

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Sıls. Kar. Tak, Alü. Mat. Kom, Toz
Met. Yön. ve Dök. Yön. Üre.

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gökalp Yanıkçı

2006

2
70
44

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SİLİSYUM KARBÜR TAKVİYELİ ALÜMİNYUM MATRİKSLİ
KOMPOZİTLERİN TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ VE DÖKÜM
YÖNTEMİYLE ÜRETİLMESİ**

Metalurji ve Malzeme Müh. Gökarp YANIKÇI

FBE Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ahmet KARAASLAN

İSTANBUL, 2006

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE VE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Yer No (DDC): R.370
144

Kayıt No : 3202
Geldiği Yer : Fen Bilim Enst.
Tarih : 7.11.06
Fiyat : 6.50
Fatura No :
Ayniyat No : 1-14
Ek :

13-91

**SİLİSYUM KARBÜR TAKVİYELİ ALÜMİNYUM MATRİKSLİ
KOMPOZİTLERİN TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ VE DÖKÜM
YÖNTEMİYLE ÜRETİLMESİ**

Metalurji ve Malzeme Müh. Gökalp YANIKÇI

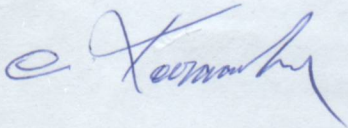
FBE Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ahmet KARAASLAN

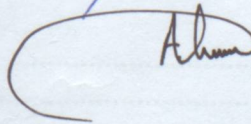
Danışman

Doç. Dr. Ahmet KARAASLAN



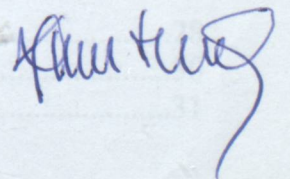
Üye

Prof. Dr. Ahmet Torun



Üye

Prof. Nurullah GÜLTEK



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KOMPOZİTLER	2
3. KOMPOZİTLERDE TAKVİYE ELEMANLARI VE ÖZELLİKLERİ	6
3.1. Silisyum Karbür	6
4. KOMPOZİTLERDE MATRİKS MALZEMELERİ VE ÖZELLİKLERİ	8
4.1. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları	9
4.2. Alüminyum 6063 Alaşımı	11
5. KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM METODLARI	15
5.1. Sıvı Metal Emdirmesi	17
5.2. Sıkıştırılmalı Veya Sıvı Dövme Döküm Tekniği	18
5.3. Basınçlı Ve Basıncsız İnfiltrasyon	19
5.4. Sıvı Metal Karıştırması	20
5.5. Toz Metalurjisi	20
6. TAKVİYE ELEMANI VE MATRİKS ARAYÜZEYİ BAĞI	27
6.1. Takviye Elemanı ve Matriks Seçimi	28
6.2. Adhezyon veya Yapışma Teorisi	30
6.3. Islatma ve Çözünme Bağı	31

SİNGE LİSTESİ

7. TOZ METALURJİK VE DÖKÜM YÖNTEMİ İLE KOMPOZİT ÜRETİMİNDE REFERANS ALINAN ÇALIŞMALAR.....	32
7.1. Toz Metalurjik Çalışmalar	32
7.2. Döküm Çalışmaları	33
8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	39
8.1. Toz Metalurjik Çalışmalar İçin Kompozit Yoğunluklarının Ve Ağırlıklarının Bulunması.....	39
8.2. Tozların Karıştırılması ve Preslenmesi	41
8.3. Numunelerin Sinterlenmesi	41
8.4. Toz Metalurjik Numuneler İçin Gerçek Yoğunluk Değerleri	42
8.5. Toz Metalurjik Numuneler İçin Eğme Testi Sonuçları.....	42
8.6. Toz Metalurjik Yöntemle Üretilmiş Alüminyum Matriksli Silisyum Karbür Takviyeli Kompozit Numuneler İçin Mikro Yapı Fotoğrafları.....	43
8.7. Döküm Deneyleri	49
9. SONUÇLAR.....	88
KAYNAKLAR	90
ÖZGEÇMİŞ	92

SİMGE LİSTESİ

<i>Al</i>	Alüminyum
<i>Ti</i>	Titanyum
<i>Mg</i>	Magnezyum
<i>Ni</i>	Nikel
<i>Cu</i>	Bakır
<i>Zn</i>	Çinko
<i>Ni</i>	Nikel
<i>6063</i>	Alüminyum Alaşımı
<i>Cr</i>	Krom
<i>Mn</i>	Mangan
<i>Fe</i>	Demir
<i>Ti</i>	Titanyum
<i>Si</i>	Silisyum
<i>°C</i>	Sıcaklık Birimi
<i>Mg₂Si</i>	Magnezyum silisyum bileşiği
<i>Al₂O₃</i>	Alümina
<i>SiC</i>	Silisyum Karbür
<i>6061</i>	Alüminyum Alaşımı
<i>Rpm</i>	Dakikadaki Karıştırma Hızı
<i>d_k</i>	Kompozit Yoğunluğu
<i>d_m</i>	Matriks Yoğunluğu
<i>V_f</i>	Fiber Hacmi
<i>d_f</i>	Fiber Yoğunluğu
<i>V_m</i>	Matriks Hacmi
<i>V_k</i>	Kompozit Hacmi
<i>M_k</i>	Kompozit Ağırlığı
<i>g</i>	Gram
<i>π</i>	Pi Sayısı
<i>μ</i>	Mikron
<i>D</i>	İz Çapı
<i>HB</i>	Brinell Sertlik Değeri

KISALTMA LİSTESİ

MMK	Metal Matriks Kompozit	5
CETK	Karbon Elyaf Takviyeli Kompozit	9
AMK	Alüminyum Matriks Kompozit	13
Şekil 5.1	Metal matriks kompozit üretim yöntemleri	16
Şekil 5.2	FP Alüminyum oksit / Al esaslı kompozitin vakumda sıvı metal emdirilmesi tekniğinin akış şeması	18
Şekil 5.3	Toz metalurjisi ile kompozit üretim akış şeması	25
Şekil 5.4	Toz metalurjisi ile kompozit üretim aşamaları	26
Şekil 5.5	Toz metalurjisi ile kompozit üretim şematik gösterimi	26
Şekil 6.1	Kompozit tabakada ara yüzey bağının önemini belirten şematik gösterimi	28
Şekil 7.1	%10 SiC takviyeli 15 dakika 700 rpm de karıştırılarak üretilmiş metal matriks kompozit fotoğrafı [Prabu S, Karunamoorthy L, Kathiresan S, Mohan B.(2006)]	35
Şekil 7.2	%10 SiC takviyeli 10 dakika 700 rpm de karıştırılarak üretilmiş metal matriks kompozit fotoğrafı [Prabu S, Karunamoorthy L, Kathiresan S, Mohan B.(2006)]	35
Şekil 7.3	%10 SiC takviyeli 10 dakika 600 rpm de karıştırılarak üretilmiş metal matriks kompozit fotoğrafı [Prabu S, Karunamoorthy L, Kathiresan S, Mohan B.(2006)]	36
Şekil 7.4	%10 SiC takviyeli 15 dakika 600 rpm de karıştırılarak üretilmiş metal matriks kompozit fotoğrafı [Prabu S, Karunamoorthy L, Kathiresan S, Mohan B.(2006)]	36
Şekil 7.5	%10 SiC takviyeli 15 dakika 500 rpm de karıştırılarak üretilmiş metal matriks kompozit fotoğrafı [Prabu S, Karunamoorthy L, Kathiresan S, Mohan B.(2006)]	37
Şekil 8.1	Kullanılan kalıplar şematik şekli	41
Şekil 8.2	% 5 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (50X) büyütme	43
Şekil 8.3	% 5 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (100X) büyütme	44
Şekil 8.4	% 5 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (200X) büyütme	44
Şekil 8.5	% 10 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (50X) büyütme	45
Şekil 8.6	% 10 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (100X) büyütme	45
Şekil 8.7	% 10 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (200X) büyütme	46
Şekil 8.8	% 15 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (50X) büyütme	46
Şekil 8.9	% 15 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (100X) büyütme	47
Şekil 8.10	% 15 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (200X) büyütme	47
Şekil 8.11	% 20 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (50X) büyütme	48
Şekil 8.12	% 20 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (100X) büyütme	48
Şekil 8.13	% 20 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (200X) büyütme	49
Şekil 8.14	Ortalama toz boyutları	50
Şekil 8.15	Ortalama toz boyutları	51
Şekil 8.16	Fırın Rejimi	52
Şekil 8.17	400 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dokulmuş, oksidlenmiş SiC takviyeli AMK numune merkez bölgesi (50X) büyütme	53
Şekil 8.18	400 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dokulmuş, oksidlenmiş SiC takviyeli AMK numune kenar bölgesi (50X) büyütme	54

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Farklı gruptaki malzemelerin yoğunlukları	5
Şekil 4.1 Matrikslerin sıcaklık ve yoğunluk özellikleri	9
Şekil 4.2 Alüminyum Mg_2Si faz diyagramı	13
Şekil 5.1 Metal matriks kompozit üretim yöntemleri	16
Şekil 5.2 FP Alüminyum oksit / Al esaslı kompozitin vakumda sıvı metal emdirilmesi tekniğinin akış şeması	18
Şekil 5.3 Toz metalurjisi ile kompozit üretim akış şeması	25
Şekil 5.4 Toz metalurjisi ile kompozit üretim aşamaları	26
Şekil 5.5 Toz metalurjisi ile kompozit üretim şematik gösterimi	26
Şekil 6.1 Kompozit tabakada ara yüzey bağının önemini belirten şematik gösterimi	28
Şekil 7.1 %10 SiC takviyeli 15 dakika 700 rpm de karıştırılarak üretilmiş metal matriks kompozit fotoğrafı [Prabu S.,Karunamoorthy L.,Kathiresan S.,Mohan B.(2006)]	35
Şekil 7.2 %10 SiC takviyeli 10 dakika 700 rpm de karıştırılarak üretilmiş metal matriks kompozit fotoğrafı [Prabu S.,Karunamoorthy L.,Kathiresan S.,Mohan B.(2006)]	35
Şekil 7.3 %10 SiC takviyeli 10 dakika 600 rpm de karıştırılarak üretilmiş metal matriks kompozit fotoğrafı [Prabu S.,Karunamoorthy L.,Kathiresan S.,Mohan B.(2006)]	36
Şekil 7.4 %10 SiC takviyeli 15 dakika 600 rpm de karıştırılarak üretilmiş metal matriks kompozit fotoğrafı [Prabu S.,Karunamoorthy L.,Kathiresan S.,Mohan B.(2006)]	36
Şekil 7.5 %10 SiC takviyeli 15 dakika 500 rpm de karıştırılarak üretilmiş metal matriks kompozit fotoğrafı [Prabu S.,Karunamoorthy L.,Kathiresan S.,Mohan B.(2006)]	37
Şekil 8.1 Kullanılan kalıbın şematik şekli	41
Şekil 8.2 % 5 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (50X) büyütme	43
Şekil 8.3 % 5 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (100X) büyütme	44
Şekil 8.4 % 5 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (200X) büyütme	44
Şekil 8.5 % 10 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (50X) büyütme	45
Şekil 8.6 % 10 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (100X) büyütme	45
Şekil 8.7 % 10 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (200X) büyütme	46
Şekil 8.8 % 15 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (50X) büyütme	46
Şekil 8.9 % 15 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (100X) büyütme	47
Şekil 8.10 % 15 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (200X) büyütme	47
Şekil 8.11 % 20 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (50X) büyütme	48
Şekil 8.12 % 20 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (100X) büyütme	48
Şekil 8.13 % 20 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (200X) büyütme	49
Şekil 8.14 Ortalama toz boyutları	50
Şekil 8.15 Ortalama toz boyutları	51
Şekil 8.16 Fırın Rejimi	52
Şekil 8.17 400 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune merkez bölgesi (50X) büyütme	53
Şekil 8.18 400 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune kenar bölgesi (50X) büyütme	54

Şekil 8.19 400 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune kenar bölgesi (100X) büyütme	54
Şekil 8.20 400 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune boyuna kesit kenar bölgesi (500X) büyütme	55
Şekil 8.21 400 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune merkez bölgesi (500X) büyütme	56
Şekil 8.22 500 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 750 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune merkez bölgesi (50X) büyütme	58
Şekil 8.23 500 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 750 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune kenar bölgesi (50X) büyütme	58
Şekil 8.24 500 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 750 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK silisyum karbür partikülü (500X) büyütme	59
Şekil 8.25 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmemiş SiC takviyeli AMK numune merkez bölgesi (50X) büyütme	61
Şekil 8.26 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmemiş SiC takviyeli AMK numune merkez bölgesi (200X) büyütme	61
Şekil 8.27 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmemiş SiC takviyeli AMK numune merkez bölgesi (500X) büyütme	62
Şekil 8.28 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmemiş SiC takviyeli AMK numune kenar bölgesi (100X) büyütme	62
Şekil 8.29 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmemiş SiC takviyeli AMK numune kenar bölgesi (200X) büyütme	63
Şekil 8.30 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune boyuna kesit merkez bölgesi (50X) büyütme	65
Şekil 8.31 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune boyuna kesit merkez bölgesi (50X) büyütme	65
Şekil 8.32 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune boyuna kesit merkez bölgesi (50X) büyütme	66
Şekil 8.33 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune boyuna kesit kenar bölgesi (50X) büyütme	67
Şekil 8.34 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune boyuna kesit kenar bölgesi (50X) büyütme	67

Şekil 8.35 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune boyuna kesit kenar bölgesi (50X) büyütme	68
Şekil 8.36 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune boyuna kesit kenar bölgesi (50X) büyütme	68
Şekil 8.37 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune boyuna kesit kenar bölgesi (200X) büyütme	69
Şekil 8.38 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune boyuna kesit merkez bölgesi (50X) büyütme	69
Şekil 8.39 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune boyuna kesit merkez – kenar arası (50X) büyütme	70
Şekil 8.40 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune boyuna kesit merkez bölgesi (50X) büyütme	70
Şekil 8.41 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune boyuna kesit merkez – kenar arası (50X) büyütme	71
Şekil 8.42 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit merkez bölgesi (50X) büyütme	71
Şekil 8.43 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit kenar bölgesi (50X) büyütme	72
Şekil 8.44 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit merkez bölgesi (50X) büyütme	73
Şekil 8.45 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit merkez bölgesi (50X) büyütme	73
Şekil 8.46 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit merkez bölgesi (50X) büyütme	74
Şekil 8.47 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit merkez bölgesi (50X) büyütme	74
Şekil 8.48 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit merkez bölgesi (50X) büyütme	75
Şekil 8.49 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit kenar bölgesi (50X) büyütme	75
Şekil 8.50 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune boyuna kesit merkez bölgesi (50X) büyütme	77

Şekil 8.51	250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune boyuna kesit kenar bölgesi (50X) büyütme	78
Şekil 8.52	250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune boyuna kesit kenar bölgesi (50X) büyütme	78
Şekil 8.53	250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit kenar bölgesi (50X) büyütme	79
Şekil 8.54	250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit kenar bölgesi (50X) büyütme	80
Şekil 8.55	250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit merkez bölgesi (50X) büyütme	80
Şekil 8.56	250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit merkez bölgesi (50X) büyütme	81
Şekil 8.57	250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit merkez bölgesi (50X) büyütme	81
Şekil 8.58	250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit kenar bölgesi (50X) büyütme	82
Şekil 8.59	250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit kenar bölgesi (50X) büyütme	82
Şekil 8.60	250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit kenar bölgesi (50X) büyütme	83
Şekil 8.61	250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit merkez bölgesi (50X) büyütme	83
Şekil 8.62	250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit merkez bölgesi (50X) büyütme	84
Şekil 8.63	250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit kenar bölgesi (50X) büyütme	84
Şekil 8.64	250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit kenar bölgesi (50X) büyütme	85
Şekil 8.65	250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit merkez bölgesi (50X) büyütme	85

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 4.1 Alüminyumun önemli fiziksel özellikleri	10
Çizelge 4.2 Alüminyum alaşımlarının gösterilmesi	11
Çizelge 4.3 6063 Alüminyum alaşımlarının kimyasal bileşimi	12
Çizelge 4.4 6063 Alüminyum alaşımlarının kullanım yerine bağlı olarak geliştirilen üç adet versiyonunun kimyasal bileşimi	13
Çizelge 8.1 Alüminyum matriks kompozitin takviye miktarına göre değişen yoğunluk ve ağırlık tablosu.....	40
Çizelge 8.2 Alüminyum matriks kompozitin ağırlıkça dağılımı.....	40
Çizelge 8.3 Numunelerin gerçek yoğunluk değerleri	42
Çizelge 8.4 Numunelerin eğme dayanım değerleri	43
Çizelge 8.5 6063 Alüminyum alaşımı kimyasal analiz sonuçları	50
Çizelge 8.6 Yapılan dökümün parametreleri	53
Çizelge 8.7 Yapılan dökümün parametreleri	57
Çizelge 8.8 Yapılan dökümün parametreleri	60
Çizelge 8.9 Yapılan dökümün parametreleri	64
Çizelge 8.10 Yapılan dökümün parametreleri	76
Çizelge 8.11 Döküm sırasına göre sertlik dağılımı.....	86

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması sırasında bana her konuda yardımcı olan değerli hocam, Doç. Dr. Ahmet Karaaslan'a, uygulama çalışmalarında benimle birlikte çalışan araştırma görevlisi Murat Luş'a, teknisyen Şevki Şahin'e ve aileme teşekkürlerimle.

en çok kullanılan tiplerinden biri metal matrisli olanıdır. Matris malzemesi olarak hafif metaller ve alaşımları tercih edilmektedir. Yüksek dayanım / yoğunluk oranı ile tercih sebebi olan alüminyum, özellikle en önemli matris malzemesidir. Takviye malzemeleri ise matris malzemesi ile gerebileceği reaksiyonlar ve yük taşıyıcılığı, dayanıklılığı göz önüne alınarak seçilir. Silisyum karbür bu noktada yüksek mukavemet dayanımı ve elastiklik modülü ile ön plana çıkan yapılardan biridir. Üretim yöntemleri çok çeşitli olsa da temelde katı yada sıvı hal üretimleri olarak ikiye ayrılır. Bu çalışmada üretim yöntemlerinden toz metalurjisi ve döküm yöntemi üzerine deneyler yapılmış, elde edilen numunelerden alınan yapı fotoğrafları ile olumlu ve olumsuz sonuçlar tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Metal matris kompozitler, alüminyum matris, silisyum karbür takviye, toz metalurjisi, döküm yöntemi.

