelemeler, kokil döküm kompozitlerin tatmin edici sonuçlar verdiği halde savurma dökümden beklenen özelliklerin elde edilemediğini göstermiştir. SiC partiküllerin silindirik kompozitin kesitinde dış kısımda dağılması beklenirken iç kısımda dağılmıştır. Ayrıca savurma döküm kompozitler yüksek miktarda poroziteye sahiptir ve bu, mekanik özellikleri negatif yönde etkiler. Hem kokil döküm kompozit hem de savurma döküm kompozit için artan partikül hacim oranı ile çekme mukavemeti düşmüş, sertlik ise artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Metal Matriksli Kompozit, Vorteks, Savurma Döküm

INVESTIGATION OF METAL MATRIX COMPOSITE MATERIALS PRODUCTION BY CENTRIFUGAL CASTING

ABSTRACT

In this study, production of SiC particle reinforced aluminum matrix composites by centrifugal casting has been investigated. For this purpose, Eial 171 Al – Si alloys put in the SiC crucible was melted by means of a melting furnace. Liquid alloy was stirred by a stainless steel impeller coated with fireclay. Preheated SiC particles were added into the formed vortex to obtain 5, 10, 15, 20 vol % SiC reinforced aluminum based MMCs. After the composite mixture was allowed to reach to 750 °C and was stirred for 20 sec, it was poured by die casting and centrifugal casting. Both moulds were heated up to 250 °C and their inner parts were coated with talc to avoid the castings adherence to the moulds. Microstructural and mechanical properties of these composites were investigated. Experimental evaluations showed that it could not be obtained desired properties for centrifugal casting composites, while die casting composites give satisfactory results. SiC particles distributed around inner part of cross section of the cylindrical composites, whereas their distributions are expected around outer part. Furthermore, centrifugal casting composites have higher porosity and this negatively affects the mechanical properties. Their hardness increase, but their ultimate tensile strength decrease with increasing SiCp content in both die casting composite and centrifugal casting composite.

Key Words: Metal Matrix Composite, Vortex, Centrifugal Casting

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLOLAR LİSTESİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KOMPOZİT MALZEMELER.....	4
2.1 Giriş.....	4
2.2 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	6
2.2.1. Polimer Matriksli Kompozitler.....	7
2.2.2. Seramik Matriksli Kompozitler.....	8
2.2.3. Metal Matriksli Kompozitler	9
2.2.3.1 Sürekli Fiber Takviyeli MMK Malzemeler	13
2.2.3.2 Kısa Fiber Takviyeli MMK Malzemeler	13
2.2.3.3 Parçacık Takviyeli MMK Malzemeler.....	14
2.3 MMK Malzemelerin Mekanik Özellikleri	14
2.4. MMK Malzemelerin Üretim Yöntemleri	14
2.4.1 Sıvı Faz Üretim Yöntemleri	15
2.4.1.1 Sıvı Metal-Seramik Partikül Karıştırma (Vorteks) Yöntemi .	15
2.4.1.2 Ergimiş Metal Emdirme Yöntemi (Sıvı İnfiltrasyon)	19
2.4.1.3 Sıkıştırma Döküm Yöntemi.....	20
2.4.2 Katı Faz Üretim Yöntemleri.....	21
2.4.3 Reaksiyon (İn-Situ) Kompozit Üretim Teknikleri.....	21
2.5 Matriks Malzemeleri ve Özellikleri	21
2.6 Takviye Malzemeleri ve Özellikleri	22
2.7 Savurma Döküm Yöntemi ile MMK Malzemelerin Üretilmesi.....	24
2.7.1 Savurma Döküm	24
2.7.1.1 Savurma Döküm Çeşitleri.....	26
2.7.1.2 Savurma Dökümün Uygulama Alanları	27
2.7.1.3 Savurma Döküm Kalitesini Etkileyen Faktörler.....	28
2.7.1.4 Savurma Döküm Makineleri	29
2.7.2 Savurma Döküm Makinelerinde Kullanılan Kalıplar	31
2.7.2.1 Değişken Kalıplar	31
2.7.2.2 Sabit Kalıplar	31
2.7.2.3 Grafit/Karbon Kalıplar	32
2.7.2.4 Metal Kalıplar	32
3. MATERYAL ve METOT	33
3.1 Giriş.....	33
3.2 Matriks Alaşımı ve Takviye Malzemesi.....	33

3.2.1 Matriks Alaşımı	33
3.2.2 Takviye malzemesi	33
3.3 Kompozitlerin Üretiminde Kullanılan Cihazlar.....	34
3.3.1 Ergitme Fırını	34
3.3.2 Savurma Döküm Makinesi	34
3.4 Kompozit Malzemelerin Üretimi.....	34
3.5 Kompozit Malzemeler	36
3.5.1 Kokil Döküm Kompozit Malzeme	36
3.5.2 Savurma Döküm Kompozit Malzeme.....	36
3.6 Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu.....	36
3.6.1 Mikroyapı İncelemeleri.....	36
3.6.1.1 Optik Mikroskop İncelemeleri	36
3.6.1.2 Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) İncelemeleri	37
3.6.2 Uygulanan Testler.....	38
3.6.2.2 Çekme Deneyi.....	38
4. DENEYSEL BULGULAR VE İRDELEME	41
4.1 Giriş	41
4.2 Mikroyapı Analizi	41
4.2.1 Optik Mikroskop Analizi.....	41
4.2.2 SEM Analizleri	44
4.3 Sertlik Deneyi Verileri	48
4.4 Çekme Deneyi.....	50
4.5 Deneysel Bulguların İrdelenmesi.....	51
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	54
5.1 Sonuçlar	54
5.2 Öneriler.....	55
KAYNAKLAR	56
TEŞEKKÜR.....	60
ÖZGEÇMİŞ.....	61

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
Al	Alüminyum
SiC	Silisyum Karbür
HB	Brinell Sertliği

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
<i>MMK</i>	Metal Matriksli Kompozit
<i>Max</i>	Maksimum
<i>Min</i>	Minimum
<i>MPa</i>	Mega Pascal
<i>SEM</i>	Scanning Electron Microscope

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Kompozit malzemelerin üretildikleri malzeme sınıfları.....	4
Şekil 2.2 Piyasada yaygın olarak kullanılan polimerler ve tüketim oranları	8
Şekil 2.3 Çeşitli motor malzemelerinin kullanım sıcaklığı ve mukavemet/ağırlık oranına göre performans haritaları	10
Şekil 2.4 MMK'lerin sektörlere göre kullanım oranları	11
Şekil 2.5 Takviye elemanına bağlı olarak kompozit şekilleri	13
Şekil 2.6 Vorteks yönteminin şematik görünümü	18
Şekil 2.7 İnfiltrasyonla MMK malzeme üretiminde en yaygın olarak kullanılan cihazın şematik olarak gösterilişi	20
Şekil 2.8 Sıkıştırma döküm yönteminin şematik olarak gösterilişi	20
Şekil 2.9 Katı – Sıvı – Gaz fazlarının temas açısı	24
Şekil 2.10 Savurma dökümle üretilebilecek parça şekilleri.....	25
Şekil 2.11 Yatay savurma döküm makinesi ile boru üretiminin görünüşü	30
Şekil 2.12 Yatay savurma döküm makinesi ile üretilebilen şekiller.....	30
Şekil 2.13 Yatay dönüş eksenli savurma döküm makinesi.....	31
Şekil 3.1 Kompozit üretiminde kullanılan cihaz ve ekipmanlar	35
Şekil 3.2 Optik mikroskop	37
Şekil 3.3 SEM	38
Şekil 3.4 Sertlik deneyi cihazı	39
Şekil 3.5 Çekme deneyi cihazı	39
Şekil 3.6 Çekme deneyi numunesi.....	40
Şekil 4.1 Etial 171 Al-Si alaşımı matriks malzemenin optik mikroyapı fotoğrafı.....	41
Şekil 4.2: Kokil dökümle elde edilmiş SiC içeren kompozit malzemelere ait optik mikroyapı fotoğrafları.....	42
Şekil 4.3 Savurma döküm ile üretilen kompozitlerin makro görünüşleri ...	43
Şekil 4.4: Savurma döküm ile şekillendirilen matriks malzemesine ait optik mikroyapı fotoğrafları	44
Şekil 4.5: Savurma dökümle elde edilmiş SiC içeren kompozit malzemelere ait optik mikroyapı fotoğrafları.....	45
Şekil 4.6 Kokil döküm kompozitlerin SEM fotoğrafları.....	46
Şekil 4.7 Savurma döküm kompozitlerin SEM fotoğrafları.	47
Şekil 4.8 Savurma döküm kompozitlerin kırık yüzey SEM fotoğrafları	48
Şekil 4.9 Kompozit malzemelerin % partikül hacim oranı-sertlik ilişkisi....	49
Şekil 4.10 Kompozit malzemelerin % partikül hacim oranı-çekme mukavemeti ilişkisi.....	50

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1 Kompozit malzemelerin çeşitli kullanım alanları.....	6
Tablo 2.2 Metal matriksli kompozit döküm prosesi temel metodları.	18
Tablo 2.3 Döküm yöntemiyle MMK malzemeler ve kullanım yerleri.....	19
Tablo 2.4 Seçilmiş bazı seramik takviye malzemelerinin tipik özellikleri ...	22
Tablo 3.1 Matriks malzemenin kimyasal bileşimi.....	33
Tablo 3.2 Takviye malzemesinin (SiC) özellikleri.....	34
Tablo 4.1 Savurma ve kokil döküm kompozitlerinin sertlik değerleri.....	49
Tablo 4.2 Üretilen kompozitlerin çekme test sonuçları.....	50

1. GİRİŞ

Günümüzün modern teknolojisi uzay, uçak ve otomotiv endüstrileri gibi ileri teknoloji alanlarında kullanılmak üzere hafif, üstün ve spesifik özelliklere sahip yeni malzemelere ihtiyaç duymaktadır. Malzeme bilimciler, günlük yaşantımızı kolaylaştıracak daha üstün özelliklere sahip ve daha ekonomik malzeme arayışı içerisine girmişlerdir (Akbulut 1995). Bunun bir sonucu olarak; hafif mukavemetli ve aşınma dayanımları yüksek malzemelere olan ilgi artmıştır. Bu anlamda, teknolojinin gelişmesiyle metal matriksli kompozitlere olan ilgi bu malzemelerin gösterdikleri iyi aşınma direnci, yüksek yük taşıyabilme kapasitesi ve düşük ağırlık özelliklerinden dolayı son 25 yılda hızla yükselmiştir (Muradoğlu 1999). Kompozitler başta otomotiv endüstrisi olmak üzere (Kök 2001), uzay endüstrileri, elektronik ambalajlama ve sprey eşyaları gibi değişik alanlarda bir çok uygulama alanına sahiptir (Rodriguez 2001).

Kompozitin tanımı; İki veya daha fazla malzeme karıştırılarak özelliklerinin daha iyi olan bir malzemenin elde edilmesi olarak yapılabilmektedir Kompozit malzemeler, kullanılan matriks alaşımının kompozit bünyedeki hakimiyetine göre; Seramik, Polimer ve Metal Matriksli Kompozitler olarak sınıflandırılabilirler.

Metal matriksli kompozitlerin üretilmesinde çok değişik metodlar geliştirilmiştir. Bu metodların en çok kullanılanlarından birisi Sıvı Metal-Seramik Partikül Karıştırma Yöntemi olarak adlandırılan Vorteks metodudur. Vorteks metodunun temel prensibi; karıştırılmakta olan sıvı metal içerisine, oluşan vorteks ile birlikte seramik parçacıklarının katılması ve bir süre daha karıştırılarak metal kalıplara döküm işleminden ibarettir. Vorteks metodu özellikle otomotiv sektöründe olmakla birlikte diğer endüstri dallarında da karmaşık şekilli ve çok sayıdaki parça üretimine imkan sağlamaktadır.

Ünlü ve arkadaşları (1999) yaptıkları çalışmalarında; alüminyum içerisine değişik oranlarda partikül takviyesi yaparak elde edilen kompozit yapıları döküm ve toz metalürjisi yöntemiyle üretmişler ve bu üretilen malzemelerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir, partikül ilavesiyle çekme, basma, eğme, çentik darbe dayanımının azaldığı ve sertliğinin ise arttığı sonucuna ulaşmışlardır.

Azıklı ve arkadaşları (2003) Etial 171-SiC-Grafit hibrit metal matriksli kompozitlerin üretimi ve mikroyapısını incelemişlerdir. Kompozitleri, hacimce %10 SiC partikülleri ilave edilmiş Etial 171 alaşımına ilave sırasıyla, ağırlıkça %2,5 – 5 – 7,5 ve 10 oranında Cu kaplanmış grafit partekülleri eklenerek üretmişlerdir. Üretilen kompozitin mikroyapısı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Grafit partiküllerinin hacimce artışının mikrosertlik değerini artırdığını tespit etmişlerdir.

Yıldırım ve arkadaşı (2004) yaptıkları çalışmada bakır ve nikel içeren %12 Si'lu alüminyum – silisyum ötektik alaşımının kum, kokil ve basınçlı dökümlerini yaparak malzemelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerini karşılaştırmışlardır. Basınçlı döküm yönteminin kullanılması mekanik özellikler ve mikroyapı açısından daha elverişli olduğunu kaydetmişlerdir.

Metal matriksli kompozit üretim yöntemlerinden bir başkası da savurma dökümdür. Savurma dökümde; kalıp döndüğü için eriyik merkezkaç kuvvetinden yararlanarak kalıbın şekline göre katılma sağlamaktadır. Ayrıca bu teknik ile sıvı metal cidarlara yüksek hızla fırlatıldığı için taneler ince yapılı olup, gaz boşlukları azdır (Ersümer 1986). Bu yöntemin en önemli özelliği ise yoğunlukları farklı metal alaşımlarının dökülmesinde yoğunluğu yüksek olanın çeperde, düşük olanın ise iç yüzeyde toplanmasıdır. Bu durum dezavantaj gibi gözükse de kompozit üretiminde büyük bir avantaj olabilmektedir.

Vorteks metoduyla kompozit üretimi konusunda çok sayıda çalışma yapılmış olmasına rağmen savurma döküm yöntemiyle yapılan çalışmalar son derece sınırlıdır. Rodriguez ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada savurma döküm yöntemi kompozit üretiminde kullanılmamış, Duralcan firması tarafından üretilen kompozit malzemeler ergitilerek savurma döküm yöntemiyle şekillendirilmiştir (Rodriguez 2001).

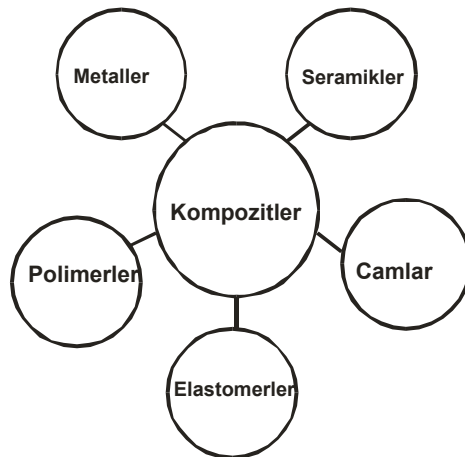
Savurma döküm yönteminde yoğunluk farkından dolayı tabakalı bir yapının oluşması kompozit üretimi için bir avantaj olarak kullanılabilir. Bu çalışmanın amacı söz konusu avantajın araştırılmasıdır. Matriks malzeme olarak kullanılan Etial 171 Al-Si alaşımının yoğunluğu ($d_{Al} = 2.68 \text{ gr/cm}^3$) SiC partiküllerinden ($d_{SiC} = 3.21 \text{ gr/cm}^3$) düşük olduğundan savurma döküm ile üretilecek kompozit bünyesinde sert SiC partiküllerinin dış çeperde toplanması beklenmektedir. Bundan beklenen yarar ise, aşınma direnci daha iyi bir dış yüzey elde edebilmektir. Bu nedenle bu çalışmada elektrikli ergitme fırınında SiC pota içerisinde eritilen Al-Si matriks alaşımı şamot ile kaplanmış pervane yardımıyla karıştırılarak oluşan vorteks içine değişik hacim oranlarında SiC partikülleri ilave edildikten sonra elde edilen karışım iki yöntemle katılaştırılmıştır. İlkinde karışım doğrudan metal kalıba, ikincisinde ise savurma döküm kalıbına dökülmüştür. Her iki yöntemle üretilen SiC partikül takviyeli Al matriksli kompozitin mikroyapısal ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

2. KOMPOZİT MALZEMELER

2.1 Giriş

Kompozit terimi en geniş anlamda ele alındığında, çok kristalli bir çok metal ve metal olmayan parçaların bir arada toplanması olarak ifade edilebilir (Akbulut 1995). Kompozit malzemeler, şekil ve kimyasal bileşimleri farklı ve birbiri içerisinde pratik olarak çözünmeyen iki veya daha fazla sayıda makro bileşenin kombinasyonundan oluşan malzemeler şeklinde tanımlanabilir.

Kompozit malzemeler kendini oluşturan matriks veya takviye elemanın özelliklerinin bir kombinasyonu olarak, bu malzemelerden yeni ve daha iyi özellikler elde etmeyi sağlar. Bu özellikler, kullanım alanına göre takviye elemanı, matriks, takviye oranı, üretim yöntemi gibi parametrelerde değişiklik yapılarak elde edilebilmektedir. Bu fonksiyonel yönleri ile kompozit malzemeler geleceğin malzemesi olarak gösterilmektedir (Aydın 2003). Kompozit malzemelerin üretildikleri malzeme sınıfları Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Kompozit malzemelerin üretildikleri malzeme sınıfları (Akbulut 1995).

Metal matriksli kompozit malzemeler günümüzde malzeme biliminin üzerinde en fazla çalışılan konularından birisi haline gelmiştir. Bu malzemelerin ortaya çıkışı insanların ihtiyaçları doğrultusunda gelişmektedir. İnsanoğlu günümüze kadar tabiattaki kompozit malzemelerden istifade etmiş bunları daha da geliştirerek günümüz malzeme biliminin önemli konularından olan kompozit malzemelere çalışmaları yönlendirmiştir. Yirminci yüzyılın yarısından sonrası 'Kompozit Çağı' olarak tanımlanmaktadır. Son elli yılda kompozit malzemelerde kayda değer gelişmeler olmuştur. İki veya daha fazla malzeme karıştırılarak özelliklerinin artırılması başarılmıştır. Evlerin yapımında halen yaygın olarak kullanılan çamur ve saman karışımı, seramik esaslı kompozitlere temel olmuştur. Bu malzemede kompozitin ısı izolasyonu, tokluğu ve dayanımı sınırlı oranda katılan saman ile geliştirmiştir. Bu şekilde sadece yapının özelliklerini değil, mukavemet, ısı izolasyonu gibi özelliklerini de artırmıştır. Bir malzemenin kompozit sayılabilmesi için (Ögel 1997);

1. İnsan yapımı olmalıdır.
2. Ara yüzeyleri ayırt edilebilen, en azından iki kimyasal olarak farklı malzemenin kombinasyonu olması gerekmektedir.
3. Malzemelerin üç boyutlu olarak birleşmeleri gereklidir.
4. Yeni malzemenin özellikleri, ayrı ayrı bileşenlerinde bulunmayan özelliklere sahip olmalıdır.

Kompozit malzeme üretimi ile malzemeye aşağıda belirtilen bazı önemli özellikler kazandırılmaktadır.

- Yüksek dayanım
- Yüksek rijitlik
- Yüksek yorulma dayanımı
- Mükemmel aşınma direnci
- Yüksek sıcaklık dayanımı

- Korozyon direnci
- İyi termal ve ısı iletkenliği

Kompozit malzemelerin tipik kullanım alanları ise Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1 Kompozit malzemelerin çeşitli kullanım alanları (Yılmaz 1996).

Uzay	Uzay yapıları, Anten
Hava araçları	Uçak, Motor kutuları, Ana kirişleri, Kapılar, Kanat boşlukları, Ana gövde, Türbin bıçakları
Otomobil	Motor gövdesi, Ana gövde, Piston kolları, Akü plakaları
Elektrik	Motor fırçaları, Pil plakaları
Tıp	Protez, Tekerlekli sandalyeler, Ortopedik araçlar
Spor	Tenis raketleri, Olta çubukları, Bisiklet ve motosiklet gövdeleri
Tekstil	Mekikler

2.2 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler kullanılan takviye elemanının şekline göre dört genel sınıfta toplanabilir (Akbulut 1995). Bunlar;

1. Fiber takviyeli kompozit malzemeler: Bu tür kompozitlerde, fiber boyu 0,1-250 mm ve matris içindeki fiber oranı yüzde birkaçtan %70'in üzerindeki oranlara kadar değişmektedir.
2. Tane takviyeli kompozit malzemeler: Bu tür kompozitlerde, matris içindeki dağılmış takviye parteküllerinin kalınlıkları, 1 mm'den fazla ve hacim oranı %5-40 arasındadır.

3. Dispersiyon ile sertleştirilmiş kompozit malzemeler: Bu tür kompozitler ise genellikle çok ince taneli, boyutları 0,01-0,1 mm ve hacim oranı %1-15 arasında değişen parteküller ile karakterize edilmektedir.
4. Tabaka yapıda olan kompozit malzemeler: Bu tür kompozitler matris ve takviye malzemesinin plaka halinde sandviç biçimleri ile karakterize edilmektedir.

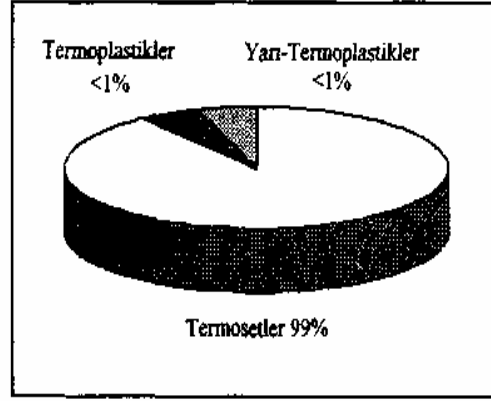
Kompozit malzemeler, kullanılan matris malzemesine göre de üç ana sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar sırasıyla;

1. Polimer Matriksli Kompozitler
2. Seramik Matriksli Kompozitler
3. Metal Matriksli Kompozitler

2.2.1. Polimer Matriksli Kompozitler

Polimerler düşük yoğunlukları, çok kolay şekillendirilebilme özellikleri ile son zamanlarda önem kazanmakta ve birçok alanda başarı ile kullanılmaktadırlar (Yılmaz 1996). Polimerler, metal ve seramiklere göre çok daha fazla komplekstirler. Matriks olarak kullanılan polimerler ucuz ve kolaylıkla çalışılabilir malzemelerdir. Diğer taraftan düşük modüle ve düşük kullanım sıcaklığına sahiptirler. Polimerler, termoset ve termoplastikler olarak iki gruba ayrılmaktadırlar. Termosetler, termoplastiklere oranla daha sert, daha güçlü ve boyutsal olarak daha dengelidirler. Bu nedenle polimer matriksli kompozitlerin çok geniş bir kısmında kullanılırlar (Şekil 2.2).

Termosetler genellikle sıvı halde olup, sıcaklık etkisi ile katılaşım molekül yapılarında çapraz bağ oluştururlar. Termoplastikler ise genellikle katı halde olup, eritilir, şekillendirilir ve soğutularak tekrar katı hale dönüştürülürler. Termosetlerin, termoplastiklere oranla yüksek sıcaklıklara dayanımları daha fazladır.



Şekil 2.2 Piyasada yaygın olarak kullanılan polimerler ve tüketim oranları (Ögel 1997).

Polimer matriksli kompozitlerin ticari kullanım alanlarına aşağıdaki örnekler verilebilir (Akbulut 1995):

- Tekne, gemi dümeni vb. korozyon direnci gerektiren uygulamalar ve bisiklet, raket vb. hafifliğin önemli olduğu spor malzemeleri,
- Son 20 yılda, karbon-epoksi, aramid-epoksi türü kompozitler savaş uçakları ve helikopterlerde,
- Demiryolları ve otomotiv sanayinde
- Özellikle yanmazlık özelliğinin önemli olduğu yerlerde, örneğin taşıt içi dekorasyonda kullanılan paneller, kapılar, vb.

2.2.2. Seramik Matriksli Kompozitler

Metal dışı minerallerin çeşitli ön işlemlerden geçirildikten sonra yüksek sıcaklıkta sinterleştirilmesiyle elde edilen tuğladan cama dek her türden ürüne genel olarak 'seramik' adı verilmiştir (Sümer 1992). Seramikler düşük yoğunluklu, yüksek mukavemet ve sertlik gibi önemli ve istenilen yapıda olup darbe dirençleri çok düşüktür. Seramikler genellikle kararlı yapıda, yüksek sıcaklıklara ve kimyasal etkilere dayanıklı malzemelerdir, fakat yüksek ergime sıcaklıkları ve sertlikleri üretimini zorlaştırıcı, aynı zamanda kırılma oluşturan kısıtlayıcı faktörlerdir.

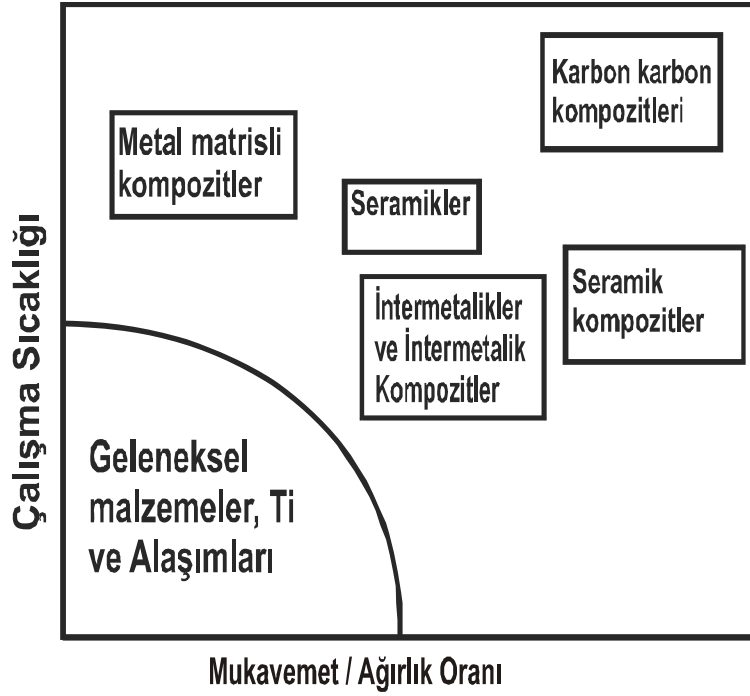
Beton ve kurutulmuş çamur, seramik matriksli kompozitlerin ticari olarak tanınmasında esastır. Seramikler doğada kaya ve taşların dış etkilerle parçalanması sonucu oluşan, kil vb. maddelerin yüksek sıcaklıklarda pişirilmesi ile elde edilir. Bunlar farklı şekillerde silikatlar, alüminatlar, ile birlikte metal oksitlerden oluşur ve endüstriyel seramikler olarak bilinirler(Aydın 2003). Alümina ve Zirkonya esaslı seramik kompozitler üzerindeki son yıllardaki çalışmalar, bu malzemelerin sadece roket başlığı, uzay araçları gibi uygulamalarda değil aynı zamanda insan vücudunda da kullanılmaya başlanılmasına sebebiyet vermiştir. Seramik matriksli kompozitlerde proses parametreleri ile oynayarak mikro çatlaklar oluşturulmaktadır. Bu çatlaklar gerilme konsantrasyonlarının yoğunlaşmasını engelleyerek gerilmeleri absorbe etmektedirler.

2.2.3. Metal Matriksli Kompozitler

Metal Matriksli Kompozitler (MMK) 25 yılı aşkın bir süredir gelişmekte olan malzemelerdir. Son zamanlarda daha çok ilgi çekmektedirler. Bunun en önemli nedeni, üretim yöntemlerindeki ekonomik koşulların elverişli duruma getirilmesidir (Akbulut 1995).

Metal matriksli kompozitler, matriks metal esaslı olmak üzere, iki veya daha fazla malzeme kombinasyonu ile elde edilen mühendislik malzemeleridir. Metal matriksli kompozit malzemelerin geliştirilmesinin amacı fiziksel, mekaniksel ve kimyasal özelliklerden birinin veya birkaçının geliştirilmesine yöneliktir.

Yüksek mukavemet, yüksek elastik modül, düşük yoğunluk, metal esaslı kompozitleri çok çekici kılarken içerdikleri seramik fazlar bu malzemelerin sünekliğini ve tokluğunu düşürmektedir (Yılmaz ve 1997). Şekil 2.3'de kullanım sıcaklıklarına ve spesifik mukavemetlerine göre çeşitli yüksek sıcaklık malzemelerinin performans haritaları gösterilmektedir.

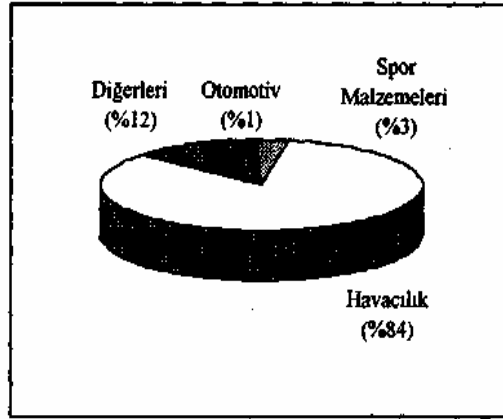


Şekil 2.3 Çeşitli motor malzemelerinin kullanım sıcaklığı ve mukavemet/ağırlık oranına göre performans haritaları (Akbulut 1995).

Ticari malzemeler ile dayanım, süneklik genleşme oranı ve yoğunluk gibi kombinasyonların birlikte başarıyla sağlanması sınırlıdır. MMK malzemeler sürekli fiber, wisker veya parçacıklar ile takviye edildiklerinde bu kombinasyonların bir sonucu olarak, çok özel yüksek dayanım ve modül elde edilebilmektedir. MMK malzemeler yüksek elastik modülü, çekme-basma dayanımı, kayma mukavemeti ve servis sıcaklığının yanı sıra, metallerin sünekliği ve tokluğu ile seramiklerin yüksek mukavemeti ve yüksek elastik modül özelliklerinden dolayı son derece önemli mühendislik malzemeleridir.

Döküm ve reaksiyonla MMK malzeme üretimi tekniklerinin ucuz ve pratik olmalarından dolayı bu malzemeler üzerinde son 20 yıldır yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Seramiklerin yüksek elastik modülü ve metallerin yüksek süneklik özelliklerini birleştiren bu malzemeler, havacılık ve savunma sanayiinin yanında otomotiv endüstrisinde de kullanılmaya

başlanmıştır. MMK malzemelerin Amerika, Avrupa ve Japonya'da da son yıllarda kullanımları hızla artmıştır. Bu malzemelerin artan mekanik özellikleri ile birlikte hafiflik ve düşük maliyet ilişkisi, otomotiv ve uzay endüstrisi gibi gelişmiş ve gelişmekte olan endüstri dallarında ve çeşitli mühendislik uygulamalarının da vazgeçilmez malzemesi haline gelmiştir. Şekil 2.4'de MMK malzemelerinin sektörlere göre kullanımları gösterilmektedir.



Şekil 2.4 MMK'lerin sektörlere göre kullanım oranları (Ögel 1997).

MMK malzemelerin yapısal malzemeler olarak kullanılması aşağıdaki avantajlara sahip olmalarından dolayıdır;

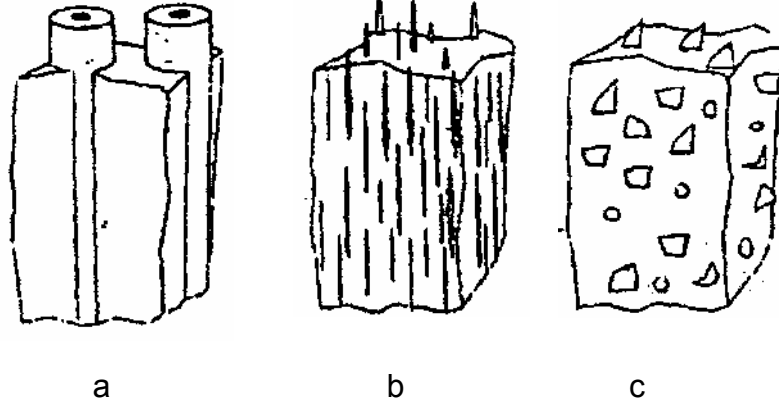
- Yüksek mukavemet yüksek elastik modül,
- Yüksek tokluk ve darbe özellikleri,
- Sıcaklık değişimleri veya ısı şoklarına karşı düşük duyarlılık,
- Yüksek yüzey dayanımı ve yüzey hatalarına karşı daha az duyarlılık,
- Yüksek elektriksel ve ısı duyarlılık,
- Değişik tekniklerle şekillendirilebilme ve işlenebilme özellikleri.

Son yıllarda MMK malzemelerin ticari kullanım alanlarına aşağıdaki örnekler sıralanabilir (Ögel 1997);

- Otomotiv sanayiinde kullanılan çelik şaftların yerine %20 Al₂O₃ elyaf ile güçlendirilmiş Al anayapılı kompozit, ağırlıktan tasarrufun yanı sıra, titreşimlerin azalması ve kritik şaft dönme hızının artması sağlanmıştır.
- Yine otomotiv sanayinde kullanılan dökme demir fren kampanalarının %20-%30 SiC içeren Al kompozitler ile yer değişimi, böylece fren sisteminde %60'a varan ağırlık tasarrufu sağlanmıştır.
- Motor bloklarındaki silindir gömleklerin grafit-Al₂O₃ parçacık katkılı Al kompozitten üretimi, ısı iletimi artarken, kompozitin ısı genişleme katsayısı çok düşük olduğundan piston ile gömlek arasındaki toleranslar en aza indirgenebilmiş, dolayısı ile motor verimi artırılarak yakıttan tasarruf sağlanmıştır.
- Uçak sanayinde henüz deneme aşamasında olmasına karşın, grafit elyaf katkılı Al kompozitler roket ve helikopter yapılarında, Al₂O₃ elyaf katkılı Al kompozitler helikopter dişli kutularının yapımında, Boron-SiC karışımı elyaflarla desteklenen Al anayapılar ise düşük sıcaklık içeren jet motoru kanatçıklarında kullanılabilir.
- Aşınma dayançlı uygulamalarda da arayışlar sürmektedir. Klasik WC-Co kompozitlerinin yerini TiC-Mo₂C-Ni/Mo ve Ti(C,N)/Ni-Fe-Mo kesici uçlar almıştır.
- Elektronik sanayinde ise süper iletken kabloların yapımında MMK malzemeler görülmektedir.