ÖZET

Kompozit malzemeler geliştirilmeye başladıkları günden itibaren geleneksel malzemelerin yerini almaya başlamışlardır. Özellikle uzay, uçak ve otomotiv sanayi gibi sektörlerde kullanımları oldukça artmaktadır. Genel olarak en çok kullanılan tiplerinden biri metal matriksli olanlarıdır. Matriks malzemesi olarak hafif metaller ve alaşımları tercih edilmektedir. Yüksek dayanım / yoğunluk oranı ile tercih sebebi olan alüminyum, beklide en önemli matriks malzemesidir. Takviye malzemeleri ise matriks malzemesi ile girebileceği reaksiyonlar ve yük taşıyıcılığı, dayanıklılığı göz önüne alınarak seçilir. Silisyum karbür bu noktada yüksek sıcaklık dayanımı ve elastiklik modülü ile ön plana çıkan yapılardan biridir. Üretim yöntemleri çok çeşitli olsa da temelde katı yada sıvı hal üretimleri olarak ikiye ayrılır. Bu çalışmada üretim yöntemlerinden toz metalurjisi ve döküm yöntemi üzerine deneyler yapılmış, elde edilen numunelerden alınan yapı fotoğrafları ile olumlu ve olumsuz sonuçlar tartışılmıştır.

Keywords: Metal matrix composites, aluminum matrix, SiC reinforcement, powder metallurgy, casting method.

Anahtar kelimeler: Metal matriks kompozitler, alüminyum matriks, silisyum karbür takviye, toz metalurjisi, döküm yöntemi.

ABSTRACT

Composite materials have started taking traditional materials places since the day they have been producing. They have been developing in aerospace, aircraft and automotive endustries. Generally, metal matrix composites are mostly used ones. Light metals and their alloys are preferred as matrix materials. Probably aluminium is the most important matrix material because of it's high strength / density ratio. Reinforcement materials are chosen by upon their load bearing, strength and reactivity between them and matrix materials. Considering these details, with it's high thermal strength and elasticity modulus, SiC is preferable. These composites have many manufacturing ways yet we may divide into two basic groups: liquid state and solid state. In this project; powder metallurgy and casting routes are examined and the micro structure photos are taken from the specimens which are produced with these tecniques. Positive and negative situations are discussed in conclusion.

Keywords: Metal matrix composites, aluminium matrix, SiC reinforcement, powder metallurgy, casting route.

1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler endüstrideki kullanım alanları ve sağladıkları faydalar ile günümüz gelişen teknolojisinde oldukça önemli yer tutmaya başlamışlardır. Genel olarak kompozit malzemeler, matriksini oluşturabilecek veya takviye olabilecek malzemeler, bağlanma koşulları ve kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan yöntemler birçok araştırmacının ilgisini çekmiş ve bu konular üzerinde yoğunlaşmasına neden olmuştur.

Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin kullanımda olan geleneksel malzemelere oranla daha iyi olması sebebiyle araştırmalar son senelerde oldukça hız kazanmıştır. Birçok araştırmacı farklı teknikler denemiş ve en ucuza, en iyi mekanik özelliklere ulaşabilmek için çaba sarf etmeye başlamıştır. Ancak kompozit malzemelerle ilgili olarak pahalı ve zor üretim teknikleri araştırmaları nispeten zorlaştırmakta ve yavaşlatmaktadır.

Bu çalışmada iki farklı yöntemle kompozit malzeme üretilmeye çalışılmıştır. Özellikle otomotiv havacılık endüstrisinde kullanılabilecek metal matriks kompozit üretiminin üzerinde durulmuştur. Matriks malzemesi ve takviye malzemesi olarak bir çok farklı alaşım saf metal kullanılabilmektedir. Mekanik özellikler değerlendirilmeye alındığında mümkün olan en uygun çifti seçebilmek oldukça önemlidir. Üretim yöntemi, matriks malzemesi, takviye malzemesi ve ikisinin arasındaki bağlanmayı zorlaştırabilecek koşullar değerlendirilerek seçilmelidir. Bütün bu parametreler göz önüne alınarak yapılarak değerlendirmelerde, üretim için toz metalurjisi ve döküm tekniği bu çalışmada benimsenen yöntemler olmuşlardır. Matriks malzemesi olarak, alüminyum iyi ancak daha da iyileştirilebilecek mekanik özellikleri ile takviye malzemesi olarak da silisyum karbür alüminyuma katabilecekleri ile ön plana çıkmış ve araştırmalar bu yönde gerçekleştirilmiştir.

Üretimlerin yapılabilmesi, üretim sırasında yaşanabilecek sorunlar ve çözümleri, yapıldıktan sonra alınacak yapı fotoğrafları ve yapılacak testler ile beklenen değerlere ulaşıp ulaşılmadığı, bu çalışmanın hedefleri arasındadır.

2. KOMPOZİTLER

Kompozit malzemeler nisbeten yeni bir alan olup II. Dünya savaşı esnasında mevcut konvansiyonel malzemeler tek başlarına teknoloji karşısında belli ihtiyaçlara cevap veremez hale gelmesi ile, başlamış ve o zamandan beri de bu malzemelerin üretimi ve mekanik özellikleri üzerine araştırma ve geliştirme faaliyetleri genişleyerek devam etmektedir. Bu gelişmeler için tahrik edici güç malzemelerde yüksek dayanım / yoğunluk ve yüksek elastiklik modülü / yoğunluk oranı elde etmek olmuştur.

Kompozit malzeme, iki yada daha fazla sayıdaki, aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla, makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzeme olarak adlandırılırlar.

Kompozit malzemeler genellikle kendi başlarına elde edilemeyen, bileşenlerinin en iyi özelliklerinin bir malzemede toplanması önemli avantaj meydana getirir. Kompozit malzeme üretilmesi ile aşağıdaki bazı özellikler sağlanabilmektedir.

- Yüksek dayanım
- Yüksek rijitlik
- Yüksek yorulma dayanımı
- Mükemmel aşınma direnci
- Yüksek sıcaklık kapasitesi
- İyi korozyon direnci
- İyi termal ve ısı iletkenliği
- Düşük ağırlık

Yukarıda belirtilen bu özellikler için gerekli şartlar, uygun matriks ve takviye eleman çifti, üretim tekniği, optimizasyonu, bileşenlerin mukavemet özellikleri ve diğer faktörler göz önüne alınarak üretim yapılırsa istenilen özelliği elde etmek mümkündür. Uygun matriks/takviye elemanı seçiminin, sistemin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine etkisi büyüktür. Çünkü kompozit içerisinde matriksler tarafından yükün takviye elemanına iletilmesinde matriks ve takviye elemanı arasındaki ara yüzey bağının kuvvetli olması gerekmektedir. Ara yüzey bağının da kuvvetli olması ise bileşenlerin

uyumuna ve matriksin ıslanabilirlik özelliğine bağlıdır. Bunun yanında üretim tekniği seçimi dışında takviye elemanlarının matriks içerisinde homojen dağılımının da matriks alaşımı ve takviye elemanı çiftlerinin uygun seçimine bağlıdır.

Kompozit malzemelerin tüm avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajları da mevcut olup bunlar;

- Üretimin güçlüğü,
- Pahalı olmaları,
- İşlenmelerinin güç olması yanında maliyetinin yüksek oluşu ve gerekli yüzey kalitesinin elde edilemeyişi,
- Geri dönüşümünün olamayışı,

Mühendislikte yaygın olarak kullanılmakta olan çok farklı malzemeler bulunmakta olup bunlar; genelde metaller, plastikler, seramikler olmak üzere 3 gruba ayrılırlar. Orta ve yüksek yoğunluğa sahip ancak tokluk ve dayanım özellik çiftinin en uygun grubu olan metaller, makine ve metalurji mühendisliği alanında en fazla tercih edilenidir. Metaller kolaylıkla dökülerek veya plastik deformasyon oluşturarak şekillendirilebilir ve karmaşık montajlarda kaynak, vida ile birleştirilmeye elverişlidir.

Plastikler, bunların yoğunluğu düşük ve karmaşık şekilli parçaları üretmek çok kolay olup birbirleriyle ve diğer malzemelerle birleştirilebilir ve talaş kaldırma işlemleri kolaydır. Fakat termal dayanımları düşük ve bir çoğunun çevresel etkilere karşı kullanımı tehlikeli olup düşük mekanik özelliklere sahiptirler.

Seramikler ise düşük yoğunluklu çok dayanıklı ve sert olmalarına rağmen aşırı derecede gevrekler. Bunlar genellikle termal ve kimyasal etkilere karşı dirençlidirler. Ancak yüksek ergime sıcaklık dereceleri ve sertlikleri işlenmesini zorlaştırır ve yalıtıkdırlar. Kırılgan oluşları bunları potansiyel olarak güvensiz kılar. İşte kompozit malzemeler bu 3 grup dışarısında kalarak 4. grup malzemeleri teşkil ederler.

Kompozitler takviye elemanına göre sınıflandırılacak olursa;

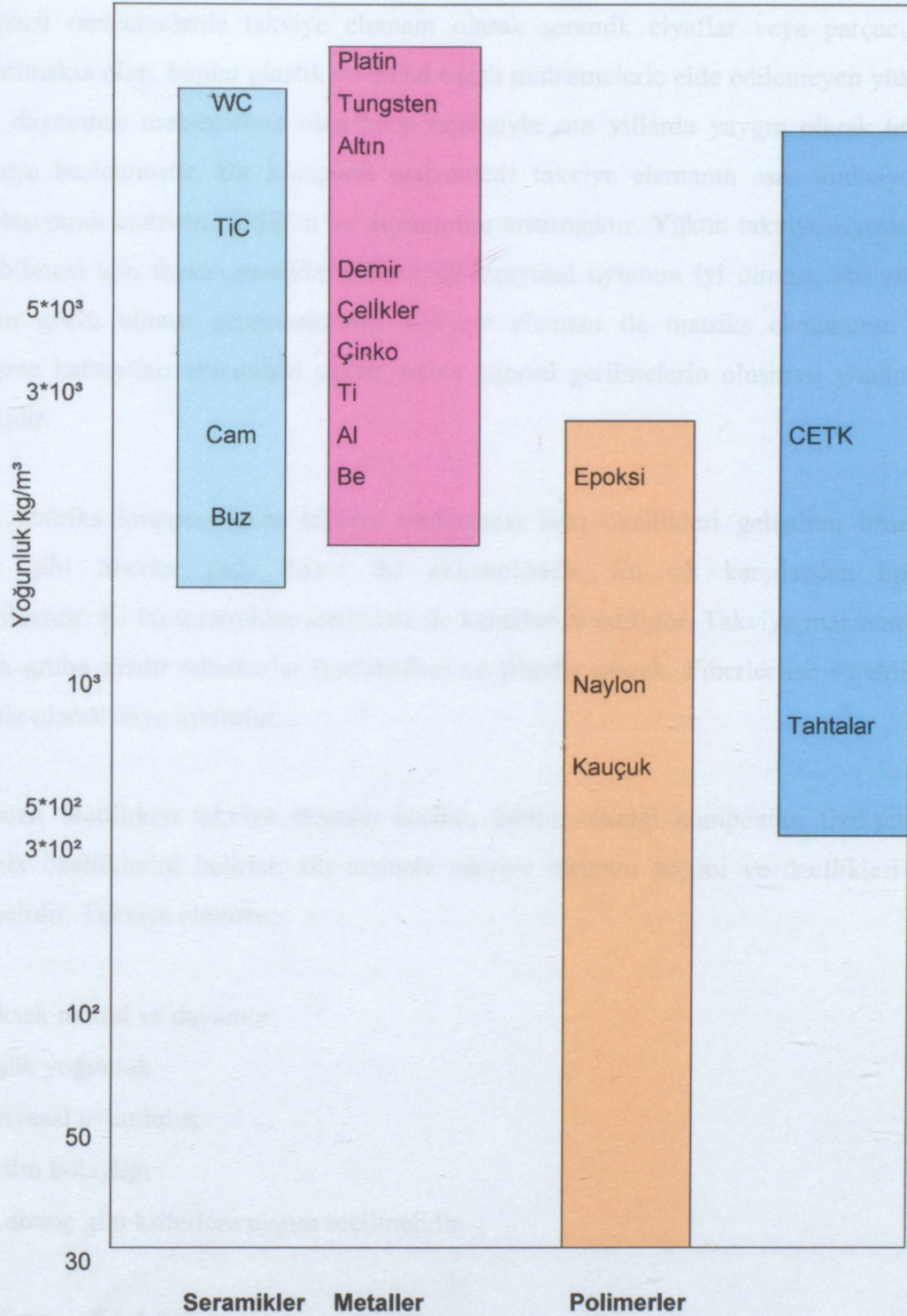
- Elyaf takviyeli kompozit malzemeler,
- Parçacık takviyeli kompozit malzemeler
- Tabakalı kompozit malzemeler

Bu üç tip takviye elemanlı kompozit yine plastik, metal veya seramik matriks içerisinde olabilir. İkinci faz yada takviye elemanı her zaman matriksden daha serttir. Bu arada elyaf takviyeli kompozitleride;

- Sürekli elyaf takviyeli
- Kesikli elyaf takviyeli
- Rastgele düzlemsel olarak yönlendirilmiş kompozitler olarak alt sınıflara ayırabiliriz.

Kompozitler matriks malzemesine göre sınıflandırıldığında; metal matriks kompozitler, plastik ve seramik matriks kompozitler ile karşılaşırız ki bu malzemelerin yoğunluk dağılımı şekil 2.1' de görülmektedir.

3. KOMPZİTLERDE TAKVİYE ELEMANLARI VE ÖZELLİKLERİ



Şekil 2.1 Farklı gruptaki malzemelerin yoğunlukları

3. KOMPOZİTLERDE TAKVİYE ELEMANLARI VE ÖZELLİKLERİ

Kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak seramik elyaflar veya parçacıklar kullanılmakta olup, bunlar plastik ve metal esaslı malzemelerle elde edilemeyen yüksek özgül dayanımlı malzemelere olan talep nedeniyle son yıllarda yaygın olarak tercih edilmeye başlanmıştır. Bir kompozit malzemedeki takviye elemanın esas fonksiyonu; yükü taşıyarak matrisin rijitliğini ve dayanımını arttırmaktır. Yükün takviye elemanına iletilebilmesi için fazlar arasında fiziksel ve kimyasal uyumun iyi olması, ara yüzey bağının güçlü olması gerekmektedir. Takviye elemanı ile matriks elemanının ısıl genleşme katsayıları arasındaki uyum, kalıcı yapısal gerilmelerin oluşması yönünden önemlidir.

Metal matriks kompozitlerde takviye malzemesi bazı özellikleri geliştiren örneğin sertlik gibi fiberler yada ikinci faz eklemeleridir. En sık karşılaşılan tipleri seramiklerdir. Ki bu seramikler sertlikleri ile karakterize edilirler. Takviye malzemeleri iki ana gruba ayrılır whiskerler (partiküller) ve fiberler olarak. Fiberler ise sürekli ve süreksiz olarak ikiye ayrılırlar.

Kompozit üretilirken takviye elemanı seçimi, üretim tekniği kompozitin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirler. Bu nedenle takviye elemanı seçimi ve özellikleri iyi bilinmelidir. Takviye elemanı;

- Yüksek modül ve dayanım
- Düşük yoğunluk
- Kimyasal uyumluluk
- Üretim kolaylığı
- Isıl direnç gibi kriterlere uygun seçilmelidir.

3.1. Silisyum Karbür

1960'lı yıllarda plastik ve metal matriksli kompozitler için takviye fazı olarak yüksek özgül dayanım ve elastiklik modülüne sahip malzemeler üzerine oldukça yoğun çalışmalar yapılmıştır. Bunların arasında boron, silisyum karbür gibi malzemeler yer

alır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda 1966 yılında SiC filamentlerinin ortalama çekme dayanımı 2756 – 3445 MPa arasında değiştirilebilmiştir. 1966 yılından sonra boron takviye elemanının 480 °C den daha büyük sıcaklıklarda alüminyum ile reaksiyona girerek mekanik özellikleri azaltması gibi dezavantajları göz önüne alınarak çalışmalar SiC takviye malzemesi üzerine yoğunlaştırılmıştır.

Silisyum karbürün yüzey yapısı oldukça düzgündür. En önemli avantajları, maruz kaldıkları yüksek sıcaklık şartları altında bunların özellikleri ile ilgilidir. Çünkü karbon ana malzemesi kimyasal soy gaz olduğu için SiC ile reaksiyona girmez. Dolayısı ile takviye elemanı çekme dayanımı özellikleri yüksek sıcaklık şartları altında da devam eder.

Silisyum karbür parçacık takviyeli kompozitlerde ikinci bir operasyon ekstrüzyon, haddeleme, kalıpta dövme ve presleme gibi şekil verme tekniklerinin parçacıklarda mekanik bir hasar oluşmaksızın uygulanabilmesi önemli bir avantajını teşkil eder. Toz metalurji tekniği ile metal matriksler içine takviyelendirme yapırlar. Ancak kompleks şekilli parçalar sıcak izostatik presleme tekniği ile üretimi daha ekonomik olarak gerçekleşmektedir çünkü preslenen parçalarda bitirme operasyonu için daha az zaman sarf edilir. SiC ile güçlendirilen alüminyum kompozitlerin işlenebilirliği diğer takviye elemanlı kompozitlere göre daha iyidir. Bu parçacıkların elastiklik modülleri ve yüksek sıcaklık özellikleri çok iyi fakat fakat pahalı olup metaller, oksitler, karbürler ve organik bileşiklerin de parçacıkları üretilmektedir.

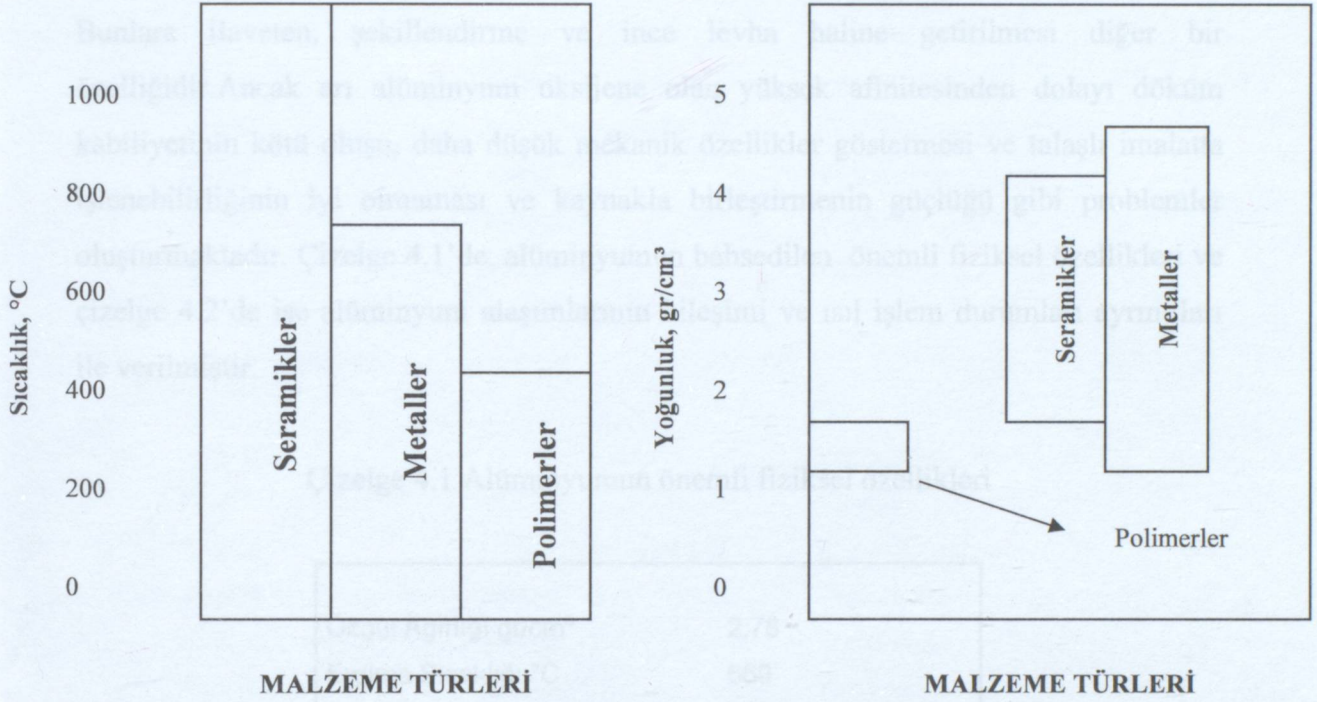
4. KOMPOZİTLERDE MATRİKS MALZEMELERİ VE ÖZELLİKLERİ

Matriks malzemeleri tartışıldığında; ilk dikkat edilecek husus takviyenin sürekli yada süreksiz olmasıdır. Sürekli takviye de yükün tamamı fiberler tarafından taşınır. Bundan dolayıdır ki, kompozitin sertliği birincil olarak takviye malzemesine bağımlı olacaktır. Matriks malzemesinin ilk görevi, tüm yükün takviye malzemesi tarafından taşınmasını önleyerek fiberde oluşabilecek hataları (çatlakları) da kapatabilmektir. Bundan dolayı sürekli fiber kullanıldığında yüksek dayanım elde edilir ancak sertlikten de taviz verilmiş olunur. Bu durumda görülmektedir ki sürekli fiberler kullanıldığında daha düşük sertlik, daha yüksek şekil alma kabiliyeti, daha yüksek dayanımlı matriks malzemelerinin tercih edilmesi gerekmektedir. Süreksiz fiberler içinse, matriks malzemesinin kompozit sertliğini belirlediği söylenebilir. Bunlara ek olarak matriks malzemesi seçiminde düşünülmesi gereken bir başka etken ise potansiyel takviye ve matriks malzemesinin üretiminde reaksiyona girebilmesidir. Ergime noktaları arasındaki büyük farklılıklar matriks malzemesinin elastik davranmasına ve matriks malzemesinin sürünme göstermesine sebep olur.

Saf metaller yüksek elektrik ve ısı iletkenliğe sahip oldukları gibi yumuşak ve dayanıksız olurlar. Düşük sertlik, plastik deformasyon kolaylığı ve yüksek şekil alma kabiliyeti ile serbest elektronların hareketiyle oluşan ısı ve elektriksel iletkenlik, saf metallerin yüksek dayanım, ısı ve elektriksel iletkenlik isteyen uygulamalarda seramik takviye ile matriks olarak kullanılmasını sağlar. Son yıllarda alaşım bileşimlerinde titanyum alüminadlarda olduğu gibi intermetalik bileşimine yakın değişimler olmuştur. Bu intermetalik bileşimler artan sıcaklıklarda yüksek ergime noktası ve yüksek sertlik gibi özelliklerinin yanı sıra kötü şekil alma kabiliyetine sahiptirler. Matriks alaşımları aynı zamanda ergime sıcaklığına göre de sınıflandırılır.

Metal matriks kompozitler diğer kompozitlerden birçok açıdan farklıdır. Bu farkların bazıları; plastik yada seramik matrikslerin tersine saf yada alaşımlanmış metalden oluşmaları, seramik matrikslere göre daha yüksek şekillendirilebilme ve dayanıma sahip olmaları, plastik matriks kompozitlere göre daha yüksek sıcaklık uygulamalarında verimli olmalarıdır.

Hafif metaller, kompozitler için matriks malzemesi olarak çok cazip olmaktadır. Ancak metal matriks kompozitlerin üretimi oldukça zordur. Bunlar her elyafla iyi ara yüzey bağı oluşturmazlar. Genellikle Al, Ti, Mg, Ni, Cu ve Zn matriks malzemesi olarak kullanılır. Şekil 4.1 de matriks malzemesi türlerine göre sıcaklık ve yoğunluk değerleri görülmektedir.



Şekil 4.1 Matrikslerin sıcaklık ve yoğunluk özellikleri

4.1. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları

Alüminyum ve alaşımlarının en etkin kullanılma sebepleri;

- Dayanım / Özgül ağırlık oranının yüksek olması
- Elektrik iletkenliği / Özgül ağırlığının yüksek olması
- Atmosfere ve diğer ortamlara karşı yüksek korozyon direncine sahip bulunmasından kaynaklanmaktadır.

Diğer olası matriks malzemelerine karşın 660 °C olan ergime noktası ile alüminyum, alüminyum matriks kompozitlerin toz metalurjisi gibi katı hal uygulamalarıyla üretilmesini gerektirir. Dövme ve döküm alüminyum alaşımlarının her ikisi de büyük

alaşımlamalara sahiptir. Dövme alaşımları standartlarda dört hane ile ifade edilirken döküm alaşımları üç hane ile ifade edilirler. Daha sonraki basamaklarda mekaniksel özelliklere, ısıl işlenebilir yada işlenemez olmalarına bakılarak sınıflandırılırlar. 2XXX, 6XXX ve 7XXX serileri genellikle ısıl işlenebilirdir ve genellikle lityum katkısı içerirler.

Bunlara ilaveten, şekillendirme ve ince levha haline getirilmesi diğer bir özelliğidir. Ancak arı alüminyum oksijene olan yüksek afinitesinden dolayı döküm kabiliyetinin kötü oluşu, daha düşük mekanik özellikler göstermesi ve talaşlı imalatla işlenebilirliğinin iyi olmaması ve kaynakla birleştirmenin güçlüğü gibi problemler oluşturmaktadır. Çizelge 4.1’de, alüminyumun bahsedilen önemli fiziksel özellikleri ve çizelge 4.2’de ise alüminyum alaşımlarının bileşimi ve ısıl işlem durumları ayrıntıları ile verilmiştir.

Çizelge 4.1 Alüminyumun önemli fiziksel özellikleri

Özgül Ağırlığı gr/cm ³	2,78
Ergime Sıcaklığı °C	660
Ergime Isısı KJ/kg	-390
Elastiklik Modülü GPa	66
Isı iletim katsayısı W/mK	230
Elektrik iletim katsayısı m/Ωmm ²	40

Çizelge 4.2 Alüminyum alaşımlarının gösterilmesi

Alaşım Türü	Bileşimi	Isıl İşlem Durumu
İşlem Alaşımları		
1XXX	Arı Al (%99)	Yaşlanmaz
2XXX	Al-Cu	Yaşlanır
3XXX	Al-Mg	Yaşlanmaz
4XXX	Al-Si-Cu ve Al-Mg-Si	Mg eklenirse yaşlanır
5XXX	Al-Mg	Yaşlanmaz
6XXX	Al-Mg-Si	Yaşlanır
7XXX	Al-Mg-Zn	Yaşlanır
Döküm Alaşımları		
1XX.X	Arı Alüminyum	Yaşlanmaz
2XX.X	Al-Cu	Yaşlanır
3XX.X	Al-Si-Cu ve Al-Mg-Si	Bazıları Yaşlanır
4XX.X	Al-Si	Yaşlanmaz
5XX.X	Al-Mg	Yaşlanmaz
7XX.X	Al-Mg-Zn	Yaşlanır
8XX.X	Al-Sn-Li	Yaşlanır

4.2. Alüminyum 6063 Alaşımı

Endüstrisinde (profil, boru, çubuk, lama üretimi) en çok kullanılan malzemelerden birisi olan AA 6063 alaşımı, ısıl işlem ile sertleştirilebilen alüminyum alaşımları grubundandır. Biçimlenebilme kabiliyeti yüksek olan, ısıl işlem ile mekanik değerleri önemli ölçüde arttırılabilen bu alaşım, genel olarak bir Al-Mg-Si alaşımıdır.

TS 412 numaralı Türk Standardında AlMgSi0 kısa gösterilişi ile verilen bu alaşımın bir ikiz kardeşi de 6060 alaşımıdır. AA 6063 alaşımının, ekstrüzyon yöntemiyle üretilen profillerinin en yaygın kullanıldığı sektörler, inşaat/mimari (cephe kaplama, pencereler, kapılar, dekorasyon, mobilya), otomotiv, elektrik/elektronik ve makina imalat

sektörleridir. AA 6063 alüminyum alaşımının eloksal (anodik oksidasyon) kaplanabilme özelliği de son derece iyidir.

Çizelge 4.3 6063 Alüminyum alaşımlarının kimyasal bileşimi

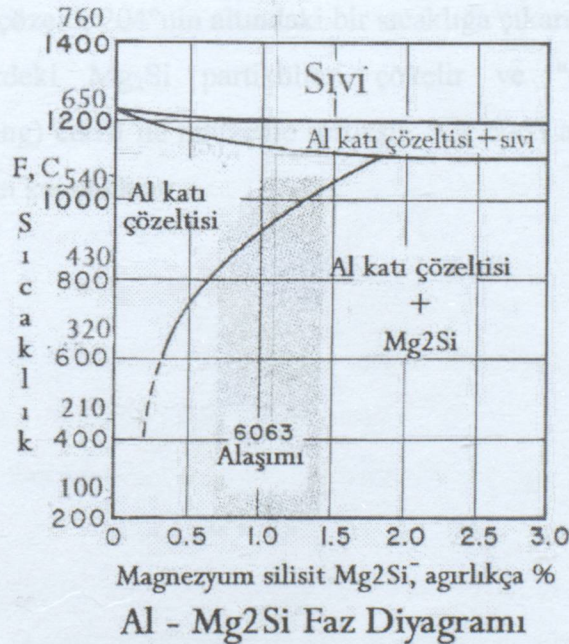
Si	0,2 - 0,6 %	Cr	0,1 % Max
Mg	0,45 - 0,9 %	Cu	0,1 % Max
Fe	0,35 % Max	Mn	0,1 % Max
Ti	0,1 % Max		
Diğer	Herbiri 0,05 %, toplam 0,15 % Max		

Kimyasal bileşimi çizelge 4.3'de verilen alaşım elemanlarının geniş sınırlara sahip olması nedeniyle, üreticiler, daha yüksek dayanım, daha iyi yüzey kalitesi ve daha üstün ekstrüze edilebilme açısından, alaşımın kullanım yerine uygun olarak daha dar sınırlı kimyasal bileşimler kullanırlar.

Çizelge 4.4 6063 Alüminyum alaşımlarının kullanım yerine bağlı olarak geliştirilen üç adet versiyonunun kimyasal bileşimi

Standard	Notasyon	Si	Mg	Fe	Cr	Zn
EN 537-3	EN AW	0,30-	0,35-	0,10-	0,05	0,15
	6060	0,60	0,60	0,30	max.	max
EN 573-3	EN AW	0,20-	0,45-	0,35	0,10	0,10
	6063	0,60	0,90	max.	max	max
AA		0,20-	0,45-	0,35	0,10	0,10
	AA 6063	0,60	0,90	max.	max	max
DIN 1725		0,30-	0,35-	0,10-	0,05	0,10
	AlMgSi0	0,60	0,60	0,30	max	max

Çizelge 4.4'den görüldüğü gibi, Mg ve Si esas alaşım elementleri olup, Fe kontrolü gereken bir empürütedir. Cr, Zn gibi diğer elementler daha minör empürütelerdir. Alüminyum içindeki Mg ve Si, Mg_2Si bileşiğini oluştururlar. Mg_2Si bileşiği, ağırlıkça %63,4 magnezyum, %36,5 silisyum'dan oluşur.



Şekil 4.2 Alüminyum Mg_2Si faz diyagramı

Şekil 4.1 alüminyum Mg_2Si faz diyagramı göstermektedir. Şekildeki gölgeli alan, ekstrüzyon üreticileri için, AA 6063 alaşımını kapsaması dolayısı ile özel önem taşır.

Dikey çizgiler, AA 6063 içindeki Mg_2Si miktarının sınırlarını vermektedir. Solvüs eğrisi ise, Mg_2Si 'nin alüminyum katı eriyiği içindeki erirlik limitlerini belirlemektedir. Solvüs eğrisi, alüminyum AA 6063 alaşımının ergimiş halinden, ısıtma işlemi görmüş profil kondisyonuna kadar, beş kez geçer.

Mg_2Si bileşiğinin, 6063 alaşımı içindeki katı erirliği, $274^{\circ}C$ 'de %0,71 ile $552^{\circ}C$ 'de %1,42 arasında değişir. Nominal bileşime sahip 6063 alaşımında, % 1,0 Mg_2Si bulunur ki, $500^{\circ}C$ 'de alüminyum içinde erir. Bu orandan yüksek miktardaki Mg_2Si , fazla miktardaki magnezyuma bağlı olarak, solübilite özelliğini düşürür. Mg_2Si oluşturacak miktardan fazla miktardaki silisyum ve normal seviyedeki demir, Mg_2Si 'nin erirliğini az miktarda düşürürler.

Alaşım, solvüs eğrisinin altındaki bir sıcaklığa düştüğünde, Mg_2Si çökeler. Çökelen partiküllerin miktar ve büyüklüğü zaman ve sıcaklığa bağlıdır. Üst sıcaklık derecelerinden yavaş soğuma yapılır ise, büyük partiküller çökeler. Solvüs sıcaklığının yukarısından oda sıcaklığına ani soğutma, magnezyum ve silisyumun çözelti içinde kalmasına ve aşırı doymuş bir katı çözelti oluşmasına neden olur.

Bu aşırı doymuş katı çözelti, 204° 'nin altındaki bir sıcaklığa çıkarılıp belli süre tutulursa, mikroskopik ölçülerdeki Mg_2Si partikülleri çökeler ve "çökeltme sertleşmesi" (precipitation hardening) etkisi ile malzeme sertleşir. AA 6063 alaşımının endüstrideki önemi, bu özelliğinden kaynaklanır.

- Basınçlı ve usuz
- Kompleks şekillere parçaların mekanik işleme tabii tutulmadan elde edilmesi
- Çeşitli metal matris ve fiberler için uygun olması
- Çok sık ihtiyaç duyulan kompleks parçaların üretim kolaylığı

Sarı bir üretim yönteminde, seramik partiküller farklı teknikler kullanılarak sıvı metal matrisle sertleştirilir. Bu karışıma işleme ardından çekili veya kalıplı döküm işlemi gerçekleştirilir. Bu işlemler matrisle alaşımına bağlı olarak seramik takviye elemanının farklı bir şekilde seçilmesi gerekmektedir. Matrisle uygunluğun yanı sıra seramik olarak takviye elemanı seçimi, yüksek dayanıklılık, yüksek mukavemet, düşük yoğunluk, yüksek ergime sıcaklığı, iyi kararlılık ve maliyet vb. gibi

5. KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM METODLARI

Metal matriks kompozit üretimi birçok parametreye bağlıdır. Bunlardan bazıları ise, sertliğin korunumu ve geliştirilmesi, takviyenin oluşturacağı hasarların en aza indirilmesi, matriks malzemesi ve takviyesi arasındaki ıslatma ve bağlanmayı arttırmalıdır. Bu birincil endüstriyel üretim işlemleri ikiye ayrılır; katı ve sıvı faz uygulamaları. Sıvı faz uygulamaları infiltrasyon, sıkıştırılmalı dövme, basınçlı ve basınçsız infiltrasyon, sıvı metal karıştırması gibi yöntemler içerirken, katı faz uygulamaları ise toz metalurjisi, sıcak presleme ve sıcak izostatik presleme, vakumda presleme yöntemleri içerir. Kompozit üretimi için uygulamada istenilen teknik özelliklere göre takviye elemanı ve matriks seçiminin yanında üretim tekniği de oldukça önemlidir.