MMK malzemelerin iletkenliğine ek olarak, yüksek sıcaklıklar direncini muhafaza edebilmesi, tokluk ve sert çevreye dirençli olması en önemli avantajlardan birisidir. İhtiyaç duyulan mekanik direnç takviye elemanından elde edildiği için bir kompozit malzemedeki matriksin çevre etkilerine karşı duyarlılığını bilmek gerekmektedir. Sürekli fiberli malzemelerde, matriks olarak kullanılan metal yükü fiberlere ilettiğinden, matriksin kopma direnci önemsizdir. Bununla birlikte süreksiz fiberlerle takviyeli kompozitler matriks malzemesinin bu özelliği önemli duruma

gelmektedir. Şekil 2.5'de Sürekli fiber, kısa fiber ve parçacık takviyeli kompozit yapılar şematik olarak görülmektedir.



Şekil 2.5 Takviye elemanına bağlı olarak kompozit şekilleri (a)sürekli fiber, (b)kısa fiber (c)parçacık takviyeli (Aydın 2003).

2.2.3.1 Sürekli Fiber Takviyeli MMK Malzemeler

Genellikle özel amaçlı sürekli fiber takviyeli kompozitler, preformların veya tel dizinlerin sıvı emdirilmesi veya preformların difüzyonu yoluyla üretilirler. Sürekli fiber takviyeli kompozitlerin üretimi oldukça karmaşık ve pahalı olmasına rağmen özellikle birkaç uygulama için uzay endüstrisinde vazgeçilmez malzemelerdir (Akbulut 1995).

2.2.3.2 Kısa Fiber Takviyeli MMK Malzemeler

Bu tür kompozit malzemeler kısa veya süreksiz fiber takviyeli malzemeler olarak adlandırılmaktadır. Otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan piston başlığı, bu tür kompozit malzemelerden üretilmektedir (Akbulut 1995).

2.2.3.3 Parçacık Takviyeli MMK Malzemeler

Parçacık takviyeli MMK malzemeler mikron boyutlarındaki küçük parçacıkların, metalik bir matriks içerisinde dağılımları ile elde edilen ve yüksek oranda izotropik özellikler gösteren kompozit malzemelerdir. Metalik malzemelerin sertliklerini, aşınma dirençlerini, yüksek sıcaklıklardaki mekanik özelliklerini geliştirmek için değişik türde oksit, karbür veya nitrür parçacıklarından faydalanılır. Parçacık takviyeli metal matriksli kompozit malzemeler değiştirilebilir mikro yapı, üstün mekanik özellikler ve düşük yoğunluk değerleri vermeleri bakımından önem kazanmışlardır.

2.3 MMK Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Malzemelerdeki dislokasyon yoğunluğunun artması ve tane boyutunun küçülmesi ile mekanik özelliklerde bir artış sağladığı söylenebilir. Al ve Al alaşımları üzerinde yapılan çalışmalarda, SiC ilavesi ile tane boyutunun küçüldüğü ve dislokasyon yoğunluğunun arttığı kanıtlanarak, kompozit malzemenin mekanik özelliklerinde bir artış olduğu ortaya çıkarılmıştır. Dislokasyon yoğunluğunun artması ise matriks ve fiber arasındaki termal genleşme katsayısının farklı olmasından dolayıdır. Fakat termal genleşme katsayısının farklı olmasından dolayı oluşan kalıcı gerilmelerde mekanik özellikleri kötü yönde etkilemektedir. MMK malzemeler son zamanlarda gaz türbin motorları, otomobil motorları ve hava taşıtlarının bazı bölümlerinde kullanılmaktadır (Akbulut 1995).

2.4. MMK Malzemelerin Üretim Yöntemleri

Metal matriksli kompozitlerin üretilmesinde çok değişik sayıda üretim metodu geliştirilmiştir. Üretim metotları temelde üç gruba ayrılmaktadır;

1. Sıvı faz üretim yöntemleri
2. Katı faz üretim yöntemleri
3. Reaksiyon(in situ) üretim yöntemi

2.4.1 Sıvı Faz Üretim Yöntemleri

2.4.1.1 Sıvı Metal-Seramik Partikül Karıştırma (Vorteks) Yöntemi

Eriyik metal içerisine seramik parçacık karıştırma döküm yöntemi olarak da bilinen bu yöntemin temel prensibi karıştırılmakta olan sıvı metal içerisine, oluşan vorteks ile birlikte seramik parçacıklarının katılması ve bir süre daha karıştırılarak metal kalıplara döküm işleminden ibarettir (Aydın 2003). Genelde partikül takviyeli MMK malzemelerin üretimi için daha uygun olmasına rağmen kısa fiber veya whisker takviyeli kompozitlerin üretilmesi de mümkündür.

Katılaşmadan önce parçacıkların homojen dağılımı, karıştırma kabında parçacıkların dinamik hareketi ile kontrol edilir. Döküm metal seramik parçacığının kalitesi fazın dağılımına bağlıdır ve bu da ilave faktörlere bağlıdır. Bu faktörler; Soğuma hızı, sıvının akıcılığı, parçacık ve ergiyik özgül ağırlığı, parçacıkların hacim oranı, şekli ve boyutu, morfolojisi ve parçacıklar ile etkileşimi, seramikte ilk fazların çekirdeklenmesi, katılma ara yüzeyinden parçacıkların itilmesi veya çekilmesi ve katılma esnasında dışardan gelen herhangi bir kuvvettir. Bu işlem basamakları esnasında ara yüzey bağı ve oluşan gözeneklilik çok önemli olup, kompozitin mekanik özelliklerini etkilemektedir. Düşük gözeneklilikte, gözenek etrafındaki gerilme dağılımı homojen olmadığı için her bir gözenek diğerinden bağımsız olduğundan bu gerilimi arttırmayacaktır. Mekanik özelliklerdeki hasar etkisi maksimum gerilmede her bir gözenegin artışı ile gözenek hacminin oranı doğrultusunda doğal olarak artar. Gözeneklilik arttığı zaman gözenekler etrafındaki homojen olmayan

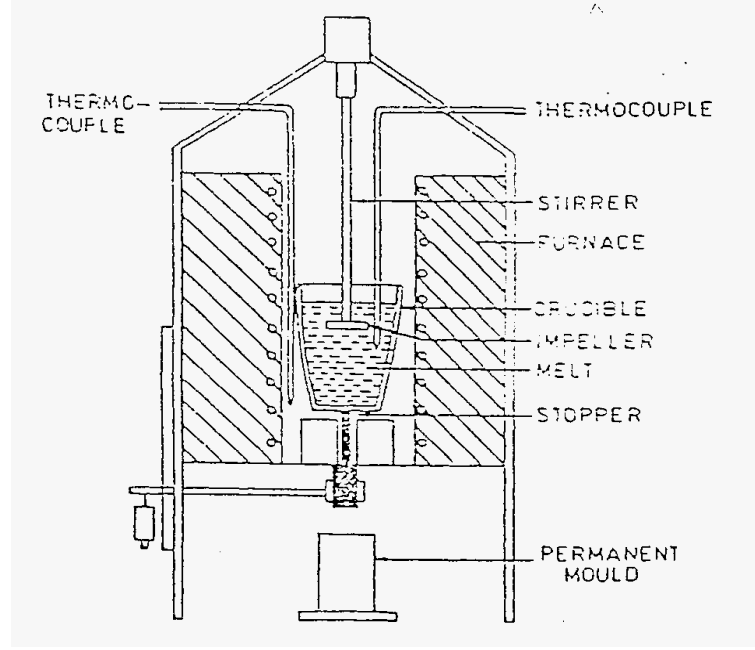
gerilme dağılımı artar ve hasar gözeneklilik ile doğrusal olmayan bir fonksiyon halini alır.

Döküm yöntemleriyle kompozit üretiminde, karıştırıcı hızı, karıştırıcı uç ve boyutları, karıştırıcı ucun sıvı içerisindeki pozisyonu, sıvı alaşım bileşimi ve sıcaklığı, karıştırma süresi, takviye elemanının boyutu ve hacmi bu yöntemin esas değişkenleridir.

Vorteks yönteminin MMK malzeme üretim metotları içerisinde en ucuz ve en kolay olduğu bilinmektedir. Ancak azımsanmayacak ölçüde dezavantajları da vardır. Her şeyden önce karıştırma ve ilavelerin kontrollü atmosferde yapılması gerekmektedir. Proses değişkenlerinin iyi kontrol edilmediği durumlarda porozite oranı %30'lara kadar çıkabilmektedir (Akbulut 1995). Kompozit bünyesindeki porozite varlığı özellikle yüksek sıcaklıklarda arzulanan mekanik özelliklerde zayıflamaya yol açmaktadır. Kompozitteki porozite miktarı vorteks oluşturması sırasında oluşan hava kabarcıklarının sıvı metale girip burada çözünmesi ile meydana gelir. Gazlar aynı zamanda partiküllerin sıvıya ilave edilmesi sırasında partiküllerle beraberde sıvı matrikse geçebilirler. Vorteks metoduyla kompozit üretimindeki ilk çalışmalar ilave edilen partikül hacim oranının artması ile porozitelerin arttığını göstermiştir. Porozite aynı zamanda karıştırma parametrelerine de bağlıdır. Sıvı-katı aralığında şiddetli bir şekilde karıştırılan bir alaşım, bünyesinde %60 kadar sıvı içerdiği durumda karıştırma sebebiyle dendrit kolları kırılarak alaşımın akışkanlığı artmakta ve bu durumda seramik takviye elemanları alaşıma verilmektedir. Bu yöntemin en önemli dezavantajı sıkıştırma dökümdeki gibi basınç altında katılaşmaya gereksinim duymasıdır. Aksi halde yüksek oranlara varan poroziteli malzemeler elde edilmesi kaçınılmaz hale gelmektedir (Akbulut 1995). Diğer problemler ise partiküllerin topaklanması (aglomerasyon), partiküllerin yüzmesi, aşırı arayüzey reaksiyonu ve Matriks içinde ikinci fazın segregasyonu olarak verilebilir (Mohamed 2001).

Sıvı ergiyik içerisinde seramik parçaların ilave edilerek kompozit malzeme üretimi ile ilgili bir çok çalışma yapılmıştır. Çünkü yöntemin bir çok avantajı vardır. Bunlar son şekle yakın parça üretimi, ikincil işlemlerin uygulanabilmesi, basit ve ucuz olmasıdır. Döküm yöntemi otomotiv sektöründe ve diğer endüstri dallarında karmaşık şekilli ve çok sayıdaki parça üretimine imkan sağlamaktadır. Döküm yöntemiyle elde edilen MMK malzemelerin düşük maliyeti daha da düşmektedir. Düşük maliyetli SiC ve grafit üretimi ile yine maliyetlerin düşüşü söz konusu olmaktadır. Düşük maliyetli SiC -metal ve grafit-metal parçacık takviyeli MMK malzemeler ticari olarak kolayca elde edilebilir hale gelmiştir.

Kompozit malzemelerin mukavemetinin artışı üzerinde bir çok mekanizmaları sürülmüştür. Genel olarak bu mekanizmaların çoğunda dislokasyon oluşumunun mukavemeti artırdığı görülmüştür. Buna göre MMK malzemelerde mukavemet artırıcı mekanizmalar olarak; yük transferi ile kompozitte mukavemet artışı, dislokasyonla mukavemet artışı, kalıntı elastik gerilmeler, tekstür farklılıkları, termal genleşme katsayıları arasındaki farkın bir sonucu olarak dislokasyon oluşumuna bağlı yüksek dislokasyon yoğunlukları, yüksek dislokasyon oluşumunun bir sonucu olarak küçük alt tane boyutu sıralanmıştır (Akbulut 1995). Vorteks metodunun şematik görünümü Şekil 2.6'da verilmektedir. Tablo'2.2 de Metal matriksli kompozit döküm prosesinin temel metotları görülmektedir. Döküm yöntemi ile elde edilmiş MMK malzemeler ve bunların kullanım yerlerine örnekler ise Tablo 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.6 Vorteks yönteminin şematik görünümü (Yılmaz 1996).

Tablo 2.2 Metal matrisli kompozit döküm prosesi için temel metodlar (Mohamed 2001).

Sıvı prosesi	Döküm
<ul style="list-style-type: none"> Sıvı veya yarı-katı alaşımın mekanik karıştırılması (vorteks) sırasında partiküllerin ilavesi 	<ul style="list-style-type: none"> Kum veya kokile döküm
<ul style="list-style-type: none"> Karıştırmayı takiben ergiyiğe kompozit biriketlerin ilavesi 	<ul style="list-style-type: none"> Alçak basınçlı döküm
<ul style="list-style-type: none"> İnert gaz ile ergiyiğe partiküllerin enjekte edilmesi 	<ul style="list-style-type: none"> Yüksek basınçlı döküm
<ul style="list-style-type: none"> Ultrasonik olarak karıştırılan ergiyiğe partiküllerin ilavesi 	<ul style="list-style-type: none"> Sıkıştırma döküm
<ul style="list-style-type: none"> Elektromanyetik olarak karıştırılan ergiyiğe partiküllerin ilavesi 	<ul style="list-style-type: none"> Savurma döküm
<ul style="list-style-type: none"> Partiküllerin santrifüj yoluyla dağıtılması 	<ul style="list-style-type: none"> Vakum altında döküm
	<ul style="list-style-type: none"> Hassas döküm

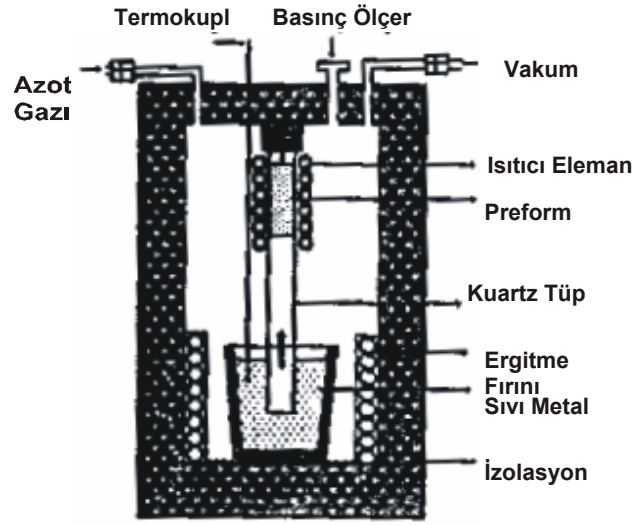
Tablo 2.3 Döküm yöntemiyle MMK malzemeler ve kullanım yerleri (Akbulut 1995).

Kompozit	Uygulama	Seçilmiş Özellikler
Alüminyum/Grafit	Yatak alaşımı, yataklarda	Hafiflik, kendinden yağlama, ucuzluk
Al/grafit, Al/ α -Al ₂ O ₃ , Al/SiC, Al/SiC-Al ₂ O ₃	Otomobil pistonu, silindir, piston kolu, krank kolu	Aşınma direnci, soğuk dayanım, hafiflik, düşük yakıt, verimlilik, boyut kaybetmeme
Cu/Grafit	Sürgülü elektrik kontağı	İletkenlik özelliği, boyut kaybetmeme
Al/SiC	Turbosarj pervaneleri	Yüksek sıcaklıklarda ultra hafif malzeme
Al/Zirkonyum, Al/SiC	Kesme takımları, kanatlar	Sert aşınma dirençli malzeme

2.4.1.2 Ergimiş Metal Emdirme Yöntemi (Sıvı İnfiltrasyon)

MMK malzemelerin üretilmesi için kullanılan değişik döküm yöntemlerinden birisidir. Sürekli fiber ve kısa fiber takviyeli kompozitlerin üretilmesinde kullanıldığı gibi partekül takviyeli MMK malzemelerin üretilmesinde de verimli bir şekilde uygulanmaktadır.

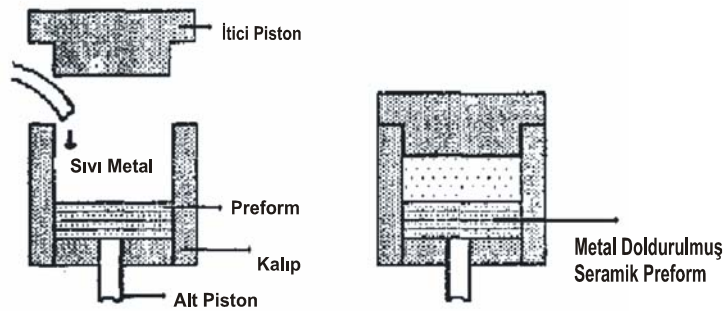
Bu yöntemde bağlayıcı ile hazırlanmış ön şekil, bir kalıba yerleştirilir ve daha sonra basınçlı bir gaz ile bu kalıba sıvı metal emdirilir ve katılaşmaya bırakılır. Bu yöntemle üretimde en yaygın olarak kullanılan matris-takviye elemanı ikilisi Al-Al₂O₃, Mg-C, Al-SiC sayılabilir. Şekil 2.7'de sıvı infiltrasyon yönteminin şematik olarak en basit cihazı görülmektedir.