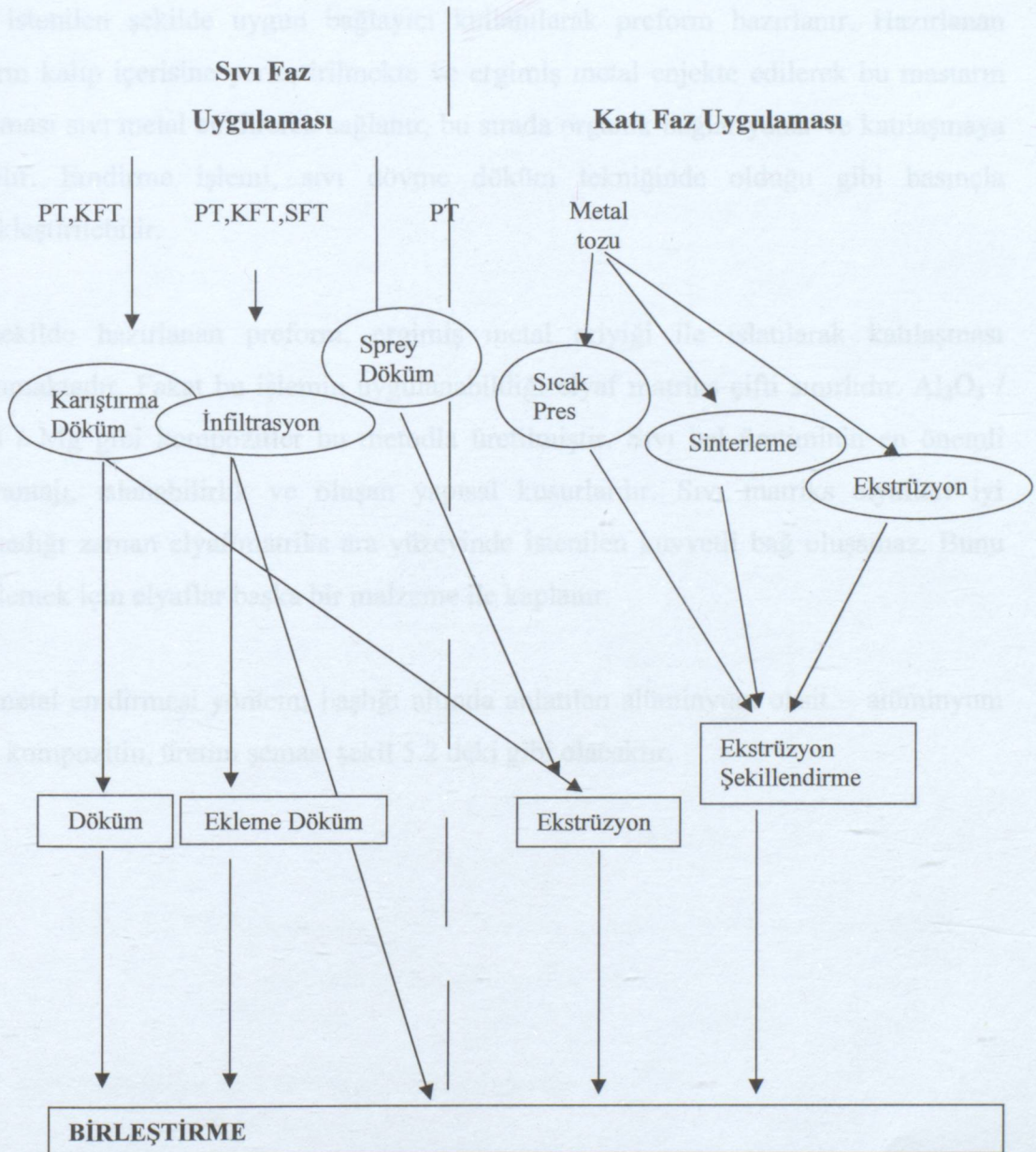
Metal matriks kompozitlerde kullanılan takviye elemanının tipi üretim yönteminin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Çünkü üretilen parçanın mekanik özellikleri ve maliyeti önemli derecede etkilenmektedir. Genelde takviye elemanının partikül şekilden visker ve fibere doğru gelişmesi mekanik özelliklerin gelişmesi ve maliyetin artması sonucunu doğurmaktadır. Partikül takviyeli kompozit malzemenin visker takviyeli kompozit malzemelerden, visker takviyeli kompozitlerinde sürekli fiber takviyeli kompozitlerden daha uygun ve ucuz şekilde üretildiği belirtilmektedir.

Döküm yöntemleri dışındaki üretim şekilleri pahalı ve kullanışsızdır. Ticari bakımdan, döküm şekli daha uygun görülmektedir. Döküm yönteminin genel avantajları,

- Basit, hızlı ve ucuz
- Kompleks şekilde parçaların mekanik işleme tabi tutulmadan elde edilmesi
- Çeşitli metal matriks ve fiberler için uygun olması
- Sık sık ihtiyaç duyulan kompleks parçaların üretim kolaylığı.

Sıvı faz üretim işlemlerinde; seramik parçacıklar farklı teknikler kullanılarak sıvı metal matriks içerisine ilave edilir. Bu karıştırma işlemi ardından şekilli veya kütük döküm işlemi gerçekleştirilir. Bu işlemde matriks alaşımına bağlı olarak seramik takviye elemanlarının dikkatli bir şekilde seçimini gerektirmektedir. Matrikse uygunluğunun yanı sıra seramik olarak takviye elemanı seçiminde; yüksek elastiklik modülü ve çekme mukavemeti, düşük yoğunluk, yüksek ergime sıcaklığı, ısıl kararlılık ve maliyet vb. gibi

faktörler dikkate alınmalıdır. Pek çok seramik parçacıklar sıvı metal alaşımları tarafından ıslatılamamaktadır. Bunu sonucu olarak da seramik parçacıkların ilavesi ve sıvı içerisinde tutulması için sıvıya ıslatmayı geliştirici ilave veya karıştırmadan önce seramik parçacıkların kaplanması gerekebilmektedir. Bu amaçla da genellikle kimyasal buhar birikimi (CVD), sol-gel ve elektriksiz kaplama gibi metodlar ile seramik tozların metaller veya metal oksitler ile kaplanması sağlanmaktadır.



Şekil 5.1 Metal matriks kompozit üretim yöntemleri

Şekil 5.1’de görüldüğü üzere kompozit malzeme üretimi sıvı faz katı faz uygulamaları olarak ikiye ayrılmaktadır ve birden fazla adımda üretim yapılmaktadır.

5.1. Sıvı Metal Emdirmesi

Sıvı metal emdirmesi tekniği, hem kısa elyaf, hemde sürekli elyafla takviyeli metal matriksli kompozitlerin üretilmesinde yaygın olarak kullanılan bir metoddur. Metodda önce istenilen şekilde uygun bağlayıcı kullanılarak preform hazırlanır. Hazırlanan preform kalıp içerisine yerleştirilmekte ve ergimiş metal enjekte edilerek bu mastarın ıslatılması sıvı metal emdirerek sağlanır, bu sırada organik bağlar yanar ve katılaşmaya bırakılır. Emdirme işlemi, sıvı dövme döküm tekniğinde olduğu gibi basınçla gerçekleştirilebilir.

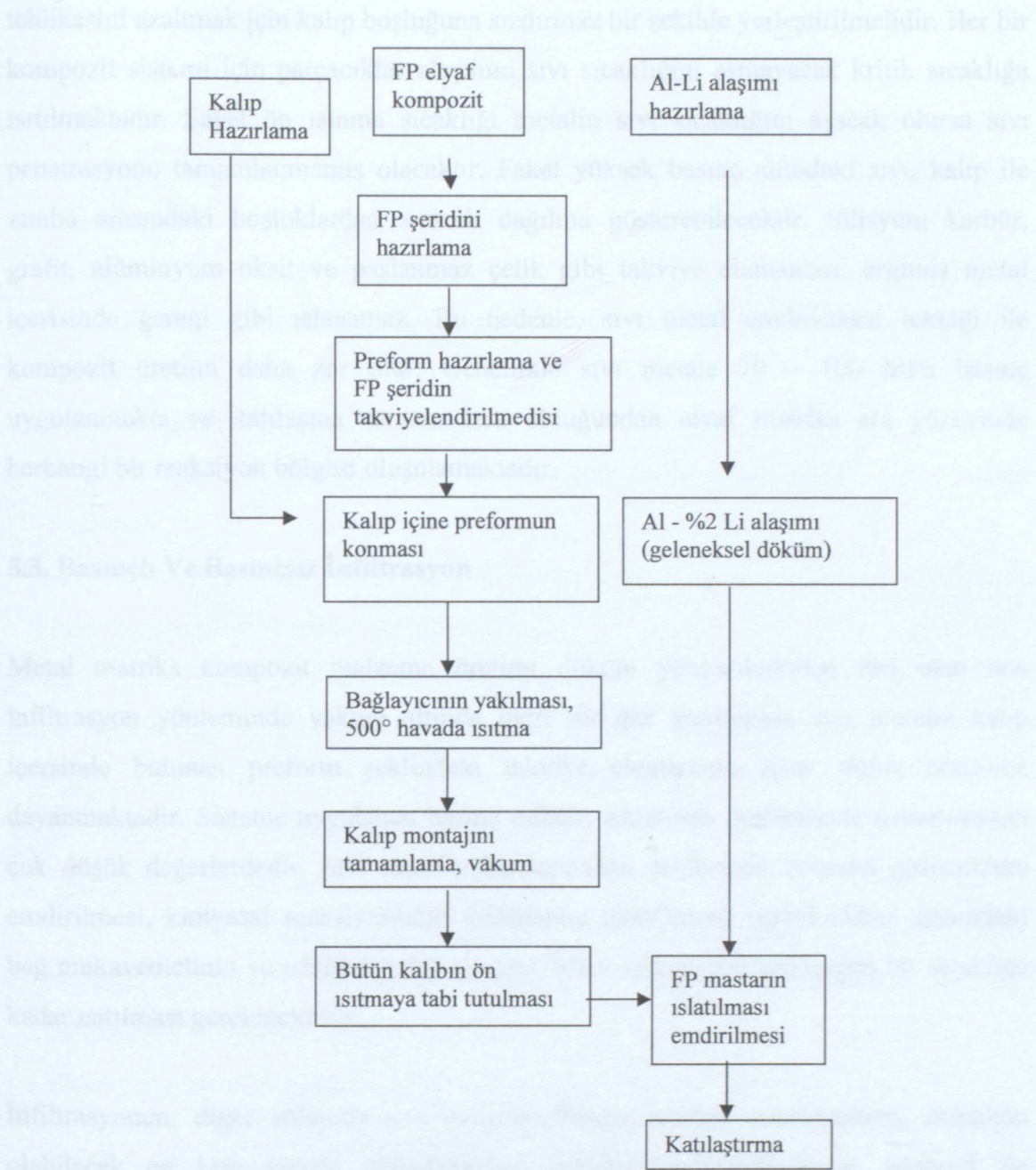
Bu şekilde hazırlanan preform, ergimiş metal eriyiği ile ıslatılarak katılaşması sağlanmaktadır. Fakat bu işlemin uygulanabildiği elyaf matriks çifti sınırlıdır. Al_2O_3 / Al, B / Mg gibi kompozitler bu metodla üretilmiştir. Sıvı hal üretiminin en önemli dezavantajı, ıslanabilirlik ve oluşan yapısal kusurlardır. Sıvı matriks elyafları iyi ıslatmadığı zaman elyaf/matriks ara yüzeyinde istenilen kuvvetli bağ oluşamaz. Bunu engellemek için elyaflar başka bir malzeme ile kaplanır.

Sıvı metal emdirmesi yöntemi başlığı altında anlatılan alüminyum oksit – alüminyum esaslı kompozitin, üretim şeması şekil 5.2 deki gibi olacaktır.

Şekil 5.2 FP Alüminyum oksit / Al esaslı kompozitin vakumda sıvı metal emdirilmesi için üretilen üretim şeması

5.1.1. Sıvı Metal Emdirme Yöntemi

Bu şekilde takviyeli oluşturan preform veya yatağı sıvı alüminyum hidrolik basınç altında emdirilmektedir. Sıvı alüminyum emdirme işlemi için kalıp preform ve yatağı vakumda tutulmaktadır. Takviye elemanı ve yatağı içerisindeki hava boşlukları veya kalıp ile takviye elemanı arasındaki boşluklara zamanla sıvı penetrasyonu



Şekil 5.2 FP Alüminyum oksit / Al esaslı kompozitin vakumda sıvı metal emdirilmesi tekniğinin akış şeması

5.2. Sıkıştırılmalı Veya Sıvı Dövme Döküm Tekniği

Bu yöntemde takviyeden oluşturulmuş preform veya yatağa sıvı alaşım hidrolik basınç altında emdirilmektedir. Sıvıyı soğutma etkisinden kaçınmak için kalıp, preform ve zımba ön ısıtmaya tabi tutulmaktadır. Takviye preform ve yatağı içerisindeki hava boşlukları veya kalıp ile takviye arasındaki boşluklara zamansız sıvı penetrasyonu

tehlikesini azaltmak için kalıp boşluğuna sızdırmaz bir şekilde yerleştirilmelidir. Her bir kompozit sistemi için parçacıklar alaşımın sıvı sıcaklığını aşmayacak kritik sıcaklığa ısıtılmaktadır. Şayet ön ısınma sıcaklığı metalin sıvı sıcaklığını aşacak olursa sıvı penetrasyonu tamamlanmamış olacaktır. Fakat yüksek basınç altındaki sıvı, kalıp ile zimba arasındaki boşluklardan sızarak dağılma gösterebilecektir. Silisyum karbür, grafit, alüminyum oksit ve paslanmaz çelik gibi takviye elemanları, ergimiş metal içerisinde gereği gibi ıslanamaz. Bu nedenle, sıvı metal emdirilmesi tekniği ile kompozit üretimi daha zor olur. Genellikle sıvı metale 70 – 100 MPa basınç uygulanmakta ve katılaşma zamanı kısa olduğundan elyaf matriks ara yüzeyinde herhangi bir reaksiyon bölgesi oluşmamaktadır.

5.3. Basıncılı Ve Basıncsız İnfiltrasyon

Metal matriks kompozit malzeme üretimi döküm yöntemlerinden biri olan sıvı infiltrasyon yönteminde vakum altında inert bir gaz yardımıyla sıvı metalin kalıp içerisinde bulunan preform şeklindeki takviye elemanının içine nüfuz etmesine dayanmaktadır. Sisteme uygulanan basınç miktarı sıkıştırma dökümünde kullanılan çok düşük değerlerdedir. Sıvı metalin katılaşmadan preformda bulunan gözeneklere emdirilmesi, kimyasal reaksiyonların minimuma indirilmesi, matriks/fiber arasındaki bağ mukavemetinin ve ıslatılabilirliğinin artırılması için preformun uygun bir sıcaklığa kadar ısıtılması gerekmektedir.

İnfiltrasyonun, diğer anlamda sıvı metalin fiberler arasına sokulmasının, mümkün olabilecek en kısa sürede tamamlanması gerekmektedir. İnfiltrasyon yöntemi ile kompozit üretiminde uygulanacak basınç miktarının yanında temel olarak metal ve kalıp sıcaklığı gibi iki önemli değişkenin de kontrol altına alınması gerekmektedir. En uygun üretim şartı seramik malzemelerin ıslatılabilmesini sağlayacak minimum kalıp ve metal sıcaklığında çalışmaktır. İnfiltrasyon tekniğine etki eden faktörler dört ana grupta toplanabilir;

- Fiber hacmi
- Fiber sıcaklığı
- Metal sıcaklığı
- Uygulanan basınç miktarı

5.4. Sıvı Metal Karıştırması

Bu üretim yönteminin oldukça değişik çeşitleri olmakla beraber takviye malzemesinin tamamıyla sıvı haldeki matriks içerisine girmesini sağlamak için bazı yaklaşımlar şöyle özetlenebilir;

- Bir enjeksiyon tabancası kullanılarak sıvı içerisine taşıyıcı soygaz ile tozların enjeksiyonu,
- Kalıp dolarken sıvı içerisine seramik parçacıkların ilavesi,
- Mekanik hareket ile oluşturulan vorteks içerisinden parçacıkların sıvı metale iletilmesi,
- Sıvı içerisine, matriks alaşımı ve takviye toz karışımından meydana gelen, küçük briketlerin ilavesi ve ardından karıştırılması,
- Karşılıklı çubukların kullanılarak parçacıkların sıvı içerisine iletilmesi,
- Merkezkaç etki ile parçacıkların sıvı içerisine dağıtılması, veya ultrasonik ile sıvı sürekli hareket halinde iken parçacıkların sıvı içerisine enjeksiyonu,
- Sıfır yerçekimi prosesidir. Uzun zaman dilimi için çok yüksek vakum ve sıcaklıkların birlikte etkisi kullanılarak gerçekleştirilmektedir.
- Bu işlemlerin hepsinde metal matriks ile takviye arasındaki güçlü bağ; yüksek işlem sıcaklığı kullanımı ve yeni faz oluşturulması gereklidir. Bu nedenle de takviye fazı ile matriks arasındaki ıslatmayı geliştirmek için takviye ile etkileşim gösteren bir element ile matriksin alaşımlanması halinde başarılı olunmaktadır.

5.5. Toz Metalurjisi

Bu teknikte, toz halindeki metal ve seramik malzemeler birleştirilebilir. Genellikle, takviye elemanı partikülleri olarak silisyum karbür, grafit, nikel, titanyum ve molibden ile matriks malzemesi olarak da metalik bakır, nikel, alüminyum, kobalt ve titanyum esaslı alaşımlar ve çelikler kullanılmaktadır.

Bu metod da tozlar istenilen şekli oluşturmak için tasarlanan hacim oranlarında karıştırılıp kalıp içerisine konarak preslenir. Presleme işlemi soğuk yada sıcak olarak

yapılabilmekte fakat ara yüzey bağıni iyileştirmek ve partikül kırılmasını azaltmak için sıcak preslemeden daha iyi netice elde edilebilmektedir.

Elyafların yığılmadan homojen bir dağılım sağlaması için metal toz ve seramik partikül boyutu önemli olmaktadır. Seramik parçacıkların sıvı metal tarafından ıslatılmasındaki güçlük nedeniyle toz metalurji ile kompozit üretimi ilk geliştirilmiş metotlardan biridir. Yöntemin aşamaları kısaca şöyle özetlenebilir;

- Hızlı katılaşmış metal veya alaşım tozlarının elenmesi,
- Takviye fazı ile metal tozlarının karıştırılması,
- Yaklaşık %75 yoğunlukta sıkıştırılması,
- Gaz giderme ve ekstrüzyon, dövme, haddeleme ve diğer sıcak işlemler ile son birleştirme işleminin uygulanması vb.dir.

Metal tozları, genellikle, 20 – 40 μm büyüklük aralığında ön alaşımlanmış atomize tozlardır. Ancak aynı zamanda elementel tozlar veya hızlı katılaştırılmış doğranmış şerit veya lamellerin karışımı şeklinde olabilirler. Kompozitin başlangıçtaki homojenliliğini belirlemesi nedeniyle karıştırma aşaması önemlidir. Metal toz parçacıklarının hidrate olmuş bir oksit filmine sahip olması nedeni ile daha sonraki gaz porozitesinden kaçınılması isteniyorsa su moleküllerinin giderilmesi gerekmektedir. Sıvı faz sinterlemenin yoğunlaştırma kinetiği daha yüksektir.

Ancak seramik parçacıkların ara yüzeyinde arzu edilmeyen intermetaliklerin oluşması açısından daha kolaylıkla meydana gelen reaksiyon dezavantajına sahiptir. Sıvı faz sinterleme, hızlı katılaştırılmış olan metal toz parçacıklarının mikro yapısının zarar görmesine neden olacak ve ergimiş bölgelerde kaba ötektik intermetalik fazların oluşumuna neden olacaktır.

Tamamıyla katı hal sinterleme ise hızlı katılaştırma atomizasyonu ve şerit döküm prosesleri ile elde edilebilen aşırı doymuş yarı kararlı alaşım bileşimlerini temin etme avantajına sahiptir. Son dövme ürünü de yaklaşık 20:1 vaha yüksek oranda ekstrüzyon ile elde edilebilmektedir.

Yüksek ekstrüzyon oranı ise;

- Metalin metale temasına müsaade etmesi,
- Metal partiküller arasında iyi ağ gelişimini sağlaması,
- Metal toz partikülleri arasındaki oksit filminin dağıtılması vb. için gereklidir.

Yüksek ekstrüzyon oranı aynı zamanda ekstrüzyon ile birlikte meydana gelen plastik akışın, takviye parçacık topaklarının dağıtılmasına yardımcı olduğundan dağılımı geliştirmektedir. Bunun yanında hızlı katılaştırılmış tozlar kullanılmış ise matriks ve takviye parçacıkların zarar görmesinden kaçınmak için ekstrüzyon oranı ve sıcaklık dikkatli şekilde kontrol edilmelidir.

Bu yöntemde ilk önce seramik takviye parçacıkları ve matriks tozları karıştırılarak kalıp içerisine yerleştirilir. Katı hal difüzyonu için ergime sıcaklığı altındaki sıcaklığa kadar ısıtılarak basınç altında sinterleme sağlanır. Daha yoğun parçalar üretmek için parçacık / matriks karışımından sonra doğrudan sıcak presleme yapılabilir. Kuvvetlendirilmiş olan bu mamül ikinci bir işlemden sonra kompozit malzeme olarak kullanılır. Bu tekniğin özellikleri sıralanacak olursa;

- Kırpılmış seramik elyaf ve kılcal kristalli elyafların hazırlanması ve toz metalurji harmanlama tekniğinin döküm tekniğinden daha kolay olması,
- Toz metalurji esaslı kompozitlerin hazırlanması daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştiğinden elyaf – matriks arasında daha az etkileşim olması dolayısıyla ara yüzeyde reaksiyonlar en aza indirilerek üstün mekanik özellikler gerçekleştirilebilmesi,
- Parçacık takviye elemanı sürekli takviye elemanlarından daha düşük maliyette olduğundan ve metotta ergime gerekmediğinden daha ekonomik olması,
- Kılcal kristalli seramikler katı alüminyum ile oldukça iyi uyum gösterirken sıvı alüminyum ile daha az uygunluk göstermeleri,
- Matriks olarak herhangi bir alaşımın kullanılmasına imkan sağlaması ve hızlı katılaştırılmış malzemeler kullanılarak matriks için denge dışı alaşımlar seçilebilmesi, bu da özellikle kompozitin yüksek sıcaklık uygulamaları için kullanıldığı zaman önemli olmaktadır. Dolayısıyla hızlı katılaştırılmış alaşımlar geleneksel alaşımlardan daha iyi yüksek sıcaklık mukavemetine sahip olması,

- Yüksek takviye elemanı hacim oranının elde edilmesi olasıdır. Bundan dolayı da kompozitin modülü daha yüksek değere sahip olurken ısı genleşme katsayısı en aza indirilebilmektedir.

Bu metodun üstünlüklerine rağmen bazı dezavantajları da mevcuttur. Harmanlama işlemi ve takviyelendirme sırasında elyaf kırılabilen ve son ekstrüzyon ile kılcal kristallerin boy / çap oranı 50 – 100'den 5 – 10'a düşebilmektedir. Büyük parçalar için çok yüksek basınç gerilmesi ve aynı zamanda pahalı ve tehlikeli olabilmektedir. Bunlara ek olarak, tozların kullanımı temizlik gerektirmektedir. Aksi halde yabancı maddeler, atıklar, malzeme içine nüfuz ederek yorulma, tokluk üzerine olumsuz etki yapabilmekte ve uniform dağılımı sağlamak güçleşmektedir. Son olarak da, geleneksel dövme alüminyum alaşımları ile kıyaslandığı zaman pahalıdır.

Bu yöntemde, inert gaz altında atomize edilmiş Al – alaşımı ve takviye partikül kuru olarak mikserde karıştırılır ve soğuk olarak sıkıştırılır. Gaz giderme işleminden sonra sıcak presleme ve takibinde talaşlı yada plastik şekil verme işlemi yapılır. Plastik şekil verme işlemi sonucunda son şekle yakın parça imal edilir.

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

Sıvı – faz sinterlemesi ayrıca hızlı katılaşan faz partiküllerinin mikro yapısını da bozar ve ergiyik bölgelerde kaba ötektik intermetalik fazlar üretir. Metal toz partikülleri arasında oksit filmi sıyrıp atmak ve iyi bir metal – metal teması ile devam eden birleşmeyi sağlamak için, yüksek ekstrüzyon oranları gereklidir. Ayrıca yüksek ekstrüzyon oranı homojen bir partikül dağılımı da sağlamaktadır. Ancak ekstrüzyon oranı ve sıcaklık, partikül kırılmasını engellemek için optimize edilmelidir.

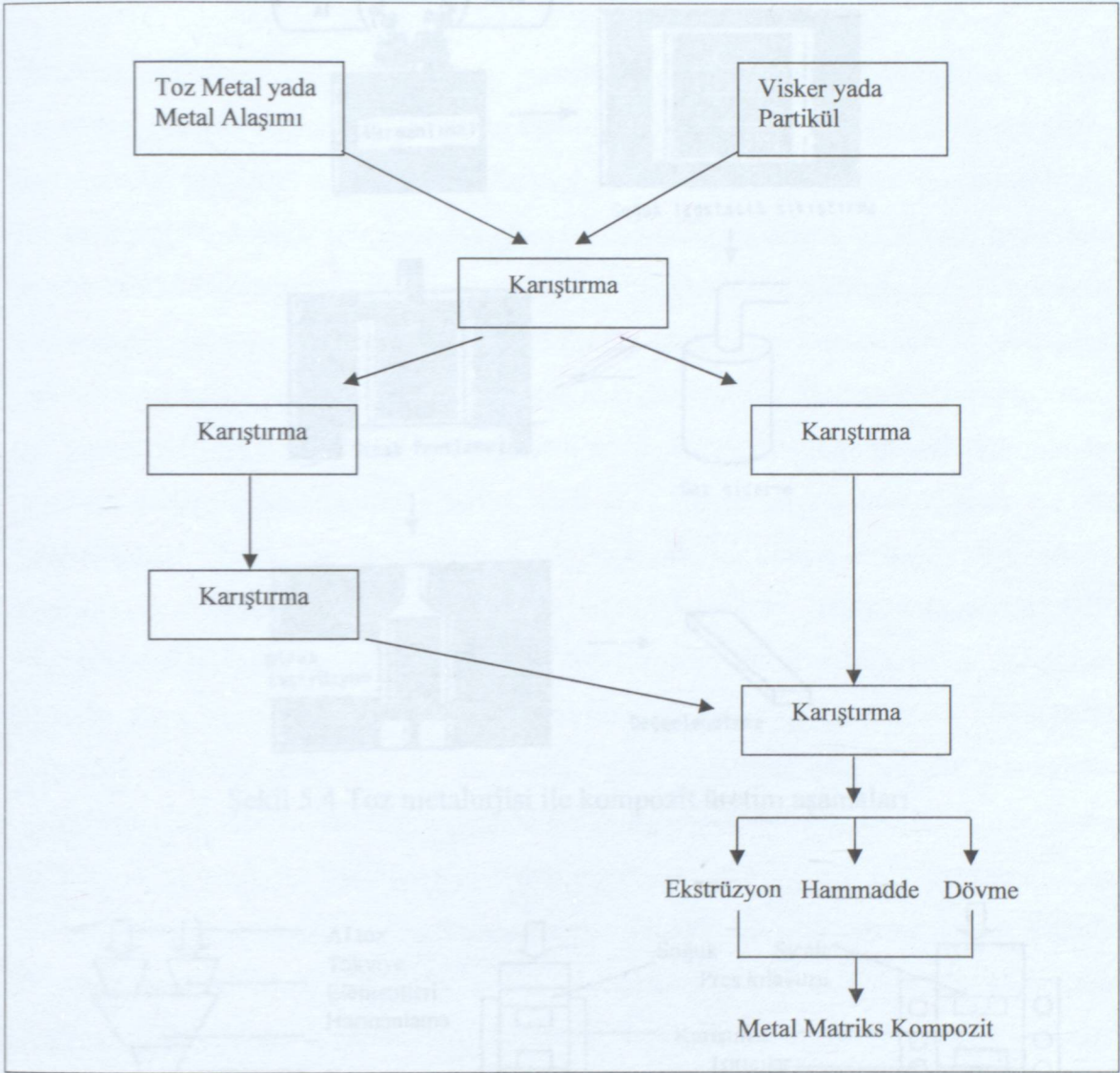
Toz metalurjik yöntemin başlıca avantajları;

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

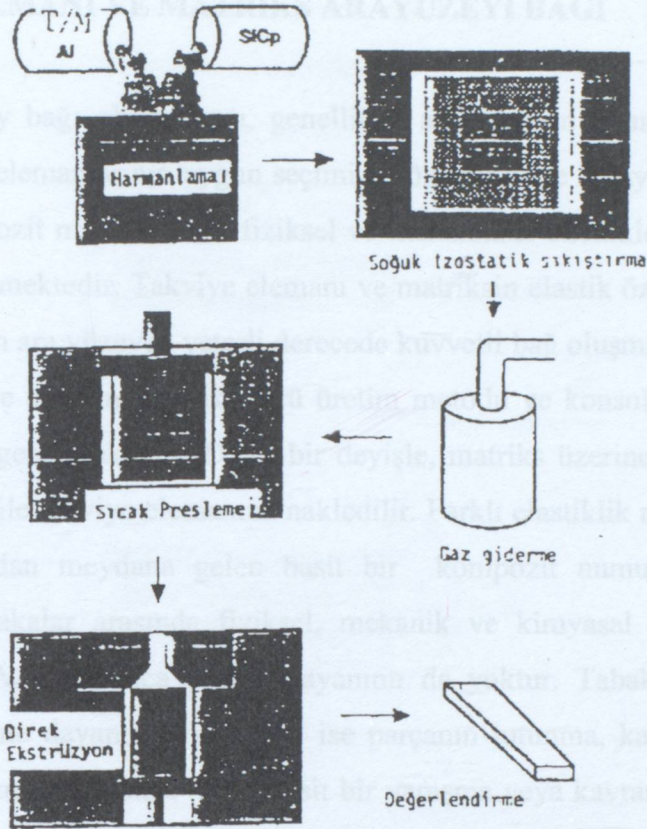
Yöntemin başlıca dezavantajı, tozların reaktif olması patlama ihtimali doğurur. Yöntem aşamaları komplekstir. Üretilecek formu ve şekli kısıtlıdır. Sonuçta, üretilen mamül pahalıdır.

Katı haldeki metal tozlarının, takviye partikülleri, süreksiz fiberleri veya viskerleri ile harmanlanan karışımın, sıcak preslenmesi toz metalurjisi üretim tekniğinin prensibini oluşturur. Bu yöntemle üretilen metal matriks kompozit malzemelerde, takviye elementlerinin genelde uniform dağıldığı görülmüştür. Ayrıca takviye oranlarında artış sağlama imkanları vermektedir.

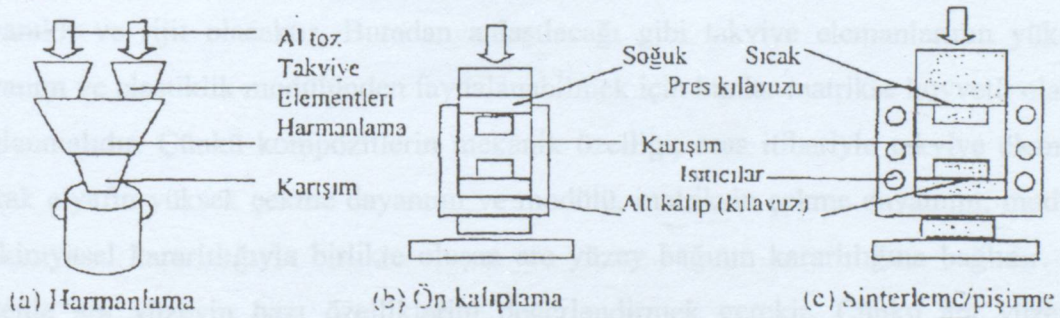
Üretim aşamasında, ön şekillendirme amacı ile sinterleme öncesi oda sıcaklığında uygulanan presleme işlemi, takviyelerin bozulmasına ve özelliklerini kaybetmesine neden olabilir. Dolayısıyla ön kalıplama sıcaklığı yükseltilebilir, buna bağlı olarak sinterleme aşamasında basınçların düşürülmesi imkanı da olabilir. Bu yöntem ile metal matriks kompozit üretiminde, takviye malzemesi olarak genelde partiküller, viskerler veya bunların karışımı kullanılır. Uzun takviye şekilleri için bu yöntemin uygun olduğu söylenemez.



Şekil 5.3 Toz metalurjisi ile kompozit üretim akış şeması



Şekil 5.4 Toz metalurjisi ile kompozit üretim aşamaları



Şekil 5.5 Toz metalurjisi ile kompozit üretim şematik gösterimi

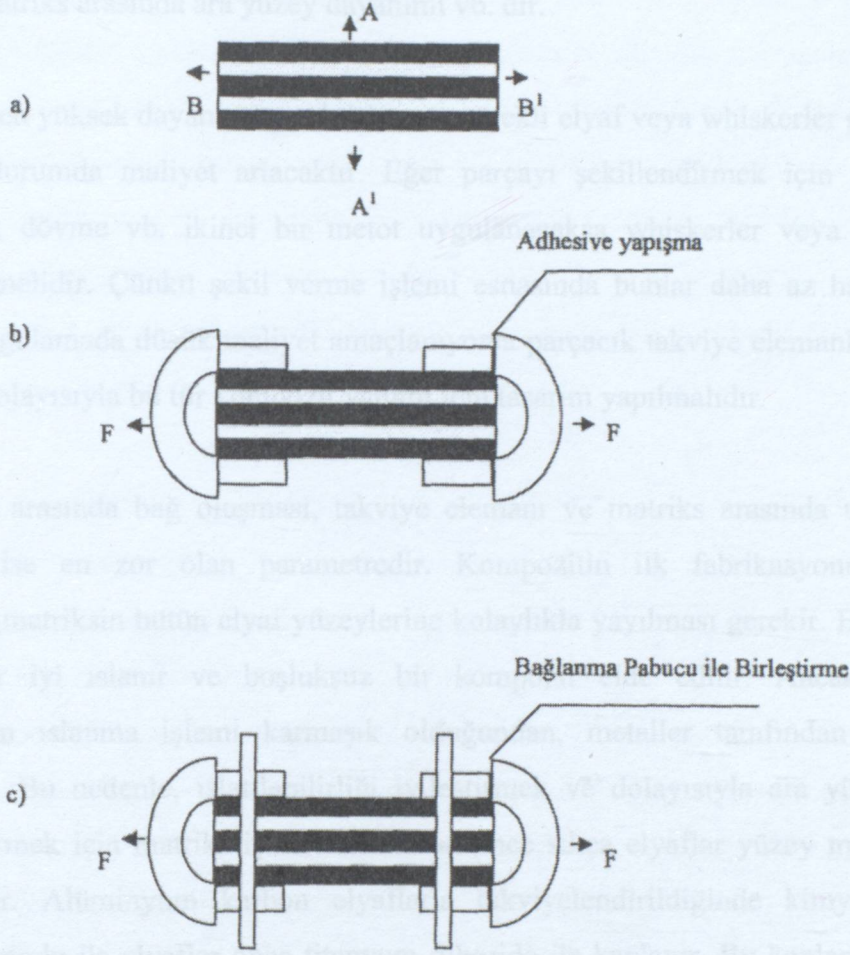
Şekil 5.3, 5.4 ve 5.5 de toz metalurjik yöntemle kompozit malzeme üretiminde izlenmesi gereken akış, şematik olarak gösterilmektedir. Şekillerden görüldüğü gibi ilk adım tozların karıştırılması, ardından soğuk - sıcak presleme ve son olarak sinterlemedir. Toz metalurjik ürün elde edildikten sonra bitirme işlemleri yapılmaktadır.