Şekil 2.7 İnfiltrasyonla MMK malzeme üretiminde en yaygın olarak kullanılan cihazın şematik olarak gösterilişi (Akbulut 1995).

2.4.1.3 Sıkıştırma Döküm Yöntemi

MMK malzemelerin üretilmesinde sıkıştırma döküm tekniğinin, en önemli, en pratik ve en ümit verici yöntemlerden birisi olduğu bilinmektedir. Sıkıştırma döküm yöntemi, herhangi bir metalin basınç altında katılaştırılmasına dayanmaktadır. İstenilen şekilde ve fiber hacmine sahip preformun ısıtılarak kalıp boşluğuna bırakılmakta ve sonra ısıtılmış kalıba sıvı metal dökülmektedir. Hemen ardından hidrolik pres uygulanmakta, sıvı metal katılaşıncaya kadar bu işlem devam ettirilmektedir. Sıkıştırma döküm yönteminin şematik olarak gösterilişi ise Şekil 2.8'deki gibidir.



Şekil 2.8 Sıkıştırma döküm yönteminin şematik olarak gösterilişi (Akbulut 1995).

Sıkıştırma döküm yönteminde kompozitin kalitesini etkileyen faktörler; kalıp ön sıcaklığı, basınç, sıkıştırma hızı ve yoğunluktur.

2.4.2 Katı Faz Üretim Yöntemleri

Katı hal üretim tekniklerinde toz metalurjisi en çok kullanılan yöntemdir. Matriks metal tozları ve fiberler beraber karıştırılarak değişik yöntemler ile yoğunlaştırılmakta ve teorik yoğunluğa ulaşmak için takiben sinterlenmektedir. Bu metod genelde değişik fiberler içeren süperiletken kompozitlerin üretiminde kullanılmaktadır.

2.4.3 Reaksiyon (İn-Situ) Kompozit Üretim Teknikleri

Bu yöntemle kompozit üretmenin temel avantajı, sıcaklık ve süre ile oluşan karbürlerin hacim oranlarının ve karbür boyutunun kontrol edilebilmesi ve küresel şekilli takviye fazlarının matrikste oluşturulabilmesidir. Ancak oldukça yüksek sıcaklıklarda çalışma gereksinimi ve reaksiyon süresinin uzun olması yöntemin temel dezavantajı olarak sayılabilir. Bu metotla uçakların motor türbin kanatları üretilmektedir.

2.5 Matriks Malzemeleri ve Özellikleri

Geleneksel olarak kullanılan tüm metal ve alaşımlarının MMK malzeme üretmek amacıyla matriks metali olarak kullanılabilmesi mümkündür. Herhangi bir geleneksel alaşımı matriks metali olarak kullanmak için ilk şart uygun takviye malzemesinin seçimidir. Matriks ve takviye eleman arasında kimyasal veya fiziksel uygunluk olduktan sonra kullanım yeri ve amacına bağlı olarak MMK malzemeler üretilmektedir.

Kompozit malzemelerde kompoziti oluşturan matriks malzemesi, özelliklerin belirlenmesinde en önemli etkidir. Kompozitin sıcaklığı, kimyasal etkileşimi ve korozyona karşı direnci öncelikle matriks tarafından

belirlenir, daha sonra takviye elemanı da sıcaklığa karşı kararlı olmalıdır. Matriksin ısıl genişmesi, işlenebilirliği, kaynak kabiliyeti, sertliği, ısı ve elektrik iletkenliği, temin edilebilirliği, kullanım alanları ve bir çok faktör kompoziti oluşturan matriksin seçiminde etkili olmaktadır.

2.6 Takviye Malzemeleri ve Özellikleri

MMK malzemelerin üretiminde kullanılan takviye malzemelerinin seçiminde kolay temin edilebilmelerinin yanında kullanıldıkları matriks malzemesi ile uygunluk, sağlayacakları üstün özellikler ve termal genişleme katsayıları göz önüne alınmaktadır (Howe 1993). MMK malzeme üretiminde kullanılan önemli seramik takviye malzemelerinin tipik özellikleri Tablo 2.4'te verilmektedir.

Tablo 2.4 Seçilmiş bazı seramik takviye malzemelerinin tipik özellikleri (Mohamed 2001).

Takviye	Maks. Çekme muk. (MPa)	Elastisite modülü (GPa)	Yoğunluk, g/cm ³	Termal iletkenlik, W/mK	Termal genişleme katsayısı, 10 ⁻⁶ /K	Maks. Sıcaklık, °C
Oksitler						
Al ₂ O ₃ kısa fiber	2000	300	3,96	-	-	1600
SiO ₂	-	73	2,66	1,4	1<	-
ZrO ₂ fiber	2070	345	4,84	-	-	1925
Karbürler						
B ₄ C	2690	425	2,35	39	3,5	315
SiC kısa fiber	3000-14000	400-700	3,21	32	3,4	-
SiC fiber	2280	450	3,46	-	-	-
SiC partikül	-	448	3,21	120	3,4	-
TiC fiber	1540	450	4,9	-	-	-
VC	-	430	-	-	7,2	-
WC	-	670	-	-	5,5	-
Nitrürler						
AlN	2100	310-345	3,26	150	3,3	-
BN fiber	1380	90	1,91	-	-	1095
Si ₃ N ₄	-	207	3,18	28	1,5	-
Diğerleri						
Si	-	112	2,33	100	3,0	-
C fiber	-	-	2,18	400	-1,5	-
TiB ₂ fiber	105	510	4,48	-	-	2205

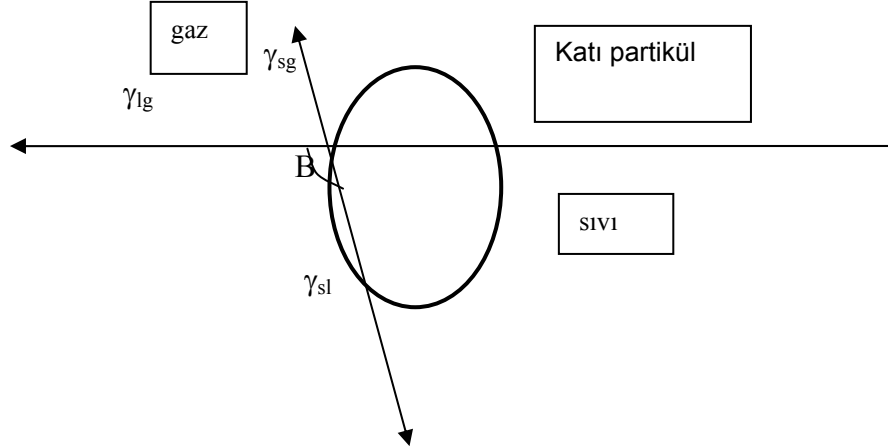
Seramik ve metallerin termal genleşme arasındaki fark, yüksek dislokasyon yoğunluğuna ve dolayısıyla yüksek mukavemet değerlerinin ortaya çıkmasına sebebiyet vermektedir. Ancak, metal ve seramiklerin yüksek ara yüzey enerji farklılığından dolayı da ıslatılabilirlik temas açısı artmakta ve metal seramik arasındaki bağ mukavemeti düşebilmektedir. Ara yüzeyde Al metali ile atomik ölçülerde bağ yapabilmesinden, yüksek elastik özellikler ve kimyasal olarak uygunluklarından dolayı Al matriksli MMK malzemelerde en fazla kullanılan takviye malzemelerinin, SiC, Al₂O₃ seramikleri oldukları bilinmektedir. Diğer yandan çok yüksek MMK mukavemetine gereksinim duyulduğunda, pahalı olmalarına rağmen özellikle askeri ve havacılık uygulamalarında B₄C sürekli fiberlerinin kullanıldıkları açıklanmaktadır (Cooke 1991).

MMK malzemelerin üretiminde başarı, matriks – seramik arasındaki bağın kuvvetli olmasına bağlıdır. Bu sistemde üretim sırasında ara yüzeyde mukavemetin yüksek olması için proses parametrelerinin iyi kontrol edilmesi gerekmektedir. Metal ve seramik arasında tercih edilen bağ mekanik bağlanmalıdır. Hemen hemen tüm MMK sistemlerinde seramik metal arasındaki ıslanmayı arttırmak için sıvı bazı reaktif elementlerle alaşımlandırılır. Bu elementlerin ilavesinin amacı, kimyasal reaksiyonlar oluşturularak metal ve seramik malzemenin birbirine bağlanmasını sağlamaktır. Ancak ara yüzeyde oluşan bu süreksiz tabakalar, kompozitin deformasyonu sırasında çatlak oluşturan bölgeler olarak davranırlar. MMK malzemelerde ara yüzey bağ mukavemetini arttırmak için:

- a) ıslanabilirliği arttırmak
- b) Kimyasal etkileşimleri kontrol etmek
- c) Oksit oluşumunu minimuma indirmek gerekmektedir.

Ara yüzeyde bağ mukavemetini dolayısıyla sıvı katı ara yüzeyinde ıslanmayı etkileyen temel faktör partikül dağılımıdır. Ara yüzeyde partikül boyutunun, sıvının viskozitesinin ve katılaşmasının yüksek olması gerekir.

Ayrıca sıvı matriks alaşımı ve seramik partikül arasındaki yoğunluk farkının ve ara yüzeyde sıcaklık gradyanının da düşük olması lazımdır. Islanma ara yüzey bağ mukavemetinin sıvının yüzey gerilimine galip gelmesi ile meydana gelir (Şekil 2.9), temas açısı young eşitliği kullanılarak ölçülür.



Şekil 2.9 Katı – Sıvı – Gaz fazlarının temas açısı (Yılmaz 1996)

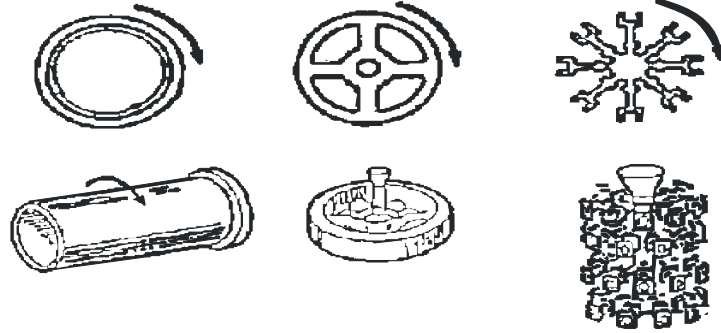
2.7 Savurma Döküm Yöntemi ile MMK Malzemelerin Üretilmesi

2.7.1 Savurma Döküm

Döküm parçalarının üretiminde karşılaşılan en büyük zorluk, metalin sıvı durumdan katı duruma geçerken büzülmesinden meydana gelen boşluklardır; bunları gidermek için basınç kullanma düşüncesi bir anlamda savurma döküm yöntemine yol açmıştır (Çavuşoğlu 1981). Savurma döküm yöntemi daha ziyade silindirik parçaların (boru, halka vb..) üretiminde kullanılmaktadır. Bu yöntemde ergimiş sıvı metal bir eksen etrafında dönen kalıba dökülerek gerçekleştirilmektedir. Kalıp döndüğü için eriyik merkezkaç kuvvetinden yararlanarak kalıbın şekline göre katılaşmanın sağlandığı bir döküm şekli olarak açıklanabilir.

Sıvı metal cidarlara yüksek hızla fırlatıldığı için taneler ince yapılı olup, gaz boşluğu yoktur. Soğuma kalıp yüzeyinden savurma makinesinin eksenine doğrudur. Bu sebepten farklı soğuma ortamlarındaki farktan dolayı,

malzeme cidarının dış çevresi ile iç çevresi arasında yapı farkı mevcuttur (Ersümer 1986). Savurma döküm yöntemiyle yapılabilecek parçaların şematik görünümü Şekil 2.10'da görülmektedir.



Şekil 2.10 Savurma dökümle üretilen parça şekilleri(Süzen 1991).

Savurma döküm yönteminin avantajlarını ise şu şekilde sıralayabiliriz (Süzen 1991):

- Cüruf ve düşük yoğunlukta metalik olmayan parçacıklar döküm parçasının iç yüzeyine toplanır ve basit bir talaşlı imalat ile dökümden kolaylıkla uzaklaştırılabilir.
- Sıvı metalde yüksek döküm basıncı olmasından dolayı iyi bir besleme ve dolayısıyla katılaşma sırasında gaz boşlukları az olur, yani boşluksuz döküm imkanı sağlar.
- Küçük taneli döküm imkanı (Süzen 1991).
- Yüksek döküm hızı olmasından dolayı düşük döküm sıcaklığı ile çalışılabilir.
- Boru şeklindeki parçaların maça kullanmaksızın dökümünü sağlar.
- Diğer döküm yöntemlerinde gerekli olan besleyici vb. gibi tasarımları içermez (Süzen 1991).
- Döküm alanı olarak küçük bir alan yeterlidir.
- Döküm verimi diğer döküm tekniklerine nispeten daha iyidir.
- Her türlü alaşım için uygulanabilir (Süzen 1991).

Savurma döküm yönteminin dezavantajları da şu şekilde sıralanabilir; İlk yatırım masrafları nispeten yüksektir; dökümler şekil ve boyut bakımından sınırlıdır, genellikle belli aralıklarda az miktarda sıvı metal gerekir, bu da bekletme fırınlarını gerektirir ve nihayet ergime sıcaklıkları ve özgül ağırlıkları çok farklı metallerin alaşımları, katılaşmada tabakalaşma nedeniyle, zor dökülür (Çavuşoğlu 1981).

Ayrıca savurma döküm yöntemiyle yoğunlukları farklı metal alaşımlarının dökümünde; özgül ağırlığı yüksek olan malzeme çeperlerde, düşük olan ise iç yüzeyde toplanmaktadır. Bu özellik önce dezavantaj gibi gözükse de aşınmanın önemli olduğu makine parçalarında tam tersine bir avantaj olarak ele alınabilmektedir. Savurma dökümün bu özelliği özellikle kompozit üretiminde büyük bir avantaj olarak bilinmektedir.

2.7.1.1 Savurma Döküm Çeşitleri

Savurma döküm yöntemi üç grupta incelenebilir. Bunlar:

- Gerçek savurma döküm
- Yarı savurma döküm
- Savurmalı döküm

a) Gerçek Savurma Döküm

Savurma döküm yöntemleri içerisinde en yaygın kullanılan yöntemdir. Kalıp yatay, dikey veya eğik eksen doğrultusunda döndürülebilir.

Bu tip döküm yapan makinelerde genel olarak yolluk ve besleyici sistemine ihtiyaç yoktur. Bu yöntemde bir eksen etrafında dönen kalıp içerisinde sıvı olarak verilen metal merkezkaç kuvvetinden yararlanılarak şekillendirilir. Döküm parçasının iç çapı sıvı metalin hacmi vasıtasıyla ayarlandığından maça kullanmaya da gerek yoktur.

Yatay eksenli gerçek savurma dökümle üretilen parçaların dış yüzeyleri; dört köşeli, altı köşeli veya bunlara benzer olabilir. Fakat dış yüzey ne olursa olsun iç yüzey kesinlikle silindirik olmaktadır.

Düşey eksenli gerçek savurma döküm yönteminde ise sistem daha basit olup, gereken yalnız herhangi bir kalıbın bağlanabileceği uygun hızda dönebilen bir tabladır. Bu yöntem daha çok çapın uzunluktan büyük olduğu dökümlerde kullanılır. Gerçek savurma döküm yöntemi, genellikle dökme demir ve çelik boru yapımında kullanılır.

b) Yarı Savurma Döküm

Yarı savurma döküm, dönel simetriye sahip ancak iç boşluk içermeyen tekerlek ve dişli taslakları gibi parçaların üretiminde kullanılır. Parçada içi boşluk olmadığından burada sadece merkezkaç kuvvetin oluşturduğu basınçtan yararlanır. Genellikle düşey olan dönme eksenini aynı zamanda parçaların dönel simetri eksenini olup, kalıplar birkaç parçanın üst üste dökülebileceği şekilde de düzenlenebilir.

c) Savurmalı Döküm

Savurmalı döküm yönteminde çeşitli şekillerdeki parçaların kalıbın dış kısmına kaplanması, kalıpların yerleştirilmesi ve uygun yolluk sistemi ile birbiri ile bağlı kalıp yığınının iç kısmındaki dikey yolluğa dönüş esnasında sıvı metalin dökülmesi ile yaratılan basınç ile boşlukların dolması sağlanır. Ufak döküm parçaları için uygun bir yöntemdir. Savurmalı dökümün özelliği ise parçalara ait kalıp boşluklarının kalıp dökme ekseninin dışına yerleştirilmeleridir (Aran 1999).

2.7.1.2 Savurma Dökümün Uygulama Alanları

Gerçek savurma döküm uzun yıllar boru üretiminin başta gelen yöntemi olmuştur. Gerek dökülmüş halde kullanılan dökme demir ve çelikten

borular, gerekse dökülüp işlenerek kullanılan silindir gömlekleri, piston ringleri uygulamaya örnek olarak verilebilir. Yarı savurma döküm için, bakır dişli çelik makara dökümleri; savurmalı döküm için ise Co-Cr alaşımından dişçilikte gereksinilen dökümler, uygulama alanlarına örnektir (Çavuşoğlu 1981).

Savurma döküm tekniğini kullanılarak yapılan makine parçaları ise şu şekilde sıralanabilir; Yataklar, motor gömleği, çeşitli silindirler, diş protezleri, piston sekmanları, dökme demir basınca dayanıklı borular, elektrik motoru rotoru, flanş, dişliler, elektronik modül muhafazası, gaz türbini çemberleri, silah gereçleri, ısı değiştirici borular, ekstrüzyon makineleri ile kalın cidarlı borular, basınca dayanıklı gereçler, helyum sıvılaştırıcılar, mafsal, içi boş ekstrüzyon takozları, hidrolik ve pnömatik motor gömlekleri, pervaneler, hassas dökümler, mücevher, nozül kutuları, kağıt haddeleri ve merdaneleri, kasnak, pompa gömleği, pompa motoru, alevli ısıtıcılarda kullanılan radyasyon boruları, tren yolu araba tekerleri, reaktör boruları, bomba dümen kanatları, merdaneler, metal O-ringler, statör koruyucular, denizaltı direkleri, boru bağlantı parçaları, tekstil haddeleri, keskin kenarlı ince parçalar (uçak sanayinde kullanılan), türbün kanatları, vana bilyaları, vana gövdeleri, kaynak çubukları (Süzen 1991).

2.7.1.3 Savurma Döküm Kalitesini Etkileyen Faktörler

Döküm kalitesini genel olarak; dönme hızı, döküm sıcaklığı, döküm hızı, kalıp sıcaklığının etkilediği bilinmektedir.

Dönme hızının; dökümün yapısında tane boyutunu küçültücü ve bileşenlerin homojen dağılmasını sağlayıcı etkisi vardır.

Döküm sıcaklığı; yeterli metal akışını sağlayan, iri tane oluşumunu engelleyen ve sıcak yırtılmalara sebep olmayan yükseklikte olmalıdır.

Düşük sıcaklık, maksimum tane küçülmesi ve eşeksenli kristallerin oluşumuna yol açar. Yüksek sıcaklık ise bir çok alaşımda kolonsal yapıya teşvik eder (Çavuşoğlu 1981).

Döküm hızı; sıvı ergiyik katılaşmadan dökümün bitirilmesini sağlayacak hızda ayarlanmalıdır. Yüksek döküm hızları sıvı metalin etrafa saçılmasına neden olabilirken, düşük döküm hızı yönlenmiş katılaşmayı ve beslemeyi teşvik ederken aynı zamanda da sıcak yırtılmaları engelleme özelliğine sahiptir.

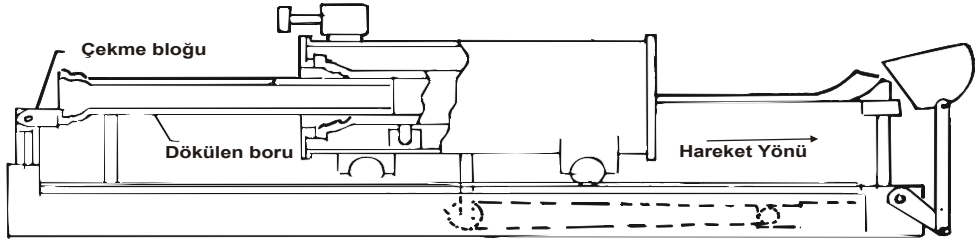
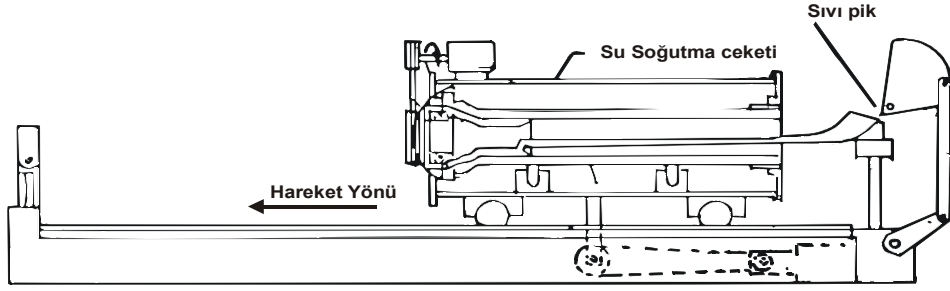
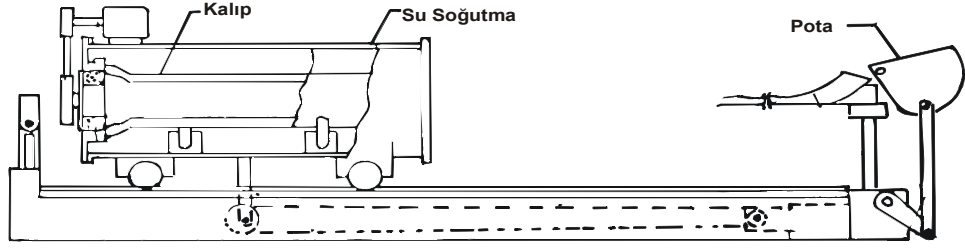
Kalıp sıcaklığı; etkisi yapı üzerinde ikinci derecededir. Birinci etki kalıbın genişleme faktörüdür (eğer kum kalıp yerine metal kalıp kullanılmış ise). Kalıbın genişleme kabiliyeti ne kadar yüksekse sıcak yırtılma ihtimalide o kadar düşük olmaktadır.

2.7.1.4 Savurma Döküm Makineleri

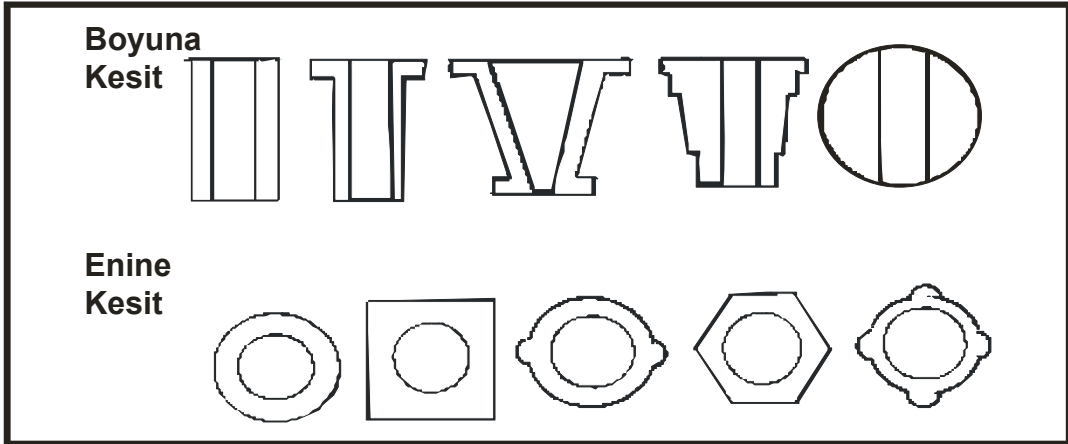
Savurma döküm makinelerini yatay ve düşey eksenli olmak üzere iki ana başlıkta incelemek mümkündür.

a) Yatay Dönüş Eksenli Savurma Döküm Makineleri

Kalıp yatay bir eksen etrafında dönmektedir. 1900'lü yılların başlarında ilk defa dökme demir boruların üretiminde kullanılmıştır. Fakat günümüzde geniş bir kullanım alanı bulmaktadırlar. Bu tür makinelerle boru üretimi Şekil 2.11, üretilebilecek kesitler ise Şekil 2.12'de verilmektedir.

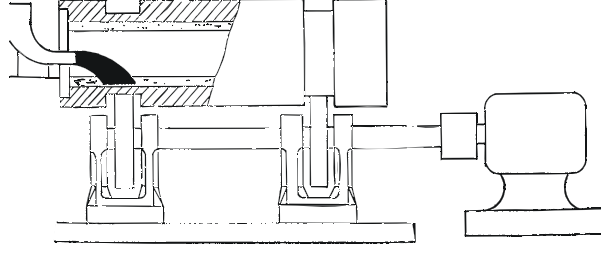


Şekil 2.11 Yatay savurma döküm makinesi ile boru üretiminin görünüşü (Anık 1994).



Şekil 2.12 Yatay savurma döküm makinesi ile üretilebilen şekiller (Süzen 1991).

Yatay eksenli savurma döküm makinesinin Şekil 2.13’de mevcuttur.



Şekil 2.13 Yatay dönüş eksenli savurma döküm makinesi (Süzen 1991).

b) Dikey Dönüş Eksenli Savurma Döküm Makineleri

Kalıp dikey bir eksen etrafında döndürülerek yapılan döküm şeklidir. Her türlü kalıbın bağlanabilmesi özelliğinden dolayı geniş bir üretim çeşitliliğine sahiptir.

2.7.2 Savurma Döküm Makinelerinde Kullanılan Kalıplar

2.7.2.1 Değişken Kalıplar

Özellikle sabit kalıptan çıkması mümkün olmayan, çok büyük kütle dökümlerde veya metalürjik sebeplerden dolayı yavaş soğuması istenilen uygulamalar için kullanılır. En yaygın uygulama alanları büyük boru şeklindeki parçalar ve gemi shaftı gömleği gibi döküm parçalardır. Üretim hızının düşüklüğü, kalıplama maliyeti, döküm parçanın sabit kalıplara göre daha düşük fiziksel özelliklere sahip olması, vb. dezavantajlara sahiptir (Süzen 1991).

2.7..2 Sabit Kalıplar

Sabit dış çap ölçüsündeki döküm parçaları seri olarak üretebilmek amacıyla yaygın olarak kullanılırlar.

2.7.2.3 Grafit/Karbon Kalıplar

Yüksek soğuma hızı istenilen durumlarda kullanılır. Grafit malzemesinin daha pahalı olmasına karşın karbona göre daha yüksek ısı iletim özelliğine sahiptir. Uygulama alanları genellikle bakır alaşımları ile yapılan dökümlerdir.

2.7.2.4 Metal Kalıplar

Metal kalıplarda dökme demir ve çelik kalıplar en yüksek dayanıma sahiptirler. Kum döküm yöntemiyle dökülen kalıplardaki gaz boşluğu, çekinti vb. hatalar kalıp ömrünü azaltan unsurlardır. Ayrıca su ile soğutma sırasında dökme demir kalıplarda çatlama olabilmektedir. Sabit metal kalıplardaki tahribat genellikle ısıl yorulmanın yol açtığı ince çatlaklardır (Süzen 1991).

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Giriş

Bu bölümde öncelikle, kullanılan matriks alaşımı ve takviye malzemesi ile kompozit üretiminde kullanılan alet ve cihazlar tanıtılmıştır. Daha sonra partikül takviyeli metal matriksli kompozitlerin üretimi detaylı olarak verilmiştir. Son kısımda ise üretilen kompozitlere uygulanan karakterizasyon çalışmaları aktarılmıştır.

3.2 Matriks Alaşımı ve Takviye Malzemesi

3.2.1 Matriks Alaşımı

Matriks alaşımı olarak, kimyasal bileşimi Tablo 3.1’de verilen Etial-171 Alüminyum-silisyum alaşımı kullanılmıştır. Ötektik bileşime yakın olduğundan iyi akışkanlığa sahip olması bu alaşımın seçilmesinde önemli bir rol oynamıştır.

Tablo 3.1 Matriks malzemenin kimyasal bileşimi.

Al Alaşımı	Al	Cu	Mg	Si	Fe	Mn	Zn	Pb	Ti	Cr	Sn
ETİAL-171	89.33	0.02	0.342	9.30	0.35	0.56	0.045	0.04	0.03	0.002	0.001

3.2.2 Takviye malzemesi

Takviye malzemesi olarak, Tablo 3.2’de özellikleri verilen 400 meşlik (ortalama tane boyutu 37 µm) SiC tozu kullanılmıştır.

Tablo 3.2 Takviye malzemesinin (SiC) özellikleri.

Takviye malzemesi	Mukavemet (MPa)	Elastik Modül (GPa)	Yoğunluk (g/cm ²)
SiC	3100	324	3,2

3.3 Kompozitlerin Üretiminde Kullanılan Cihazlar

3.3.1 Ergitme Fırını

12 Kw gücünde elektrikle ısıtılan ve 5 kg'a kadar Alüminyum ve alaşımlarını ergitebilecek kapasitededir. Fırın karıştırma, koruyucu gaz verme ve döküm için uygun şekilde dizayn edilmiştir. Ergitme fırını ve kompozit üretiminde kullanılan diğer ekipmanların fotoğrafı Şekil 3.1'de verilmiştir.

3.3.2 Savurma Döküm Makinesi

Savurma döküm makinesi ve kalıbı Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü Atölyesi'nde gerçekleştirilmiş olup, 2010 devir/dakika dönme hızına sahiptir (Şekil 3.1). Savurma döküm kalıbı 120 mm dış çap ve 70 mm iç çap olmak üzere 140 mm uzunluğunda takım çeliğinden imal edilmiştir. Kalıp, döküm malzemenin kolay çıkarılabilmesi için sökülebilen birleştirmelerle oluşturulmuştur.

3.4 Kompozit Malzemelerin Üretimi

Kompozit malzemeler iki yöntemle elde edilmişlerdir. Birinci yöntemde vorteks metoduyla hazırlanan kompozit karışımı Şekil 3.1'de görülen metal kalıba dökülerek şekillendirilmiştir. İkinci yöntemde ise yine vorteks metoduyla hazırlanan kompozit karışımı savurma döküm kalıbında

şekillendirilmiştir. Bundan sonra birinci yöntem kokil döküm, ikincisi ise savurma döküm olarak anılacaktır.



Şekil 3.1 Kompozit üretiminde kullanılan cihaz ve ekipmanlar

Matriks alaşımı (Etial 171) ve ilave edilecek SiC miktarları hesaplanarak hassas terazide tartılmıştır. Daha sonra 400 meşlik SiC partikülleri yaklaşık 250 °C de 2 saat bekletilmiş ve nem, yağ vs. kalıntılardan arındırılmıştır. Tartılan matriks malzeme SiC pota içerisine koyularak ergitme fırınına yüklenmiştir. Ergiyen matriks alaşımı içine daldırılan bir termokup ile sıcaklık sürekli ölçülmüştür. Matriks alaşımının sıcaklığı yaklaşık 610 °C ye ulaştıktan sonra fırın kapağı açılarak çok ince bir tabaka halinde şamot kaplanmış olan paslanmaz çelik pervane sıvıya daldırılmış ve sıvı 1000-1500 davir/dak. hızları arasında karıştırılmaya

başlanmıştır. Oluşan vorteks içine kontrollü şekilde SiC partikülleri ilave edilmiş ve fırın kapağı kapatılarak karışımın sıcaklığı 750 °C ye gelene kadar beklenmiştir. Sonra, bu sıcaklıktaki kompozit karışımlar yaklaşık 250 °C ye ön ısıtılmış ve iç kısımlarına talk (pudra) sürülmüş kokil kalıba ve savurma döküm kalıbına dökülerek işlem tamamlanmıştır. Tüm ergitme ve ilaveler Argon gazı atmosferinde yapılmıştır.

3.5 Kompozit Malzemeler

3.5.1 Kokil Döküm Kompozit Malzeme

Vorteks yöntemiyle hazırlanan kompozit karışımın kokil dökümü sonucu 20 mm çapında ve 180 mm uzunluğunda dörder adet kokil döküm kompozit malzeme üretilmiştir.

3.5.2 Savurma Döküm Kompozit Malzeme

Savurma döküm makinesinde üretilen kompozitler ise, dış çapı 70 mm, et kalınlığı 15 mm ve uzunluğu 140 mm olan silindir şeklinde malzemelerdir.

3.6 Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu

3.6.1 Mikroyapı İncelemeleri

3.6.1.1 Optik Mikroskop İncelemeleri

Her iki yöntemle üretilen kompozit malzemelerden çıkarılan metalografik incelemelerde kullanılacak boyutlardaki numuneler öncelikle standart metalografik numune hazırlama kademelerinden geçirilmiştir. Daha sonra 3 mikronluk elmas pasta ile parlatılan numuneler dağlamaya ihtiyaç

duyulmadan AKÜ, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Laboratuvarında mevcut bulunan Olympus marka BX60 Model alttan ve üstten aydınlatmalı otomatik fotoğraf sistemli optik mikroskopla (Şekil 3.2) incelenmiş ve değişik bölgelerden farklı büyütmelerde optik mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir



Şekil 3.2 Optik mikroskop

3.6.1.2 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri

Optik mikroyapı incelemelerinde kullanılan numuneler ve çekme deneyi sonucunda kırık bölgeden alınan numuneler üzerinde LEO 1430 VP marka SEM (Şekil 3.3) cihazında özellikle Matriks ile takviye malzemesinin ara yüzey durumunu ve kırık yüzey morfolojisini inceleyebilmek için SEM analizleri gerçekleştirilmiş ve önemli görülen bölgelerden fotoğraflar alınmıştır.