6. TAKVİYE ELEMANI VE MATRİKS ARAYÜZEYİ BAĞI

İki fazın ara yüzey bağı oluşturmaları, genellikle, ara yüzeyin uyumluluğuna, takviye elemanı – matriks elemanlarının uygun seçimi ve özelliklerine dolayısıyla da ara yüzey dayanımının kompozit malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine rolünün büyük olduğu bilinmektedir. Takviye elemanı ve matriksin elastik özellikleri arasındaki büyük farklar bazen ara yüzeyde yeterli derecede kuvvetli bağ oluşmasını önlemektedir. Bu nedenle, takviye elemanı matriks türü üretim metodu ve konsolidasyon şartlarının optimize edilmesi gerekmektedir. Diğer bir deyişle, matriks üzerine etkiyen kuvvetler ara yüzey aracılığı ile takviye elemanına nakledilir. Farklı elastiklik modüle sahip levha şeklinde tabakalardan meydana gelen basit bir kompozit numune Şekil 6.1 de gösterilmiştir. Tabakalar arasında fiziksel, mekanik ve kimyasal bağ yoksa tabaka doğrultusuna dik AA¹ boyunca çekme dayanımı da yoktur. Tabakalara paralel BB¹ doğrultusunda çekme dayanımı ve modül ise parçanın tutunma, kavranma durumuna bağlıdır. Eğer hiç tutunma yoksa veya basit bir yapışma veya kavrama dış tabakalarda meydana gelmişse Şekil 6.1 b' de olduğu gibi uygulanan yük bu dış tabakalarla gerçekleştirdiği için dayanım sınırlıdır. Diğer örnekte ise tabakalar hep birlikte bağlama pabucuyla bağlanmışsa (Şekil 6.1 c) bütün tabakalar yükü taşıdığı için kompozit daha dayanıklı ve rijit olacaktır. Buradan anlaşılacağı gibi takviye elemanlarının yüksek dayanım ve elastiklik modülünden faydalanabilmek için bunlar matrikse kuvvetli olarak bağlanmalıdır. Çünkü kompozitlerin mekanik özelliği; esas itibariyle takviye elemanı olarak elyafın yüksek çekme dayanımı ve modülü, matriksin çekme dayanımı, modülü ve kimyasal kararlılığıyla birlikte oluşan ara yüzey bağının kararlılığına bağlıdır. Bu nedenle ara yüzeyin bazı özelliklerini değerlendirmek gerekir. Çünkü ara yüzeyin kompozitlerin kırılma tokluğuna da önemli bir etkisi olmakta bunlar korozyon ve sulu ortamlara karşı da belirginlik gösterirler. Zayıf ara yüzeye sahip kompozit malzemeler nispeten düşük dayanım ve elastik modüle sahipken tokluğu yüksektir. Yüksek ara yüzey bağ dayanımına sahip malzemeler ise yüksek dayanım ve rijitliğe sahip olurlar. Ancak bunlar diğerlerine göre daha çok kırılıp parçalanırlar. Takviye elemanı olarak elyaf ve matriks arasındaki doğal bağın;

- Elyafın kimyasal özellikleri,
- Polimer matriksin kimyasal oluşumu,
- Molekül şekli,

- Elyaf ve matriks arasındaki uyuma bağlı olduğundan her matriks ve elyaf sistemine özgü ara yüzeyin mevcut olduğu görülmektedir.



Şekil 6.1 Kompozit tabakada ara yüzey bağının önemini belirten şematik gösterimi

6.1. Takviye Elemanı ve Matriks Seçimi

Belirli uygulama alanı için matriks seçimi; yoğunluk, çekme dayanımı, yüksek sıcaklık özelliği ve süneklik gibi faktörler yanında üretim metodu ve bunlar arasındaki uyuma da bağlıdır. Fakat genelde düşük yoğunluğa sahip Al, Mg ve Ti gibi matrikslerde en iyi özellikler elde edilebilmektedir. Çünkü karbon elyaf hariç diğer elyafaların yoğunluğu 3000 kg/m^3 ün üstünde olup bunlar yüksek yoğunluklu metaller içerisine katılırsa ağırlık problemi ortaya çıkmaktadır. Bugüne kadar çoğu kompozitler Al, Ti ve son yıllarda da Mg' a ilgi yoğunlaşmaktadır. Elyaf seçimi de şu faktörlere bağlıdır;

- Elyaf şekli, mikro yapısı, mekanik ve fiziksel özellikleri,
- Elyaf maliyeti,
- Elyaf ile matriks arasında uyumluluk,
- Elyaf matriks arasında ara yüzey dayanımı vb. dir.

Uygulama en yüksek dayanımı gerektiriyorsa, sürekli elyaf veya whiskerler gerekli olup fakat bu durumda maliyet artacaktır. Eğer parçayı şekillendirmek için ekstrüzyon, haddeleme, dövme vb. ikinci bir metot uygulanacaksa whiskerler veya parçacıklar tercih edilmelidir. Çünkü şekil verme işlemi esnasında bunlar daha az hasara sebep olurlar. Uygulamada düşük maliyet amaçlanıyorsa parçacık takviye elemanları en ucuz olanıdır. Dolayısıyla bu tür kompozit yapımı için tasarım yapılmalıdır.

Ara yüzey arasında bağ oluşması, takviye elemanı ve matriks arasında uyumluluğu sağlamak ise en zor olan parametredir. Kompozitin ilk fabrikasyonu sırasında uyumluluk, matriksin bütün elyaf yüzeylerine kolaylıkla yayılması gerekir. Bu durumda da elyaflar iyi ıslanır ve boşluksuz bir kompozit elde edilir. Ancak, genelde, seramiklerin ıslanma işlemi karmaşık olduğundan, metaller tarafından kolaylıkla ıslatılamaz. Bu nedenle, ıslatılabilirliği iyileştirmek ve dolayısıyla ara yüzey bağını gerçekleştirmek için matriks içine katılmadan önce sıkça elyaflar yüzey muamelesine tabi tutulur. Alüminyum karbon elyaflarla takviyelendirildiğinde kimyasal buhar birikimi metodu ile elyaflar önce titanyum diboride ile kaplanır. Bu kaplama kalınlığı yaklaşık $200\text{\AA}$ olup karbon elyaf yüzeyin enerjisini değiştirir. Böylece yapılan bu kaplama ile Al matriks ile daha kolay bağ yapılabilir. Titanyum diboride elyafı aynı zamanda reaksiyondan korur. Kompozit üretim işlemi esnasında elyaflar yüksek sıcaklığa maruz kalır ve elyaf matriks arasında etkileşim meydana gelebilir. Bunun sonucunda da intermetalik bileşikler oluşur ve bu da elyafların dayanımını azaltır. Örneğin karbon elyaflar alüminyumun ergime noktasının hayli altındaki sıcaklıklarda alüminyum ile reaksiyona girerek alüminyum karbürü (Al_4C_3) oluşturmaktadırlar. Bu reaksiyon dayanımda oldukça düşüşlere sebep olur. Reaksiyon bölgesi kalınlığı ergime sıcaklığı arttıkça artar ve 530°C de $4\text{ }\mu\text{m}$ kalınlığında iken sıcaklık 640°C ye çıktığında ise kalınlık $14\text{ }\mu\text{m}$ 'e ulaşır. Benzer şekilde boron elyaflar Ti ile reaksiyona uğrayarak titanyum borid (TiB_2) oluşturur. Fakat bu reaksiyon SiC kaplı boron elyaflar kullanılarak engellenebilir. Özellikle, alüminyum matriks ile iyi ara yüzey uyumluluğu

elde etmek güçtür. Çünkü alüminyum çoğu seramikler ile kolaylıkla etkileşimlere girerek intermetalik oluşturur ve iyi bir ara yüzey bağın gerçekleşmesini zorlaştırır. Silisyum karbür temel olarak alüminyumun ergime noktası altında kararlıdır fakat sıvı eğrisi üzerindeki sıcaklıklarda çoğu alaşımlar ile reaksiyona uğrar. Bu reaksiyon, alüminyum karbür meydana getirir ki takviye elemanı ve silisyum matriksin bileşimini değiştirir. Yani, matriks silisyum içeriğini değiştirmekte, daha doğrusu silisyum içeriğini arttırmaktadır. Ergimiş alüminyum 800°C de silisyum karbür ile reaksiyona girerek Al_4C_3 oluşturur. Bunun anlamı, silisyum karbür / alüminyum kompozit aşırı sıvı fazı işlemi gerektiriyorsa silisyum karbür korunabilir veya matriks olarak yüksek silisyum içerikli alaşım kullanılır. Islanabilirlik davranışlarını özetlemek gerekirse bunlar şöyle sıralanabilir;

- Elyaf ve ana malzeme özelliklerine,
- Kristal yapıya ve bileşime,
- Ara yüzeyde oluşan reaksiyonlara,
- Saf veya alaşım elementlerine,
- Ergimiş metalin ergime sıcaklığı,
- Elyafın kaplanmış veya kaplanmamış olması vb. şartlara bağlı olarak özetlenebilir.

6.2. Adhezyon veya Yapışma Teorisi

Basit bir sistemde ara yüzey bağı; matriks ve elyaf arasındaki yapışma nedeniyle çekme sonucu meydana gelir. Kararlı bir ara yüzey faz oluşumu için ilk gereksinim ise matriksin elyafı ıslatmasıdır. Bu konuda gerek plastik gerekse metal esaslı kompozitler üzerine çeşitli araştırmalar yapılmış ve bu çalışmalar yüzeyin tamamen ıslatılmasının çeşitli faktörlere bağlı olduğunu göstermiştir. Bağlayıcı matriksin düşük viskozitede ve takviye elemanının kritik yüzey geriliminden daha düşük olması gerekmektedir. Ancak seramikler ve oksit – nitrürlü takviye elemanları çok yüksek yüzey gerilimine sahiptirler. Organik polimerlerle inorganik takviye elemanları birbirine bağlamada silan yüzey gerilimi ayarlayıcı rolünü oynar. Bu silanlar suda çözündükten sonra ya reçineye karıştırılır takviye elemanları üzerine sürülür. Bunlar günümüzde ticari olarak temin edilmekte fakat iyi bir ara yüzey bağı oluşturmak için elyaflar çoğu zaman bir malzeme katmanıyla kaplanır. Metal esaslı kompozitlerde ara yüzey tipleri; reaktif olmayan

çözünmez fazlar, çözünebilen fazlar veya reaksiyona girerek ara yüzey bileşik fazları oluşturanlar olmak üzere gruplandırılabilirler.

Oluşan arayüzey mekanizmaları da şöyle sıralanabilir:

- Islatma bağı veya çözünme,
- Mekanik bağ,
- Difüzyon bağı,
- Elektrostatik çekim,
- Kimyasal bağ vb.

6.3. Islatma ve Çözünme Bağı

Islatma özelliği, elyaf ve matriksin oluşturduğu serbest enerji değişimine bağlıdır. İki elektriksel yüzey birbirlerine yeteri kadar yaklaştığı zaman fiziksel çekim kuvveti mevcut olur ki bu, katı bir yüzeyin sıvı ile ıslatılması halinde daha iyi anlaşılır. İki yüzey fiziksel temas halinde olduğu zaman gerçek molekülse temas toplam yüzeyin sadece küçük bir kısmında meydana gelir. Bu çok hassas parlatılmış yüzeyler de bile atomik ölçekte kabadır. Ayrıca, genelde yüzeyler kirlilik, oksit ve diğer artık maddeler de içerirler. Bu maddeler kaldırılrsa ve temas noktalarında kuvvetli yapışma olsa bile bütün yüzeye göre ortalama yapışma olsa bile bütün yüzeye göre ortalama yapışma zayıf olmaktadır.

7. TOZ METALURJİK VE DÖKÜM YÖNTEMİ İLE KOMPOZİT ÜRETİMİNDE REFERANS ALINAN ÇALIŞMALAR

Bu bölümde deneysel çalışmalarımıza örnek teşkil edilebilecek çalışmalar incelenmiş ve deneysel program çalışmalar ışığında şekillendirilmiştir.

7.1. Toz Metalurjik Çalışmalar

Ortalama boyutu 13 μm olan SiC partikülleri takviye elemanı olarak kullanıldığı ilk çalışmada* 6061 alüminyum toz karışımı %20 hacimsel oranında SiC takviye edilerek kompozit malzeme elde edilmiştir. Karıştırma işleminde evvel alüminyum tozu nem içeriğini gidermek amacıyla kurutulmuştur. Toz karışımlarının kuru karıştırılması işlemi, bir saat süreyle kırk iki devir hızla çalışan bir karıştırıcıda gerçekleştirilmiştir.

Karıştırma işleminden sonra tozlar 276 kPa basınç altında soğuk izostatik olarak preslenerek silindirik çubuk formuna getirilmiştir. Gaz giderme işlemi 475 °C'de bir saat süreyle gerçekleştirilmiştir. Bu işlemlerin ardından silindirik çubuklar sinterleme sıcaklığına ısıtılmış ve o sıcaklıkta iki saat süreyle tutulmuştur.

Hacimsel olarak %20 SiC takviyeli kompozitler için sinterleme sıcaklığı 615 °C'nin beş derece altını yada üstünü ifade eder. Sinterlemeden sonra yoğunlukta artış sağlamak amacıyla silindirik çubuklar hidrolik presde kapalı kalıpta sıcak preslenmiştir.

İkinci bir çalışmada** ise 20 μm ortalama boyutundaki 6061 alüminyum alaşımı tozu ile yaklaşık ortalama 8 μm boyutundaki SiC partikülleri mekanik olarak karıştırılmış, alkol çözeltisinde ultrasonik harmanlanmış ve havada kurutulmuştur. Harmanlanmış tozlar 570 °C'de sıcak vakum presde 50 Mpa basınçla birleştirilmiştir. Bundan sonra bileşim 500 °C'ye ısıtılmış ve ekstrüzyon oranı 85:1 olmak üzere 350 °C'ye ısıtılmış fırında bekletilmiş ve 180 °C'de yaşlandırma yapılmıştır.

* Toz metalurjisi yöntemiyle 6061 Alüminyum Alaşımı ile SiC takviyeli metal matriks kompozit üretimi. Zhan, Maclean ve Baker.

** Toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiş 6061 Alüminyum Alaşımı + %20 hacimsel SiC partikül takviyeli kompozitler. Kim, Lee, Moon ve Hong.

7.2. Döküm Çalışmaları

Dökümle ilgili ilk çalışmada* 6061 alüminyum alaşımları %10 – 20 silisyum karbür ile takviye edilmiştir. Metal matriks kompozitlerin on senelerdir üretiminde karıştırmalı döküm kullanıldığı bilinmektedir ancak bu yöntemin en önemli problemi ıslanma kabiliyeti ve seramik parçacıkların homojen dağılmasıdır. İşte bu problemleri giderebilmek amacıyla çalışmada iki adımlı bit metot denemiştirlerdir.

Bütün ergitme işlemi direnç fırınında, kil – grafit potada gerçekleştirilmiştir. Ergimeden evvel alüminyum alaşımı levhalar 3 – 4 saat 450 °C’de ön ısıtılmış. Silisyum karbür partikülleri karıştırılmadan evvel 1100 °C’de 1 – 3 saat arası ön ısıtılmıştır ki yüzeyleri oksitlensin diye.

Fırının sıcaklığı alaşım levhaları tamamen ergitecek sıcaklığın üzerine kadar artırılmış, sonra yarı katı faz halini alana kadar soğutulmuştur. Bu noktada ön ısıtılmış silisyum karbür partikülleri ekleniyor ve manuel olarak karıştırılıyor. Manuel olmasının sebebi yarı katı fazda herhangi bir alet ile karıştırma yapılmasının zorluğudur. Manuel karıştırma işlemi bittikten sonra, kompozit yeniden sıvı faza kadar ısıtılır ve bu noktada ortalama karıştırma değeri 150 – 200 rpm olan bir mekanik karıştırıcı ile 20 dakika karıştırılmıştır. Final karıştırma işleminde fırının sıcaklığı 730 °C civarında tutuluyor.

Bu araştırmanın sonuçlarına bakılacak olursa silisyum karbür partiküllerinin dağılımını gözlemlemek için iki kompozit oluşturmuşlar ve farklı noktalarından fotoğraflar almışlardır. Ve görmüşlerdir ki zayıf ıslanma özelliği mekanik karıştırma ile de çözülmemiştir ayrıca ara yüzeylerde Al_4C_3 oluşumunu engelleyememişlerdir.

Daha başka bir çalışmada** ise karıştırma hızının ve zamanının döküm kompozit üretiminde partikül dağılımına etkisi değerlendirilmiş. %10 silisyum karbür alüminyum alaşımına takviye edilmiştir. Takviye işlemi farklı karıştırma hızında, farklı sürelerde yapılmıştır. Numunelere Brinell sertlik testi uygulanmıştır. Karıştırma hızının ve

* Silisyum karbür takviyeli metal matriks kompozitlerin dökümü. Zhou, Xu.

** Döküm metal matris kompozitlerde karıştırma zamanının ve karıştırma hızının silisyum partiküllerin dağılımına etkisi. Prabu, Karunamoorthy, Kathiresan, Mohan.

zamanının kompozitin sertliğine olan etkileri gözlemlenmiştir. 10 dakika ve 600 rpm’de yapılan karıştırma sonucunda uniform sertlik elde edilmiştir.

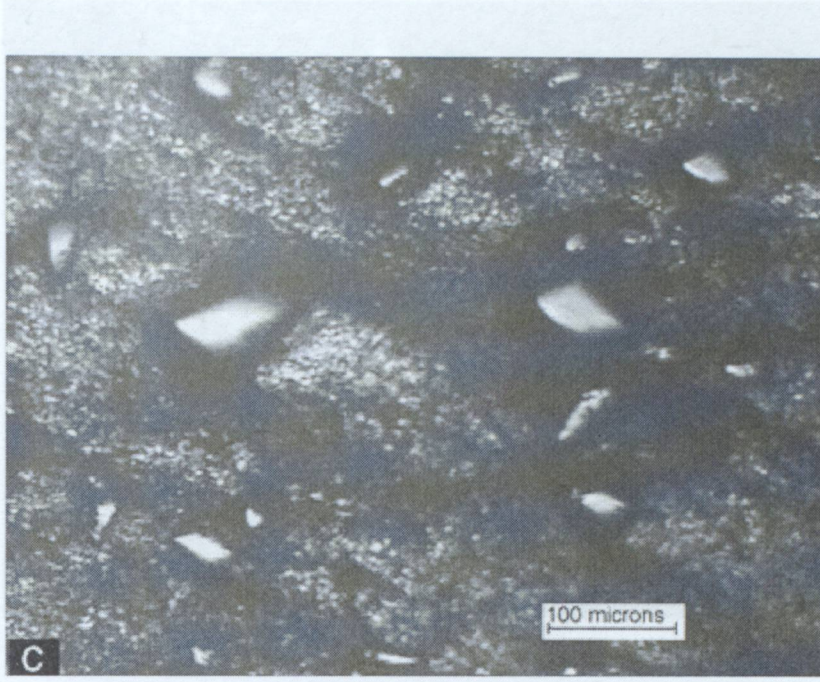
Yöntemin teknik zorlukları ise;

- Partiküllerin uniform dağılım zorluğu,
- Matriks ile takviye arasındaki ıslatma zorluğu,
- Döküm metal matriks kompozitlerde porozite,
- Matriks alaşımı ile takviye arasındaki kimyasal reaksiyonlar.