Şekil 3.3 SEM

3.6.2 Uygulanan Testler

3.6.2.1 Sertlik Deneyi

Sertlik deneyleri AKÜ, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü Laboratuvarında mevcut bulunan MET TEST - HT model sertlik ölçme cihazında gerçekleştirilmiştir. Kompozitin genel sertliğini tespit edebilmek için daha geniş bir alanda iz oluşturmasından dolayı Brinell sertlik yöntemi kullanılmıştır. Sertlik ölçme cihazı Şekil 3.4'de verilmiştir. Her bir numuneden en az 5 ölçüm yapılarak ortalaması alınmıştır.

3.6.2.2 Çekme Deneyi

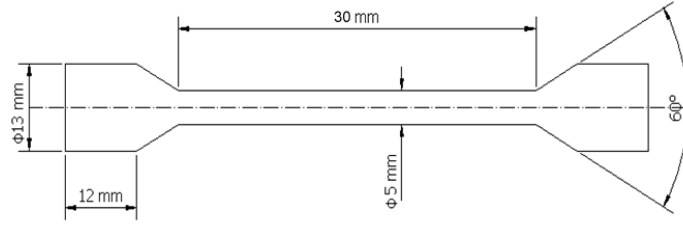
Çekme deneyi, üniversitemizde Yüksek Lisans tez çalışması olarak imal edilen ve kalibrasyonu yapılmış olan 5 ton kapasiteli ve bilgisayar kontrollü, tek eksenli çekme deneyi cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.5). Standartlara uygun olarak hazırlanmış olan ikişer adet numune 1 mm/dakika hızda çekme deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen yük-uzama grafiğinden gerilme-%uzama grafiği elde edilerek maksimum çekme mukavemetleri tespit edilmiştir. Deneylerde kullanılan çekme numunelerinin boyutları Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.4 Sertlik deneyi cihazı



Şekil 3.5 Çekme deneyi cihazı



Şekil 3.6 Çekme deneyi numunesi

4. DENEYSEL BULGULAR VE İRDELEME

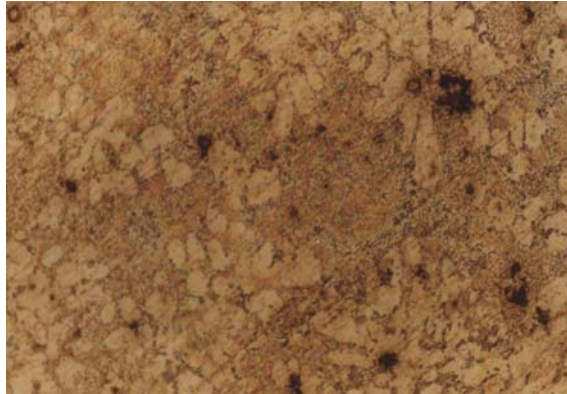
4.1 Giriş

Bu bölümde, kokil ve savurma döküm yöntemleriyle üretilen, farklı hacim oranlarında (%5, %10, %15, %20) SiC partikül takviyeli alüminyum matriksli kompozit malzemeler üzerine yapılmış olan mikroyapısal ve mekanik özelliklere ait bulgular verilmiştir. Öncelikle Matriks malzemesinin ve kompozitlerin optik ve SEM analizleri aktarılmış, daha sonra sertlik ve çekme deneylerinden elde edilen veriler sunularak tartışılmıştır.

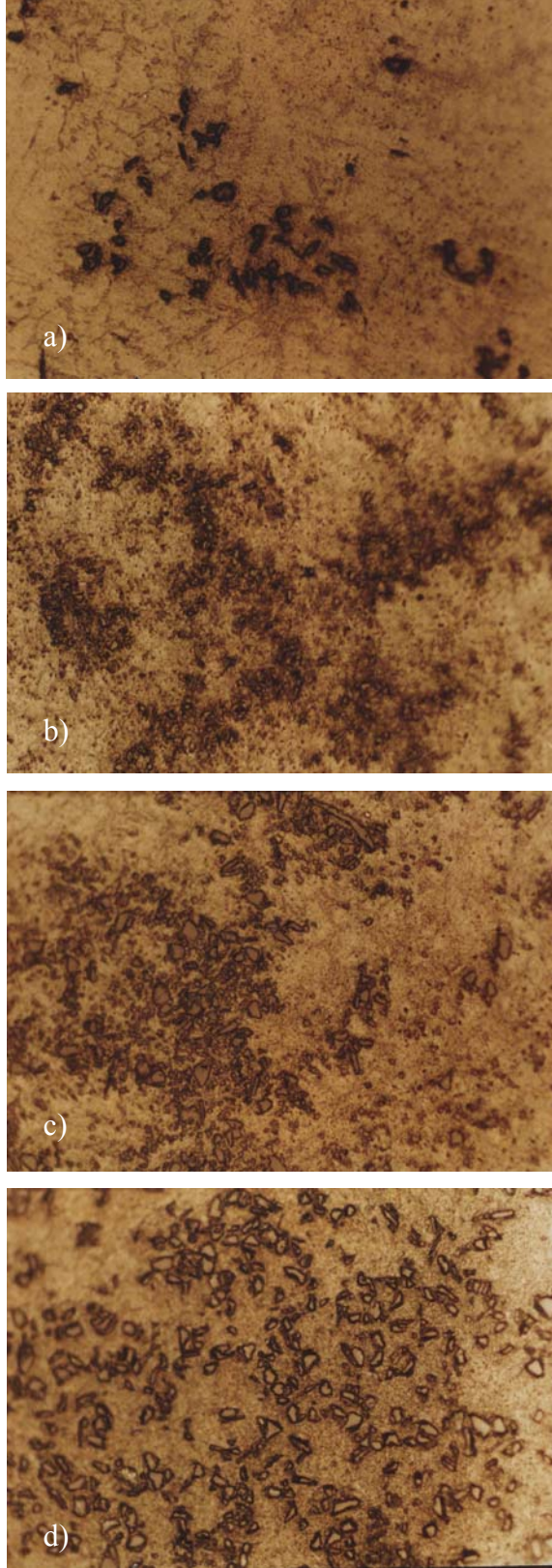
4.2 Mikroyapı Analizi

4.2.1 Optik Mikroskop Analizi

Kompozit üretiminde kullanılan Etial 171 Al-Si alaşımı matriks malzemenin optik mikroyapı fotoğrafı (Şekil 4.1) incelendiğinde primer alüminyum dendritleri ve Al-Si ötektiğinden oluştuğu görülmektedir. Tablo 3.1'den bu alaşımın ötektik noktaya yakın bir ötektik altı Al-Si alaşımı olduğu görülmektedir. Bu ise döküm özelliklerinin iyi olması anlamına gelmektedir. Bu alaşımın matriks malzemesi olarak seçilmesi söz konusu özelliğinden kaynaklanmaktadır. Matriks alaşımının modifiye edilmeği ve az da olsa döküm boşlukları içerdiği yine mikroyapı fotoğrafından görülebilmektedir.



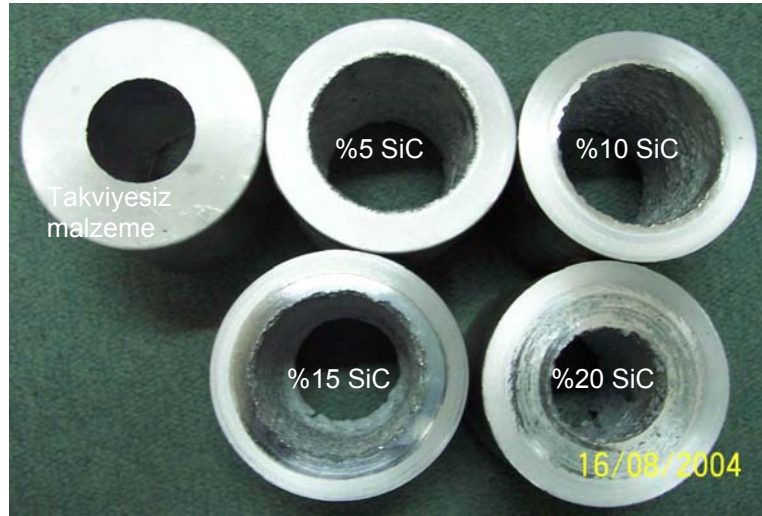
Şekil 4.1 Etial 171 Al-Si alaşımı matriks malzemenin optik mikroyapı fotoğrafı (X200)



Şekil 4.2: Kokil dökümle elde edilmiş a) %5 SiC, b) %10 SiC, c) %15 SiC ve d) %20 SiC içeren kompozit malzemelere ait optik mikroyapı fotoğrafları (X200)

Kokil döküm kompozit malzemelerin optik mikroyapı fotoğrafları Şekil 4.2 de verilmiştir. Şekilden görülebileceği gibi SiC partikülleri matriks içinde oldukça homojen sayılabilecek şekilde dağılmışlardır. Artan partikül hacim oranı ile dağılım homojenitesi artış göstermektedir. Muhtemelen artan SiC partikülleri ile Al-dendritleri modifiye olarak (incelerek) partiküllerin daha homojen dağılımlarına neden olmaktadır. Mikroyapıların incelenmesiyle yok denecek kadar az makro gözeneklerin bulunduğu anlaşılmaktadır.

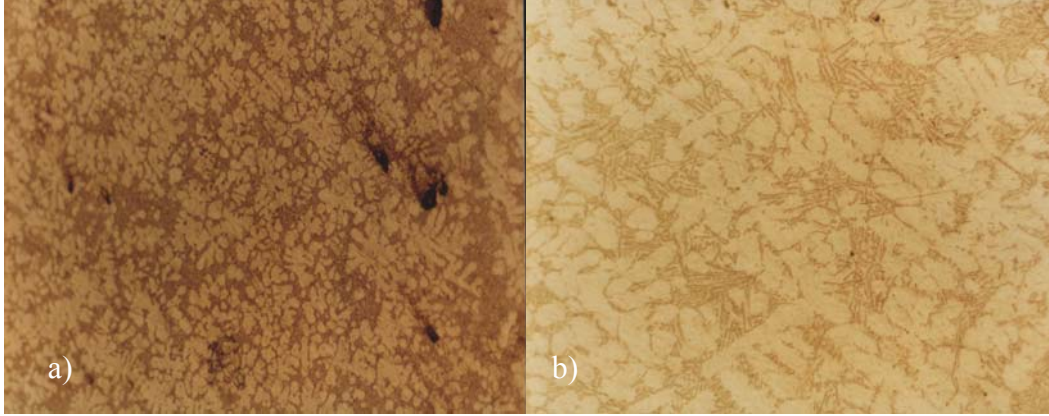
Savurma döküm ile üretilen kompozit malzemelerin makro görüntüsüne bakıldığında (Şekil 4.3) iki ayrı tabaka net olarak görülmektedir. SiC partiküllerinin iç çeperde toplandığı kompozit tabaka ve dış çeperdeki takviyesiz tabakanın bulunduğu renk farkından net olarak anlaşılmaktadır. Silindirik döküm parçasında SiC partikül hacim oranının artmasıyla SiC partiküllerinin bulunduğu tabaka kalınlığı da artmaktadır.



Şekil 4.3 Savurma döküm ile üretilen kompozit malzemelerin makro görünüşleri.

Savurma döküm ile üretilen takviyesiz matriks alaşımının iç ve dış çeperdeki mikroyapısı farklılık arz etmektedir (Şekil 4.4). Dış çeperin iç çepere göre daha ince bir yapıya sahip olduğu, buna karşılık iç çeperde

ötektikte bulunan silisyum kristallerinin uzun iğnemsî bir yapıda ve primer alüminyum dentritlerinin daha iri olduğu dikkat çekmektedir.



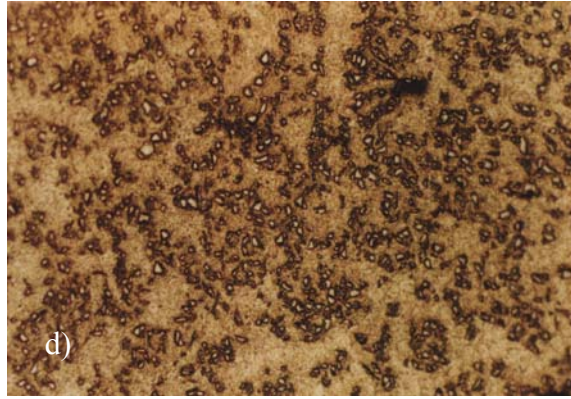
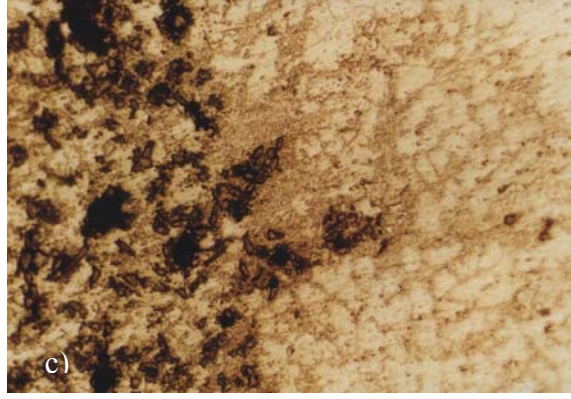
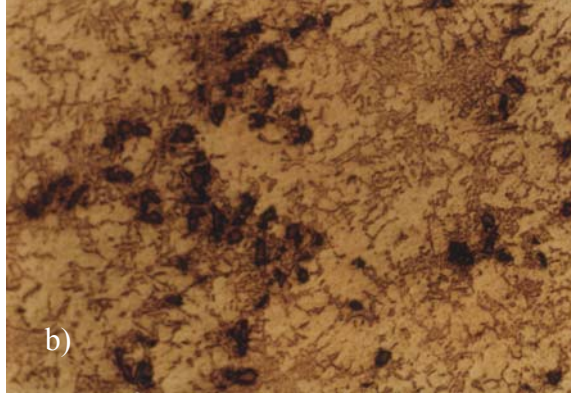
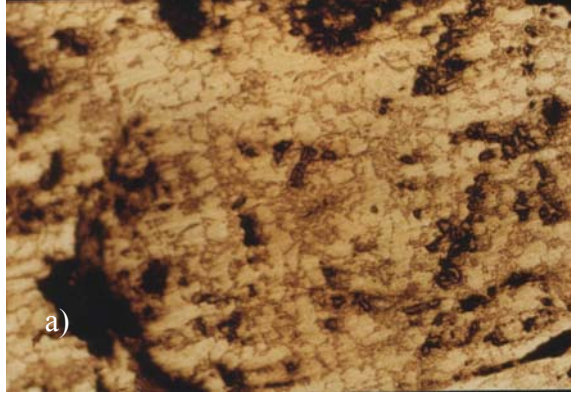
Şekil 4.4: Savurma döküm ile şekillendirilen matriks malzemesinin (a) dış çeper, (b) iç çeperden alınmış optik mikroyapı fotoğrafları (X100)

Kompozit tabakadan alınan mikroyapılar incelendiğinde (Şekil 4.5) %20 SiC partikül takviyeli kompozit hariç hiçbirisinde partiküllerin iyi bir dağılım gösterdiği söylenemez. Yüksek sayılabilecek oranda döküm hatalarının bulunduğunu da kaydetmek gerekir.

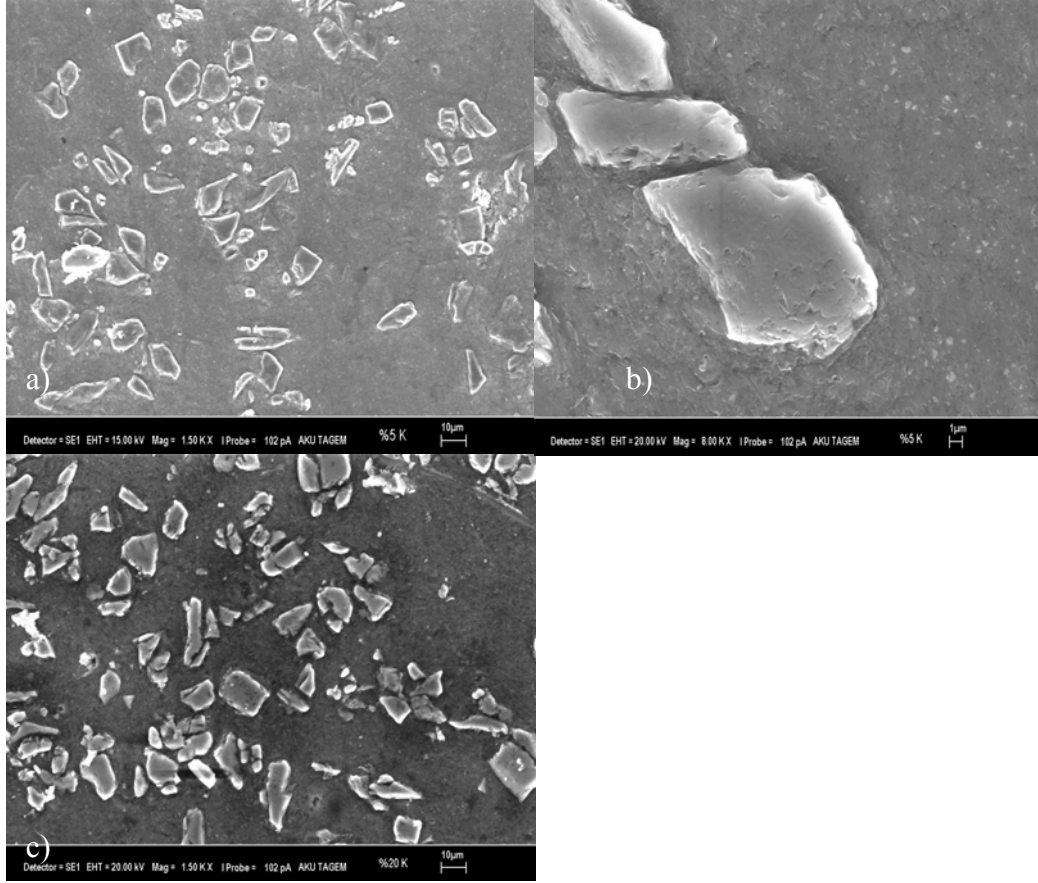
4.2.2 SEM Analizleri

Kokil dökümle üretilen kompozitlerden seçilmiş SEM fotoğrafları Şekil 4.6 da, savurma dökümle üretilen kompozitlere ait SEM fotoğrafları ise Şekil 4,7 de verilmiştir. SEM fotoğrafları incelendiğinde, kokil dökümde SiC partiküllerinin homojen dağılımı (Şekil 4.6a ve 4.6c) ve iyi bir arayüzey yapısını (Şekil 4.6b) gözlemlenmektedir.

Savurma döküm SEM fotoğrafları incelendiğinde (Şekil 4.7) ise ne SiC partiküllerin homojen dağılımından, ne partikül/matriks arayüzeyinin iyi olmasından, ne de döküm kusurlarının azlığından söz etmek mümkün görülmemektedir. Tüm bu fotoğraflar, savurma dökümün istenilen mikroyapıda gerçekleştirilemediğini göstermekte ve dolayısıyla, arzu edilen mekanik özelliklere de ulaşamamasının sebebini oluşturmaktadır.



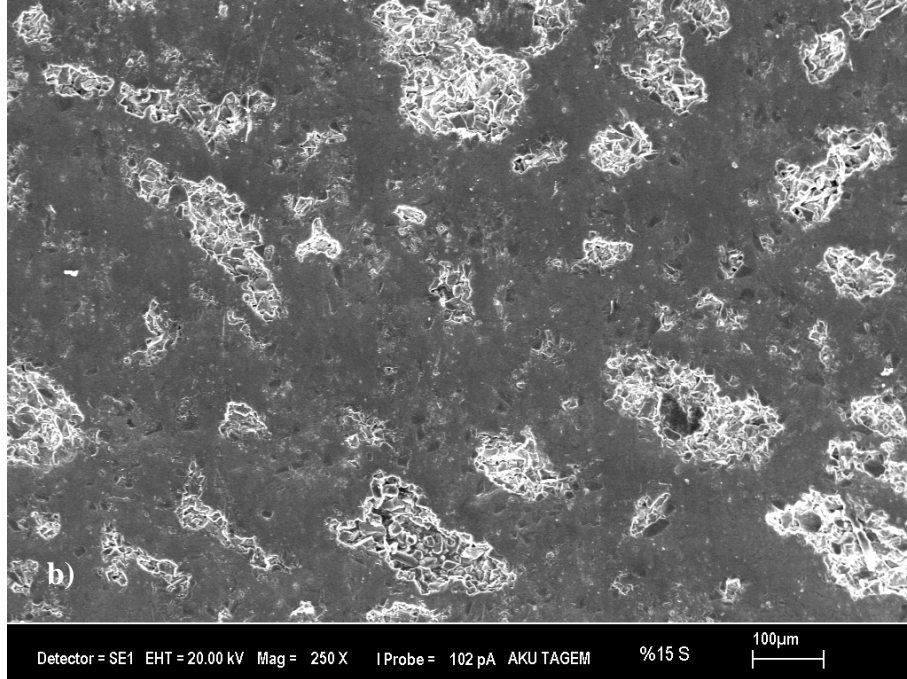
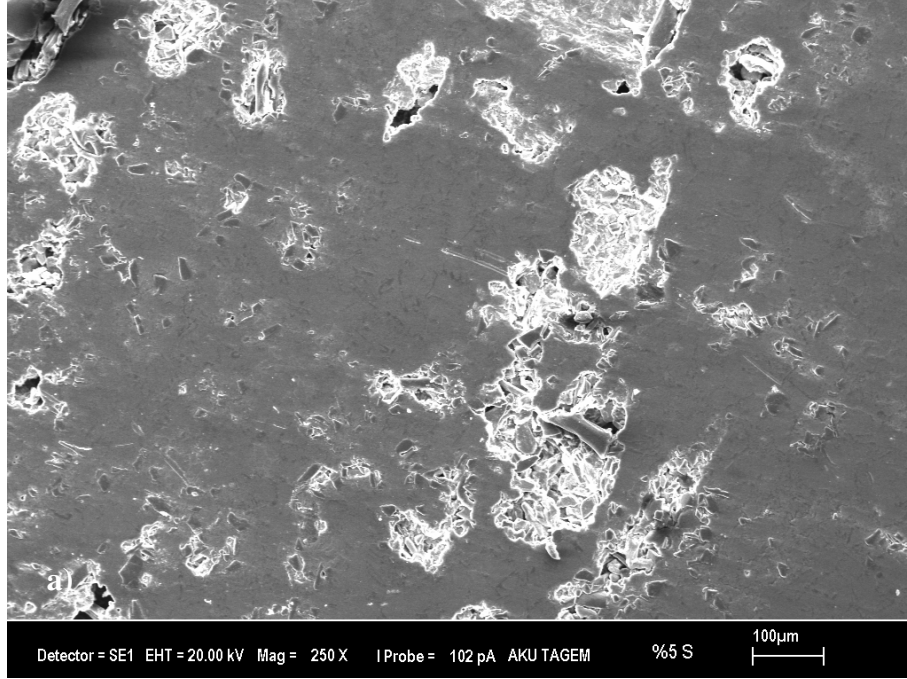
Şekil 4.5: Savurma dökümüyle elde edilmiş a) %5 SiC, b) %10 SiC, c) %15 SiC ve d) %20 SiC içeren kompozit malzemelere ait optik mikroyapı fotoğrafları (X200)



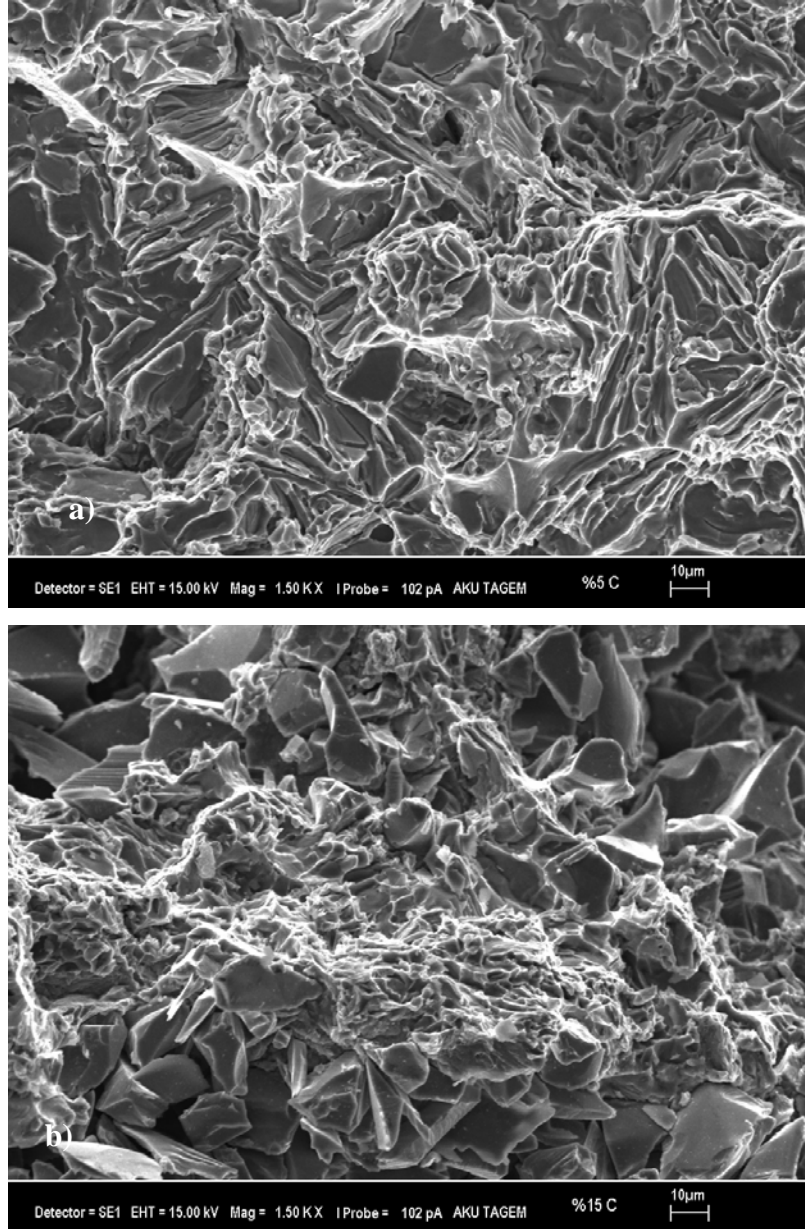
Şekil 4.6 Kokil döküm a, b) %5 SiC, c) %20 SiC partikül takviyeli kompozitlerin SEM fotoğrafları.

Problemlili görülen savurma döküm için çekme numunelerinin kırık yüzeylerinden alınan SEM fotoğrafları alınmıştır (Şekil 4.8). Bu fotoğraflar incelendiğinde %5 SiC partikül takviyeli kompozitte hemen hemen hiç SiC partikülü gözlenmemektedir. SiC partiküllerinin çekme numunelerinde olmaması da son derece doğaldır. Çünkü %5 SiC partikül takviyeli kompozitin makro görüntüsüne (Şekil 4.4) bakıldığında partiküllerin toplandığı tabaka kalınlığı son derece küçüktür. Bu nedenle çekme çubuğunun inceltmiş kısmı takviyesiz kısma düşmektedir. Dolayısıyla, kırık yüzeyin gevrek kırılmadan ziyade sünek-gevrek kırıldığı görülmektedir (Şekil 4.7a). Halbuki %15 SiC takviyeli savurma döküm kompozitte SiC partikülleri kolaylıkla seçilebilmektedir (Şekil 4.7b). Partiküllerin nispeten az bulunduğu bölgeler sünek kırılma karakterinde olmasına rağmen SiC partiküllerinin yoğun olduğu bölgelerde kırılmanın

partikül/matriks arayüzeyinde gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Bu da savurma dökümde partikül/matriks bağının iyi olmadığına işaret etmektedir.



Şekil 4.7 Savurma döküm a) %5 SiC, b) %15 SiC partikül takviyeli kompozitlerin SEM fotoğrafları.



Şekil 4.8 Savurma döküm a) %5 SiC, b) %15 SiC partikül takviyeli kompozitlerin kırık yüzey SEM fotoğrafları.

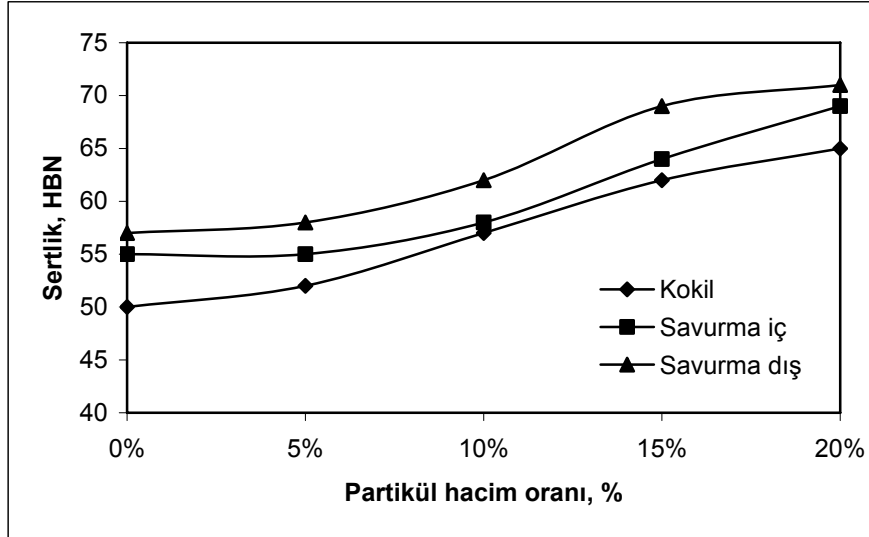
4.3 Sertlik Deneyi Verileri

Kokil ve savurma döküm yöntemleriyle üretilen kompozit malzemelerden metalografik analizler için hazırlanan numuneler sertlik deneylerinde kullanılmıştır. Her bir şart için en az 5 ölçüm yapılarak ortalamaları alınmıştır. Savurma döküm kompozitlerinden SiC partiküllerin toplandığı iç çeper ve takviyesiz bölge olan dış çeperden sertlikler alınmıştır. Tüm

sertlik sonuçları Tablo 4.1’de, grafik olarak gösterimi ise Şekil 4.9’da sunulmuştur.

Tablo 4.1 Savurma ve kokil döküm kompozitlerinin sertlik değerleri

	Sertlik değeri HBN				
	Matriks malzeme	%5 SiC	%10 SiC	%15 SiC	%20 SiC
Kokil kompozit	50	52	57	62	65
Savurma döküm kompozit (iç bölge)	55	55	58	64	69
Savurma döküm kompozit (dış bölge)	57	58	62	69	71



Şekil 4.9 Kompozit malzemelerin % partikül hacim oranı-sertlik ilişkisi

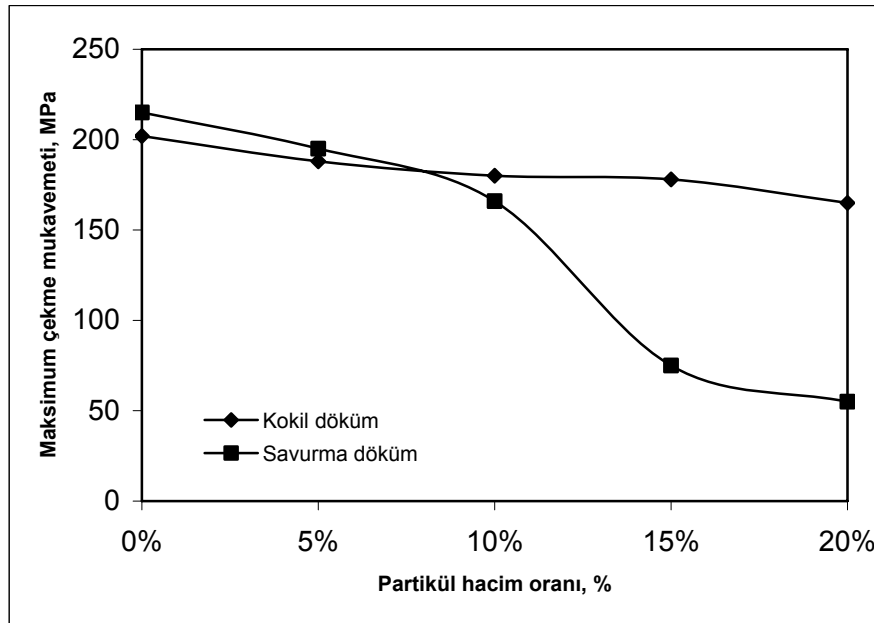
Partikül hacim oranı-sertlik grafiği incelendiğinde kokil ve savurma döküm kompozitlerinde artan SiC oranı ile sertliğin arttığı görülmektedir. Savurma dökümde elde edilen sertlik değerleri hem iç hem dış çeperde kokil dökümden yüksektir. Ayrıca savurma dökümün dış çeper sertliği iç çeper sertliğinden daha yüksektir.