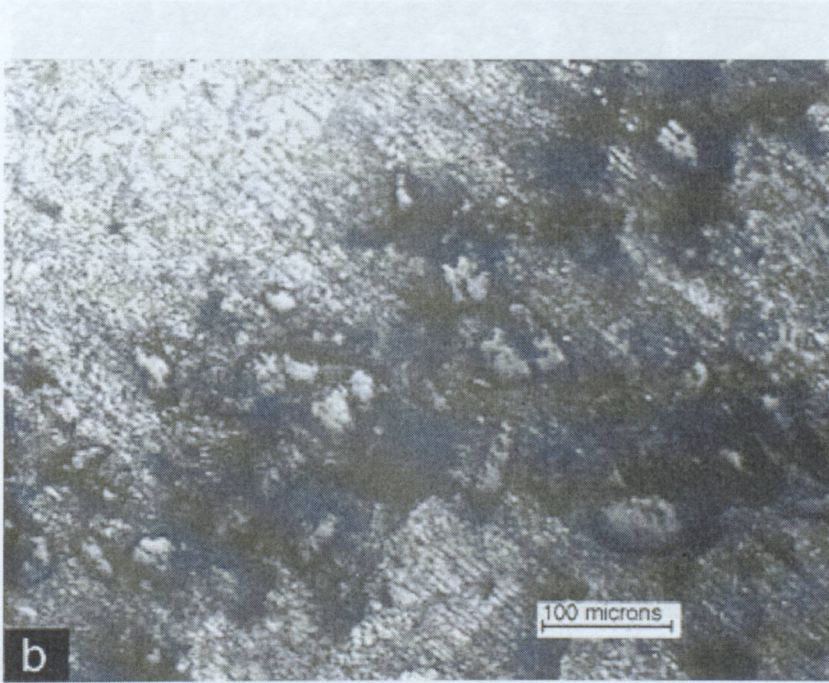
Kullanılan silisyum karbürün ortalama toz boyutu 60 μm ve 800 °C’de ısıtılmıştır. Alaşım grafit potada ergitilmiştir. Silisyum karbürü ısıtma işlemi uygulanmasının sebebi yüzeyde bir oksit tabakası oluşturmaktır. Karıştırma hızları 500, 600 ve 700 rpm olarak belirlenmiştir. Mekanik karıştırıcı kullanılmıştır. Karıştırma süreleri ise 5,10,15 dakikadır. Mekanik karıştırıcıda 300 °C’ye ön ısıtılmıştır.

Çalışmanın sonuçlarına bakılacak olursa; hem Brinell sertlik testinden hem de fotoğraflardan gözlemlenen düşük karıştırma hızı ve az karıştırma süresinde silisyum karbür bazı bölgelerde toplanmış bazı bölgelerde ise hiç yerleşmemiştir. Aynı zamanda çok yüksek karıştırma hızında da poroziteler oluşmuştur. Bu durumda en iyi mekanik sonuçlar 10 dakika ve 600 rpm’de elde edilmiştir.

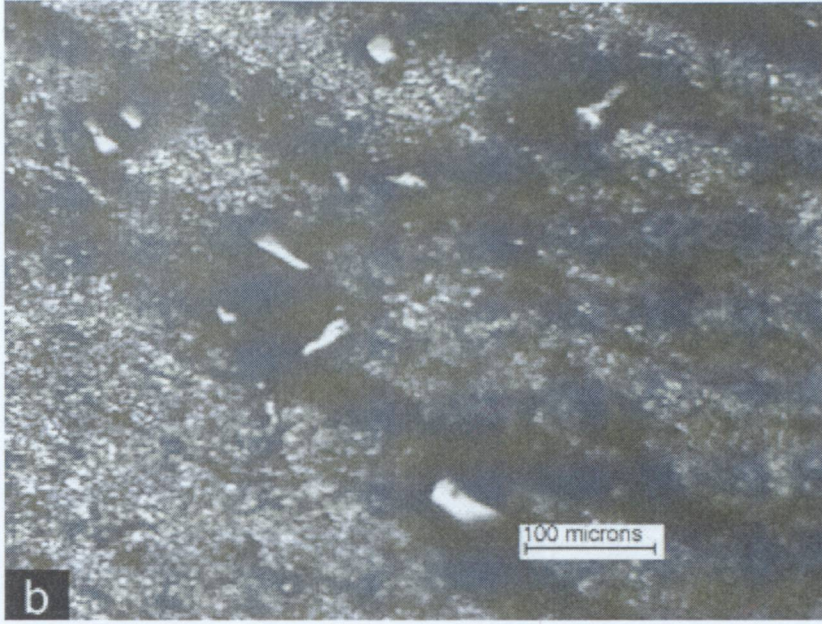
Şekil 7.2 %10 SiC takviyeli 10 dakika 700 rpm’de karıştırılarak üretilmiş metal matriks kompozit fotoğrafı (Prabu S., Kavunemurthy I., Kalibrezan S., Mohan B. (2006))



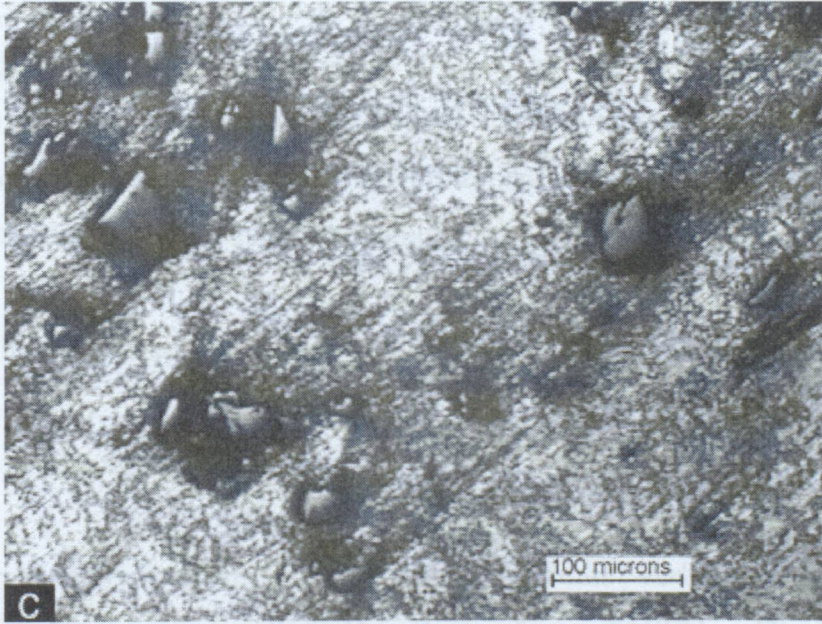
Şekil 7.1 %10 SiC takviyeli 15 dakika 700 rpm de karıştırılarak üretilmiş metal matriks kompozit fotoğrafı [Prabu S.,Karunamoorthy L.,Kathiresan S.,Mohan B.(2006)]



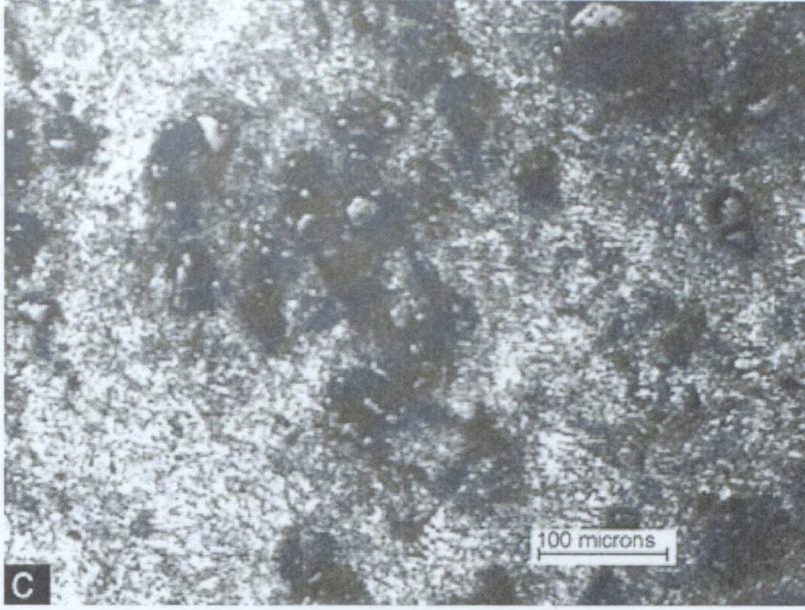
Şekil 7.2 %10 SiC takviyeli 10 dakika 700 rpm de karıştırılarak üretilmiş metal matriks kompozit fotoğrafı [Prabu S.,Karunamoorthy L.,Kathiresan S.,Mohan B.(2006)]



Şekil 7.3 %10 SiC takviyeli 10 dakika 600 rpm de karıştırılarak üretilmiş metal matriks kompozit fotoğrafı [Prabu S.,Karunamoorthy L.,Kathiresan S.,Mohan B.(2006)]



Şekil 7.4 %10 SiC takviyeli 15 dakika 600 rpm de karıştırılarak üretilmiş metal matriks kompozit fotoğrafı [Prabu S.,Karunamoorthy L.,Kathiresan S.,Mohan B.(2006)]



Şekil 7.5 %10 SiC takviyeli 15 dakika 500 rpm de karıştırılarak üretilmiş metal matriks kompozit fotoğrafı [Prabu S.,Karunamoorthy L.,Kathiresan S.,Mohan B.(2006)]

Başka bir çalışma* ise silisyum karbür partiküllerinin ergiyik alüminyum tarafından ıslanabilirliği üzerine incelenmiştir. Parçacık takviyeli döküm metal matriks kompozitlerin üretiminde kritik nokta ergiyik metalin içindeki seramik partiküllerin bünye ile kaynaşmasıdır. Metalurjik öngörülerden kompozit içerisindeki ara yüzey bölgesinde arzulananlar birkaç faktöre bağlıdır;

- Takviye ile matriks malzemesi arasında temasın iyi olması ve memnuniyet verici bir ıslatma,
- Ara yüzeyde düşük kimyasal reaksiyon.

Genel olarak ergiyik yüzeyindeki oksit filmlerinin varlığı ergiyiğin takviye partiküllerini ıslatmasını engeller. Bu oksit yüzeyi özellikle dökümde, takviye parçacıkları yukarıdan eklendiğinde partiküllerin ergiyik matriks içerisine doğru hareketini engeller.

Matriks malzemesine uygun alaşım elementinin eklenmesi, seramik partiküllerinin kaplanması, seramik partiküllerinin ısı ileme tutulması, ıslanabilirliği arttırmada incelenmesi gereken konulardır. Silikon karbidlerin 900 °C'ye ısıtılması yüzey

* Silisyum karbürün ergiyik alüminyum tarafından ıslatılabilmesi. Hashim, Looney Hashmi.

impüritelerini uzaklaştırması, yüzeyde bir oksit tabakasının oluşmasını sağlayarak yüzey kompozisyonunun değişmesine sebep olur. Birçok araştırmacı tarafından ergiyik metalin silisyum karbür partiküllerini ıslatabilmesini bu oksit tabakanın arttırdığı söylenmektedir.

Islatılabilir bir metal ile kaplanan seramik partiküllerin ıslanması başarılabilir. CVD, PVD kaplama teknikleri vardır. Nikel ve bakır kaplama elementleri olarak kullanılır. Alüminyum bazlı kompozit malzemelerde nikel kullanılır. İyi ıslanma takviye ile ana malzeme arasında kuvvetli bir bağ oluşmasını sağlar.

3.1. Toz Metalurjik Çalışmalar İçin Kompozit Yoğunluklarının Ve Ağırlıklarının Belirlenmesi

Özellikle, kullanılacak tozların boyutunun belirlenmesi için elek analizi yapılmıştır. Silisyum toz boyutunun 100 µm, silisyum karbür toz boyutunun 125 µm, bakır toz boyutunun 44 ile 100 µm arasında olduğu görülmüştür. Alüminyum matris kompozitleri toz metalurjik yöntemle üretirken silisyum karbür takviye oranları %3, %10, %15, %20 olarak belirlenmiş, bu takviye oranlarına göre kompozit yoğunluğa ve kompozit oluşturacak malzemelerin ağırlığına ne kadar konulacağı 3.1'deki formülle bağlı olarak hesaplanmıştır.

$$d_k = V_k \times d_k / V_m \times d_m \quad (3.1)$$

3.1 formülüne göre % 3 silisyum karbür ve % 4 bakır takviyeli alüminyum matris kompozit üretilecek istenildiği zaman kompozit yoğunluğu 2,97 g/cm³, % 10 silisyum karbür ve % 4 bakır için 2,98 g/cm³, % 15 silisyum karbür ve % 4 bakır için 3,01 g/cm³, % 20 silisyum karbür ve % 4 bakır için 3,02 g/cm³ olacaktır. Bu silisyum matris kompozitlerin ağırlığına hesaplamak için pres işlemine kullanılacak katman yüksekliği alınmıştır. Bu sayede 3.2 denkleminde yazılarak kompozitlerin ağırlıkları hesaplanmıştır.

$$M_k = V_k \times d_k \quad (3.2)$$

8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada; silisyum karbür takviyeli alüminyum matriks kompozitler, toz metalurjik yöntem ve döküm yöntemi ile üretilmiş ve üretim parametrelerine, silisyum karbür oranına bağlı olarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda ilk olarak ele alınacak yöntem toz metalurjik yöntemdir. Toz metalurjik yöntemde, silisyum karbür takviyenin oluşturabileceği sertlik ve bağlanma zorluğu göz önüne alınarak yapıya bakır da takviye edilmiştir. Döküm yöntemi ile kompozit üretiminde ise, silisyum karbürün ergiyik alüminyum tarafından ıslanma zorluğu göz önüne alınarak, oksitlenmiş ve oksitlenmemiş silisyum karbür tozları yapıya takviye edilerek deneyler yapılmış, döküm şartları değiştirilmiş ve tüm bunlara bağlı olarak silisyum karbür dağılımının değişimi değerlendirilmiş, elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

8.1. Toz Metalurjik Çalışmalar İçin Kompozit Yoğunluklarının Ve Ağırlıklarının Bulunması

Öncelikle, kullanılacak tozların boyutunun belirlenmesi için elek analizi yapılmıştır. Sırasıyla alüminyum toz boyutunun 100 µm, silisyum karbürün toz boyutunun 125 µm, bakırın toz boyutunun 44 ile 100 µm arasında olduğu görülmüştür. Alüminyum matriks kompozitleri toz metalurjik yöntemle üretirken silisyum karbür takviye oranları %5, %10, %15, %20 olarak belirlenmiş, bu takviye oranlarına göre kompozit yoğunluğu ve kompoziti oluşturacak malzemelerin ağırlıkça ne kadar konulacağı 8.1 deki formüle bağlı olarak hesaplanmıştır.

$$d_k = V_f \times d_f / V_m \times d_m \quad (8.1)$$

8.1 formülüne göre % 5 silisyum karbür ve % 4 bakır takviyeli alüminyum matriks kompozit üretilmek istenildiği zaman kompozit yoğunluğu 2,97 g/cm³, % 10 silisyum karbür ve % 4 bakır için 2,98 g/cm³, % 15 silisyum karbür ve % 4 bakır için 3,01 g/cm³, % 20 silisyum karbür ve % 4 bakır için 3,02 g/cm³ olacaktır. Elde edilmesi planlanan kompozitlerin ağırlığını hesaplamak için pres işleminde kullanılacak kalıbın ölçüleri alınmıştır. Bu sayede 8.2 denkleminde faydalanılarak kompozitlerin ağırlıkları hesaplanmıştır.

$$M_k = V_k \times d_k \quad (8.2)$$

8.2. Tozların Karıştırılması ve Preslenmesi

Kalıp ölçülerine göre V_k değeri $7,488 \text{ cm}^3$ 'dür. Buradan yapılan hesaplamalara göre kompozitin takviye oranlarına göre ağırlıkları % 5 silisyum karbür ve % 4 bakır için 22,24 g, % 10 silisyum karbür ve % 4 bakır için 22,31 g, % 15 silisyum karbür ve % 4 bakır için 22,53 g, % 20 silisyum karbür ve % 4 bakır için 22,61 g'dır.

Çizelge 8.1 Alüminyum matriks kompozitin takviye miktarına göre değişen yoğunluk ve ağırlık tablosu

	%5 SiC + % 4 Cu	%10 SiC + % 4 Cu	%15 SiC + % 4 Cu	%20 SiC + % 4 Cu
Kompozit Yoğunluğu (g/cm)	2,97	2,98	3,01	3,02
Kompozit Ağırlığı (g)	22,24	22,31	22,53	22,61

Şekil 8.1 Kullanılan kalıbın genel şekli

8.1 ve 8.2 deki formüllere bağlı olarak hesaplanan değerler, çizelge 8.1 de yerine konulmuştur. Bu çizelge ile takviye oranına bağlı olarak üretilecek kompozitin toplam ağırlığı ve beklenen yoğunluk değerleri görülmektedir. Üretilecek kompozitlerin ağırlığı ve yoğunluğu hesap edildiğine göre üretime geçilmeden evvel yapılması gereken son işlem; karışımlar kuralından takviye edilecek silisyum karbürün ve bakır tozlarının ağırlıklarını bulmak olacaktır. Karışımlar kuralı 8.3 denkleminde görülmektedir.

$$V_{\text{Takviye}} / V_{\text{Takviye}} + V_{\text{Matriks}} = \% V_{\text{Takviye}} \quad (8.3)$$

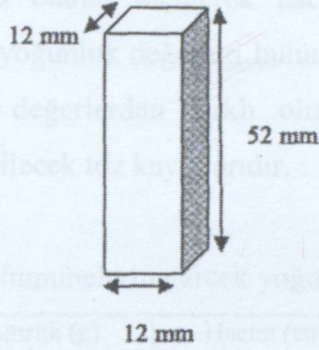
Buradan elde edilen sonuçlar bir çizelge ile ifade edilecek olursa ortaya 8.2 deki gibi bir çizelge çıkmaktadır. Bu çizelgede üretilecek kompozit için yapıya katılması gereken her bir tozun ağırlıkça ne kadar olduğu görülmektedir.