4.4 Çekme Deneyi

Kokil dökümden elde edilen çubuklardan ve savurma döküm yöntemleriyle üretilen silindirik kompozit malzemenin gövdesinden uzunlamasına standartlara uygun olarak hazırlanan numunelerle yapılan çekme test sonuçları Tablo 4.2'de grafik olarak gösterimi ise Şekil 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.2 Üretilen kompozitlerin çekme test sonuçları

	Maksimum çekme mukavemeti, MPa				
	Matriks malzeme	%5 SiC	%10 SiC	%15 SiC	%20 SiC
Kokil kompozit	202	188	180	178	165
Savurma döküm kompozit	215	195	166	75	55



Şekil 4.10 Kompozit malzemelerin % partikül hacim oranı-çekme mukavemeti ilişkisi

Partikül hacmi-çekme mukavemeti grafiği incelendiğinde, genel olarak her iki döküm için de artan SiC partikül oranı ile çekme mukavemetinin azaldığı görülmektedir. Ancak, mukavemetteki bu düşüş kokil dökümde kararlı bir şekilde gerçekleşirken, savurma döküm kompozitte %10 SiC partikül oranından sonra son derece keskindir. Takviyesiz ve %5 SiC partikül takviyeli savurma döküm kompozitin çekme mukavemeti takviyesiz

ve %5 SiC partikül takviyeli kokil dökümden daha yüksektir. Bu veriler aslında savurma dökümün kokil döküme göre daha iyi mekanik özellik sağladığını göstermektedir.

4.5 Deneysel Bulguların İrdelenmesi

Partikül takviyeli metal matriksli kompozitler, özellikle yüksek spesifik mukavemet ve yüksek spesifik rijitlik, daha iyi aşınma direnci ve yüksek sıcaklık özelliklerine sahip olduklarından uzay ve otomotiv sektöründe geniş kullanım alanları bulmaktadır (Akbulut 2001). Bilindiği gibi alüminyum matriks içerisinde SiC gibi sert seramik partiküllerin dağıtılmasıyla elde edilen SiC partikül takviyeli alüminyum matriksli kompozitler değişik yöntemlerle üretilebilmektedir. Bunların başında ise kolay ve ucuz olması nedeniyle vorteks metodu gelmektedir. Bununla birlikte, vorteks metodunda pek çok değişkenin kontrol altında tutulması gerekmektedir. Ergiyik karıştırma sıcaklığı, karıştırma aparatının malzemesi, şekli ve boyutu, karıştırma hızı, tozun boyutu, şekli, ilave edilme şekli ve hızı, atmosfer şartları, döküm (katılaştırma) şartları bunlar arasında sayılabilir. Yapılan bu tez çalışmasında tüm bu sayılan faktörler literatürden yararlanılarak kontrol altında tutulmaya çalışılmıştır.

Görüldüğü gibi vorteks metodu içine kompozit döküm işlemini de almak gerekmektedir (Aslan 1999). Savurma döküm doğrudan bir kompozit üretimi olmaktan ziyade kompozit döküm yöntemi olarak değerlendirilmelidir. Vorteks yöntemiyle elde edilen kompozit karışımın metal kalıba dökülmesi ve savurma dökümle üretilmesi, ayrıca mikroyapısal ve mekanik özelliklerinin incelenmesi bu çalışmanın hedefi olmuştur.

Kompozitlerin kokil dökümünün başarıyla gerçekleştirildiği ve elde edilen sonuçların literatürle uyum içinde olduğu görülmüştür. Kompozit üretiminde arzu edilen homojen partikül dağılımı, aglomerasyonun (topaklanma) olmaması, minimum porozite, iyi bir partikül/matriks

arayüzey bağ, yüksek mukavemet ve sertlik gibi özellikler kokil dökümde elde edilmiştir. Döküm kusurlarının olması kaçınılmaz görülmektedir. Zira basınç altında katılaştırma gerçekleştirilmezse yüksek oranda porozitenin bulunması ve bunun en önemli dezavantajların başında geldiği kaydedilmektedir.

Savurma döküm yönteminde kokil dökümdeki başarı sağlanamamıştır. Savurma döküm ile kompozit üretimi sırasında vorteks metoduna ilave olarak savurma döküm kalıbı özellikleri (kalıp malzemesi, kalıp boyutları, kalıp sıcaklığı gibi) de kontrol altında tutulmalıdır. Görülen o ki savurma dökümde, SiC partiküllerin oksitlenmesi bir türlü engellenememiştir. Islatmanın iyi olması ve partiküllerin matriks içerisine iyi bir şekilde ilave edilmesi durumunda savurma döküm kompozitin istenilen özelliklerde üretilmesi mümkün görülmektedir. Rodriguez ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada savurma dökümle kompozit üretmişlerdir. Ancak bu çalışmada kompozit vorteks metoduyla üretilip savurma dökümle katılaştırılmamıştır. Duralcan firmasından temin edilen kompozit malzeme ergitilip savurma döküm ile şekillendirilmiştir. Dolayısıyla, kullanılan kompozit malzeme kolay ve ucuz yolla elde edilebilen bir malzeme değil, aksine ileri teknolojilerle ticari olarak üretilen malzemelerdir. Bu nedenle, savurma döküm kompozit üretiminde bu araştırmada izlenen yolla başarılı olmuş bir başka çalışmaya rastlanamamıştır.

Savurma döküm yönteminde yapının içerden dışarıya doğru incelendiği gözlenmiştir. Silindir şeklinde elde edilen kompozit dökümlerin iç kısımları modifiye edilmemiş Al-Si alaşımlarında olduğu gibi alüminyum dendritleri ile alüminyum-silisyum ötektiğinden oluşmaktadır. Ötektik içindeki silisyum kristalleri uzun iğneler veya çubuklar şeklindedir. Halbuki dış kısımlarda bu silisyum kristalleri daha küçük boyutlardadır. Aynı şekilde alüminyum dendritlerinin de küçüldüğü görülmektedir. Bu gelişmelerin malzeme özelliklerine olumlu bir yansımalarının olduğu anlaşılmaktadır. Savurma döküm yönteminin bir avantajı olan inklüzyon ve gazların iç çeperde

toplanma özelliğinin de katkısıyla savurma döküm kompozitleri kokil dökümden daha yüksek sertlik göstermiştir.

Çekme mukavemeti açısından irdelendiği zaman artan SiC partikül hacim oranıyla mukavemetin düşmesi beklenen bir davranıştır. Çünkü, literatürde yapılan bir çalışmada benzer sonuçlar kaydedilmektedir (Akbulut 2001). Çekme mukavemetinin genelde düşmesi SiC partikülleri ile matriks arasında iyi bir bağın oluşmamasına bağlanmaktadır.

Normalde matriks içerisinde homojen olarak dağılan çok ince katı partiküller mukavemetlenmeye sebep olurlar. Literatürde çeşitli mukavemetlenme mekanizmaları önerilmiştir. Partiküllerin gerilme oluşturmaları, termal olarak matriksin deformasyon sertleşmesi, dislokasyon yoğunluğunun artması ve alt tane boyutunun azalması bunlar arasında sayılabilir. Nitekim bir çalışmada (Rodriguez 2002) 700 devir/dak savurma döküm hızında, %20-30 SiC oranları arasında artan partikül hacim oranıyla akma ve çekme mukavemetlerinin sürekli arttığını kaydetmektedir. Bununla birlikte 1300 dev./dak da ise %30-40 SiC hacim aralığında akma ve çekme mukavemetinin düştüğünü bildirmektedir.

Savurma dökümde %10 SiC partikül hacminden sonra çekme mukavemetinde görülen keskin düşüşler tamamen teknik nedenlere dayanmaktadır. Çekme numuneleri silindirik döküm bloğunun kesitinden çıkarılmıştır. Dolayısıyla, SiC partikülleri bütün kesit boyunca homojen dağılmadığı hatta bazı durumlarda sadece tornada işlenen kısımda kaldığı için bu sonuçla karşılaşmıştır. Yani, çekme deney numunelerinin inceltilmiş kısmı ya takviyesiz, ya bir bölümü takviyeli ya da tüm kesiti takviyeli olacak şekilde bulunma durumu söz konusudur. %15 ve %20 SiC takviyeli kompozitlerin makro görüntüsünden çekme numunesinin çok büyük bir bölümün takviyeli tabakayı içerdiği görülmektedir. Dolayısıyla, savurma döküm için artan partikül hacim oranı çekme mukavemetinde daha keskin düşüşe neden olmuştur.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Ergitilmiş Etial 171 Al-Si alaşımında vorteks oluşturup, hacimce %5, %10, %15 ve %20 SiC partikül takviye edilerek elde edilen karışımın kokil döküm ve savurma döküm yöntemleriyle üretilen metal matriksli kompozit malzemelerin mikroyapısal ve mekanik özelliklerinin incelenmesi neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1) Kokil dökümle üretilen kompozitlerde çok az gözenek içeren ve SiC partiküllerinin oldukça homojen dağıldığı bir mikroyapı elde edilirken, aynı başarı savurma dökümde elde edilememiştir.

2) Savurma dökümde dış çeperde toplanması beklenen SiC partiküllerinin inklüzyon gibi davranarak iç çeperde toplandığı ve büyük oranda döküm hataları içerdiği gözlemlenmiştir.

3) Savurma döküm yöntemiyle üretilen matriks malzeme ve kompozitlerin iç çeperden dış çepere doğru mikroyapılarında bir incelmanın olduğu görülmüştür. İç çeperde silisyum kristalleri uzun iğnemsî şekilde iken dış çepere doğru silisyum kristallerinin küçüldüğü anlaşılmaktadır.

4) Savurma dökümde partikül hacim oranının artmasıyla SiC partiküllerin iç çeperden dışa doğru dağılma mesafelerinin arttığı tespit edilmiştir.

5) Her iki döküm yöntemiyle üretilen kompozitlerin artan % partikül oranı ile sertliklerinin arttığı görülmüştür. Savurma dökümle üretilen kompozit malzemenin dış çeperinde sertliğin iç çepere göre daha yüksek olduğu saptanmıştır.

6) Her iki döküm yöntemiyle elde edilen kompozit malzemelerin çekme mukavemetleri artan SiC partikül hacim oranı ile azalmaktadır. Bu azalma kokil dökümde çok az iken savurma dökümde oldukça dikkat çekicidir.

5.2 Öneriler

- 1) Sıvı alüminyum alaşımları demir ile kimyasal reaksiyona girmektedir. Dolayısıyla uzun karıştırma durumunda sıvı alüminyumun demir kapması söz konusudur. Bu nedenle karıştırıcı pervanelerin paslanmaz çelikten imal edilmesi yeterli olmamaktadır, mutlaka kaplanması gerekir. Kısa karışırmalarda şamot ile kaplama yeterli olabilmekte ancak uzun süreli karıştırma yapılacaksa alümina veya zirkonya ile kaplama yapmanın uygun olacağı düşünülmektedir.
- 2) Karıştırma sırasında sıvı metalin atmosferden çok iyi bir şekilde korunması gerekmektedir. Aksi takdirde hem sıvı metal oksitlenmekte hemde katı partiküller sıvı içerisine ilave edilememekte, curufta toplanmaktadır.
- 3) Partiküllerin sıvı alüminyuma daha iyi ilave edilebilmesi için SiC partiküllerin ya oksitlenmesi yada kaplanması değişik kaynaklarda kaydedilmektedir, araştırılmalıdır.
- 4) Savurma dökümde istenilen sonucun alınamamasının nedenleri, işlem parametrelerinin değiştirilmesiyle daha ileri çalışmalar yapılarak araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Akbulut, H., Yalçın, Y., Altunpark. Y., Yılmaz. F., 2001, "Comparision of The Mechanical Properties Between Liquid Phase Produced and Diluted A356-SiC Particle Reinforced MMC_s", 7th European Conferance on Advenced Materials and Processes, Remini, pp256-264
- Akbulut, H., 1995, "Alümina Fiber Takviyeli Al-Si Metal Matriksli Kompozitlerin Üretimi ve Mikroyapı-Özellik İlişkilerinin İncelenmesi", Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akıncı, H., Ögel, B., 2000, "Al-SiC Kompozitlerin İnfiltasyon Yöntemiyle Üretilmesi", 10. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, s 1773-1779, İstanbul.
- Anayurt, M., Ferizoğlu, T., Öztürk, Ş., Sadioğlu, S., Erkeksoy, İ., 1994, "Demir Döküm Teknolojisi", KOSGEB, Ankara, s 25- 36.
- Anık, S., Dikicioğlu, A., Vural, M., 1994, "İmal Usulleri", Birsen Kitabevi, İstanbul, s 135-226.
- Aran, A., 1999, "Metal Döküm Teknolojisi", Birsen Yayınevi, İstanbul, s 74-87.
- Ardıç, S., E., Altıntaş, A., E., 2000, "Kompozit Malzemelerden Son Ürüne Ulaşma Yolu", 10. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, s 1799-1806, İstanbul.
- Aydın, M., 2003, "SiC Parçacık Takviyeli 7075 Alüminyum Alaşım Matrisli Kompozit Malzemelerin Difüzyon Kaynağı", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Azaklı, A.M., Aslan, S., Akbulut, H., Bindal, C., 2003, "Etial 171-SiC-Grafit Hibrit Metal Matriksli Kompozitlerin Üretimi ve Mikroyapısı", Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Cilt:7 Sayı:2, Süleyman Demirel Üniversitesi, s 104-109.

Canarlan, N., S., 1997, "Döküm Sürecine Yönelik Filtre Sistemleri ve SiC-Al₂O₃ Sünger Filtre Üretimine İlişkin Olurluluk Çalışmaları", 9. Uluslararası Metalurji Ve Malzeme Kongresi, s 1579-1583, İstanbul.

Cooke, T.F., 1991, "Inorganic Fibers-A Literature Reivew" , J. Amer. Ceram. Soc., Vol: 74, pp 2959-2978.

Çavuşoğlu, N., E., 1981, "Döküm Teknolojisi I", İTÜ Matbaası, İstanbul, s 176- 179.

Ersümer, A., 1986, "Demir Dökümü", Coşkun Ofset, İstanbul, s 1-60.

Howe. J. M., 1993, "Structure, and properties of Metal/Ceramic Interfaces: Part I Chemical Bonding, Chemical Reaction, and Interfacial Structure", Int. Mater. Rew. Vol:38, No: 5, pp 233-256

Kök, M., 2001, "Al₂O₃ Partekül Takviyeli 2024 Alüminyum Metal Matriksli Kompozitlerin Üretimi", Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt:4 Sayı:2, s 131-142, Kahramanmaraş.

Mohamed A. T., 2001, "Practicalization of Cast Metal Matrix Composites (MMCC_s), Materials and Design, pp 431-441,

Muratoğlu, M., Aksoy, A., haksever, A., 1999, "SiC Katkılı 2124 Alüminyum Kompozitinin Aşınmasında Çalışma Sıcaklığının Aşınma Davranışına Etkisi", Bilim Günleri, Makine Mühendisleri Odası, s 7-18, Denizli.

- Ögel, B., 1997, "Kompozit Malzemelerde Son Gelişmeler ve İleriye Dönük Beklentiler", 9. Uluslararası Metalurji Ve Malzeme Kongresi, s 639-649, İstanbul.
- Rodriguez-Castro, R., Wetherhold, R., C., Kelestemur, M., H., 2002, "Microstructure and Mechanical Behavior of Functionally Graded Al A359/SiC_p Composite", Materials Science and Engineering, 445-455
- Sümer, G., 1992, "Endüstriyel Seramikler", Cilt 2, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir, s 468-473.
- Süzen, F., 1991, "Savurma Döküm(Genel)", KOSGEB, Ankara.
- Süzen, F., 1991, "Savurma Döküm(Tasarım Kriterleri, Döküm Teknikleri)", KOSGEB, Ankara, s 2-19.
- Ünlü, S., B., Şahin, S., Akgün, S., 2004, "Döküm ve T/M Yöntemiyle Üretilmiş Al₂O₃-SiC Takviyeli Al Kompozitlerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", 10. Denizli Malzeme Sempozyumu ve Sergisi, s 214-217, Denizli.
- Yıldırım, M., M., Kaplan., M., 2004, "Alüminyum-Silisyum Ötektik Alaşımında Döküm Koşullarının Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerine Etkileri", 10. Denizli Malzeme Sempozyumu ve Sergisi, s 50-57, Denizli.
- Yılmaz, M., Altıntaş, S., 1997, "Al-SiC_p Kompozitinin Isıl Çevrim Koşulu Altında Davranışının Teorik ve Deneysel İncelenmesi", 9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, s 721-726, İstanbul.

Yılmaz, T., 1996 “Al₂O₃ Partikül Takviyeli LM-6 Metal Matriksli Kompozitlerin Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi”, Bitirme Tezi, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Sakarya.

TEŞEKKÜR

Bu tezi hazırlamam esnasında her zaman ve her konuda bütün imkanlarıyla bana yardımcı olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Yılmaz Yalçın başta olmak üzere, çalışmalarımnda okulun tüm imkanlarını kullanmamda yardımcı olan Sayın Prof Dr. Galip Said ve Doç. Dr. Süleyman Taşgetiren'e, atölye çalışmalarımnda yardımlarından dolayı sSayın Birol Erol'a, manevi desteklerinden dolayı Sayın Yrd. Doç. Dr. Ayhan Erol'a, bana her anlamda destek olan bütün arkadaşlarıma, ayrıca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli aileme teşekkür ederim.

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Afyon'da doğdu. İlköğrenimini Afyon Fatih İlkokulu ve Afyon Merkez Atatürk Ortaokulu'nda, ortaöğrenimini Afyon Süper Lisesi'nde 1998 yılında tamamladı. Lisans eğitimini Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Öğretmenliği bölümünde 2002 yılında tamamladı. Aynı yıl Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi A.B.D'da yüksek lisansına başladı ve 2004 yılında yüksek lisansını tamamladı.