Çizelge 8.2 Alüminyum matriks kompozitin ağırlıkça dağılımı

	% 5 SiC + % 4 Cu	% 10 SiC + % 4 Cu	% 15 SiC + % 4 Cu	% 20 SiC + % 4 Cu
Ağırlıkça Alüminyum (g)	18,4	17,33	16,35	15,24
Ağırlıkça Silisyum Karbür(g)	1,16	2,31	3,5	4,7
Ağırlıkça Bakır (g)	2,68	2,67	2,68	2,67

8.2. Tozların Karıştırılması ve Preslenmesi

Ağırlıkları belirlenen tozlar homojen dağılım sağlamak amacıyla karıştırılmışlardır. Karıştırma işleminden hemen sonra preslemeye geçilmiştir. Presleme işlemi için kullanılan kalıbın şekli ve boyutları şekil 8.1 deki gibidir.



Şekil 8.1 Kullanılan kalıbın şematik şekli

Kalıbın boyutları 52 mm x 12 mm x 12 mm'dir. Tozlar hesaplanan ağırlıklarda bu kalıba doldurulmuş, 30 tonluk üniversal makinada sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. 23000 kp yük, 5 dakika süreyle oda sıcaklığında uygulanmış, işlem esnasında tozlar 5000 kp yük altındayken kuvvet durdurulmuş ve bu basınç altında yaklaşık 3 dakika beklenmiş, ardından 23000 kp' ye kadar kuvvet uygulanmaya devam edilmiştir. Sürekli bir kuvvet uygulayarak sıkıştırma yapmak yerine, belli bir kuvvet değerinde bekleyerek tekrar sıkıştırma işleminin yapılmasının nedeni; kalıp içerisindeki partiküllerin birbirleri içinde homojen sıkışmalarını sağlamak ve daha sonraki adımlarda dokuda olası gözenekliliğe fırsat vermemektir.

8.3. Numunelerin Sinterlenmesi

Sinterleme işlemi, 5 saat süreyle akışkan yatak fırında, koruyucu atmosfer olarak argon gazı kullanılarak 585 °C sıcaklıkta yapılmıştır. İşlemin başlangıcından itibaren artan sıcaklıkla birlikte kullanılan gazın debisi devamlı olarak düşürülmüş ve böylece fırının akışkanlığı her sıcaklık basamağında sabit tutulmuştur. Fırın atmosferinin kontrollü olması ve işlemin akışkan bir yatakta yapılması ile sinterlemenin en uygun şartlarda gerçekleştirilmesi ve olası oksitlenmelerin engellenmesi sağlanmıştır.

Sinterleme işleminden sonra değişik hacim oranlarına sahip olarak üretilmiş olan alüminyum matriksli kompozitlerin mikro yapıları incelenmiş, partiküllerin matriks içerisindeki dağılımı gözlenmiştir.

8.4. Toz Metalurjik Numuneler İçin Gerçek Yoğunluk Değerleri

Numunelerin boyutları hassas olarak ölçülerek hacimleri hesaplanmış, ağırlıkları tartılmış ve daha sonra gerçek yoğunluk değerleri bulunmuştur. Bu değerler çizelge 8.2 de görüldüğü gibi beklenen değerlerden farklı olmuştur. Nedeni preslemede ve sinterlemede gerçekleşmiş olabilecek toz kayıplarıdır.

Çizelge 8.3 Numunelerin gerçek yoğunluk değerleri

Takviye Oranı	Ağırlık (g)	Hacim (cm ³)	Yoğunluk (g/cm ³)
5%	19,52	7,61	2,56
10%	20,17	7,61	2,65
15%	19,79	7,65	2,58
20%	20,74	7,77	2,67

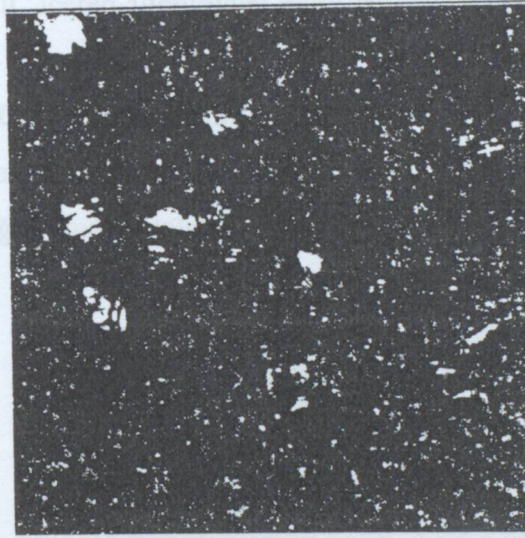
8.5. Toz Metalurjik Numuneler İçin Eğme Testi Sonuçları

Eğme deneyini sonucunda, değişik oranlarda takviye içeren alüminyum matriksli kompozit malzemelerin boyutları ve elde edilen eğme dayancı değerleri 8.3 çizelgesinde verildiği gibidir. Çizelgede b harfi ile numune genişliği, h harfi ile numune kalınlığı, l harfi ile de mesnetler arası uzaklık ifade edilmiştir. Deney sonuçlarına göre % 5 ve % 10 takviye elemanı içeren kompozit malzemelerin eğme dayanım değerleri % 15 ve % 20 içerenlere göre daha yüksektir. Daha az takviye elemanı içeren malzemelerin dayanımlarının daha yüksek olması, partiküllerin matriks içerisindeki dağılımları, matriks ile partikül arasındaki ara yüzey bağının etkisi, takviye elemanının boyutuna göre matriks içindeki etkisi gibi parametrelere bağlıdır. Küresele yakın geometriye sahip olan partiküllerin tam küresel olması ve ana malzemeyi oluşturan toz boyutları ile eşdeğer büyüklükte bulunması dayanım değerlerinin daha yüksek bulunmasını sağlayacaktır.

Çizelge 8.4 Numunelerin eğme dayanım değerleri

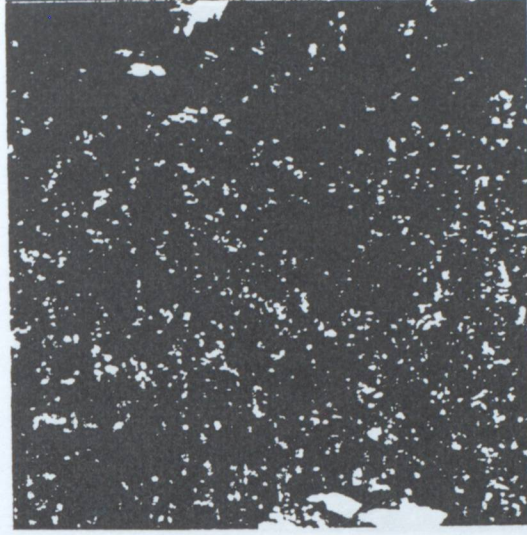
Kompozit	b (mm)	h (mm)	l (mm)	σ (N/mm ²)	E (GPa)
%5 Takviye	12,13	10,74	40	47,53	8430
%10 Takviye	12,19	10,73	40	46,13	8190
%15 Takviye	12,27	11,38	40	20,37	6820
%20 Takviye	12,48	10,51	40	12,80	3611

8.6. Toz Metalurjik Yöntemle Üretilmiş Alüminyum Matriksli Silisyum Karbür Takviyeli Kompozit Numuneler İçin Mikro Yapı Fotoğrafları



Şekil 8.2 % 5 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (50X) büyütme

Şekil 8.2’de, %5 SiC takviyeli alüminyum matriksli kompozitin mikro yapı fotoğrafı görülmektedir. SiC toz parçacıklar matriks içerisine oldukça homojen karışmıştır ve küreselliklerini korumaktadırlar.



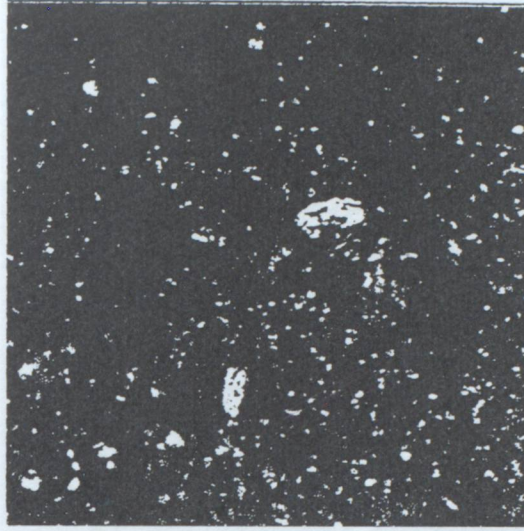
Şekil 8.3 % 5 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (100X) büyütme

Şekil 8.3’de ise, %5 SiC takviyeli alüminyum matriksli kompozitin mikro yapı fotoğrafı daha büyük bir büyütme olan 100X büyütmesinde alınmıştır. SiC toz parçacıklarının matriks içerisindeki dağılımları ve küresellikleri daha net olarak görülmektedir.



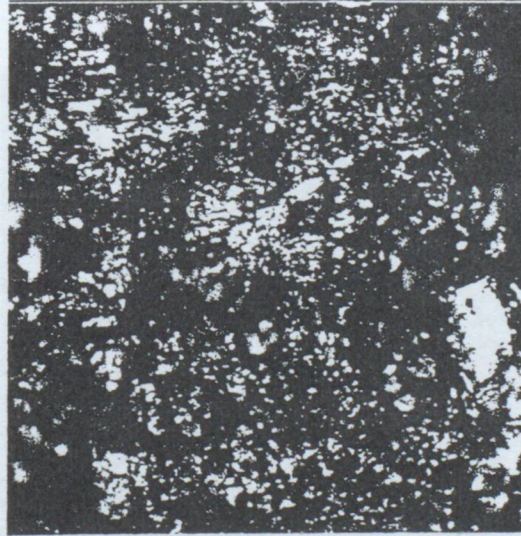
Şekil 8.4 % 5 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (200X) büyütme

Şekil 8.4’de, SiC takviye oranı gene %5 olarak kalırken mikro yapı daha büyük bir büyütmede incelenerek SiC toz boyutu ve dağılımı gözlemlenmiştir. Dağılımın homojen olması tüm mekanik değerlerin yüksek olmasına sebep olmaktadır.



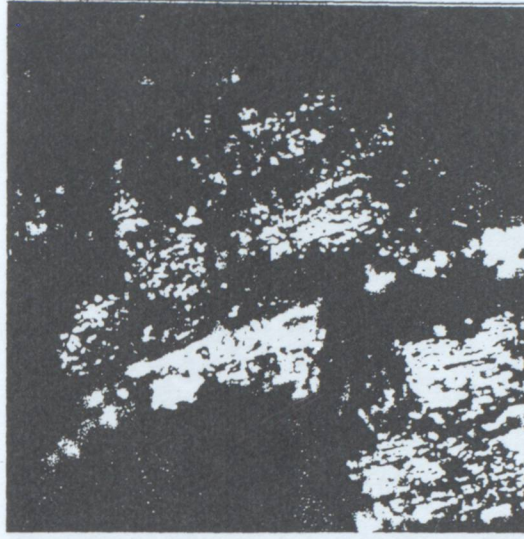
Şekil 8.5 % 10 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (50X) büyütme

Şekil 8.5’de, SiC takviye oranı %10 olan alüminyum matriksli kompozitin (50X) büyütmesinde mikro yapı fotoğrafı alınmıştır. %5 takviye oranında olduğu gibi SiC dağılımı homojene ve partikül boyutu küresele yakındır.



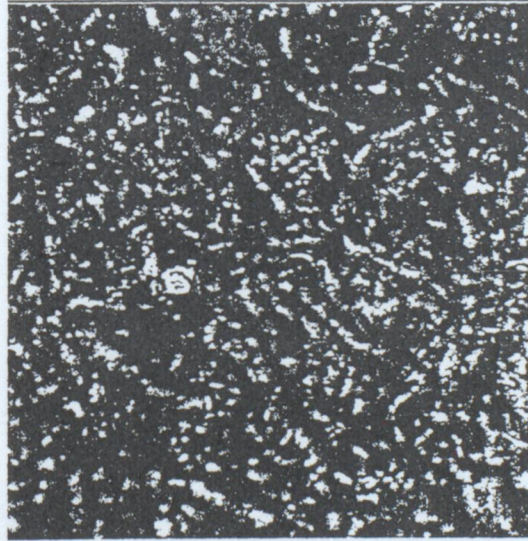
Şekil 8.6 % 10 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (100X) büyütme

Şekil 8.6’da, SiC takviye oranı %10 olan alüminyum matriksli kompozitin (100X) büyütmesindeki mikro yapı fotoğrafı görülmekte ve mikro yapı takviye oranının daha fazla olması sebebiyle partiküllerin küreselliklerini tam olarak koruyamadıkları anlaşılmaktadır.



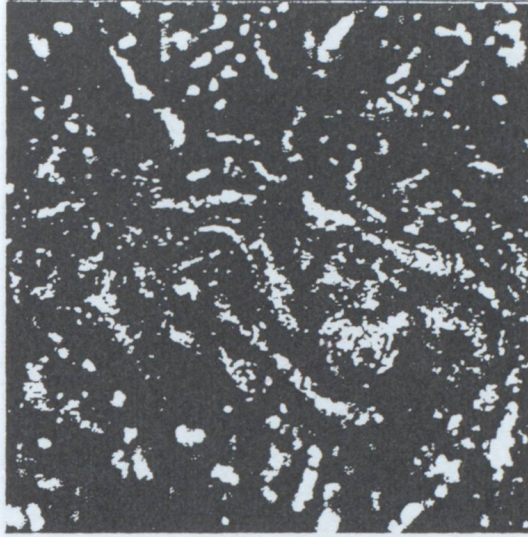
Şekil 8.7 % 10 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (200X) büyütme

Şekil 8.7’de, SiC takviye oranı %10 olan alüminyum matriksli kompozitin mikro yapısının fotoğrafı, SiC partiküllerinin matriks partikülleri ile birbirine olan oranını daha rahat gözlemleyebilmek için (200X) büyütmesinde alınmıştır. Çünkü iki fazın birbirine oranı kompozitin mekanik özelliklerini etkileyen en önemli faktörlerden biridir.



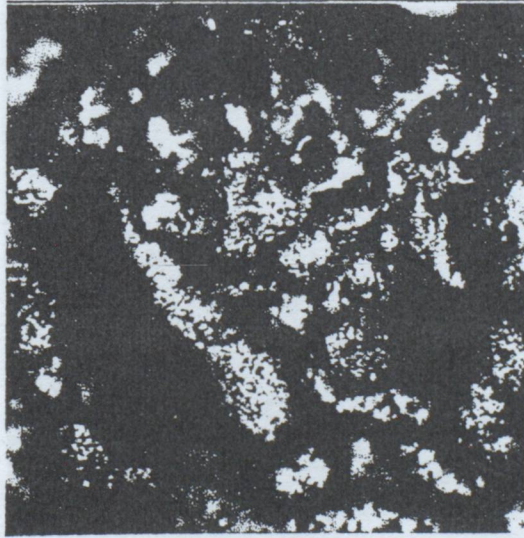
Şekil 8.8 % 15 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (50X) büyütme

Şekil 8.8’de, SiC takviye oranı %15 olan alüminyum matriksli kompozitin mikroyapısı (50X) büyütmesinde görülmektedir. SiC partikülleri küreselliklerini kaybetmişlerdir. Ancak yapı içerisinde ki dağılımları diğer kompozit numunelerde olduğu gibi homojendir.



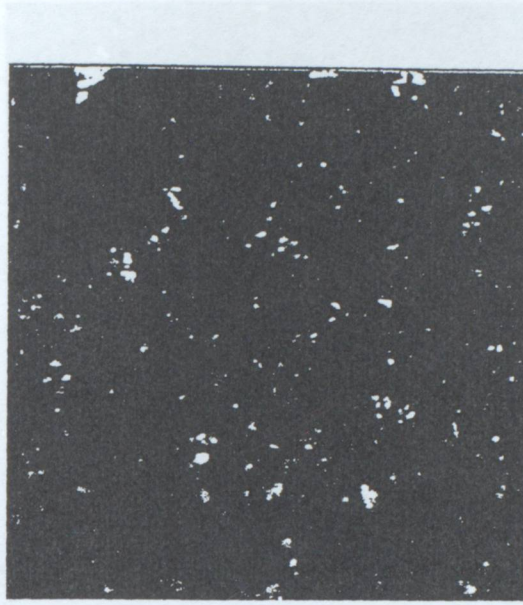
Şekil 8.9 % 15 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (100X) büyütme

Şekil 8.9'da, Alüminyum matriksli kompozit numune içerisindeki SiC takviye oranı %15 dir. (100X) büyütmedeki mikro yapı fotoğrafında SiC partiküllerin küreselliğini %5 ve %10 SiC takviye oranındaki gibi koruyamadığı görülmektedir.



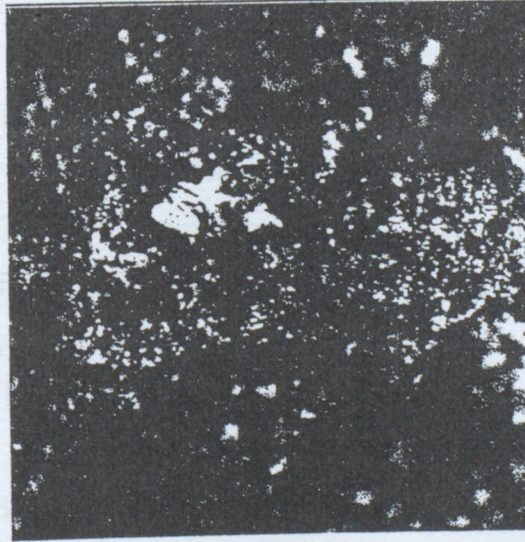
Şekil 8.10 % 15 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (200X) büyütme

Şekil 8.10'da, SiC'in alüminyum matriksli kompozit içerisindeki takviye oranı %15'dir. Bu takviye oranında (200X) büyütmede alınan mikro yapı fotoğrafında iki faz karışımının, daha düşük takviye oranlı alüminyum matriksli kompozit numunelere kıyasla daha az gerçekleştiği görülmüştür.



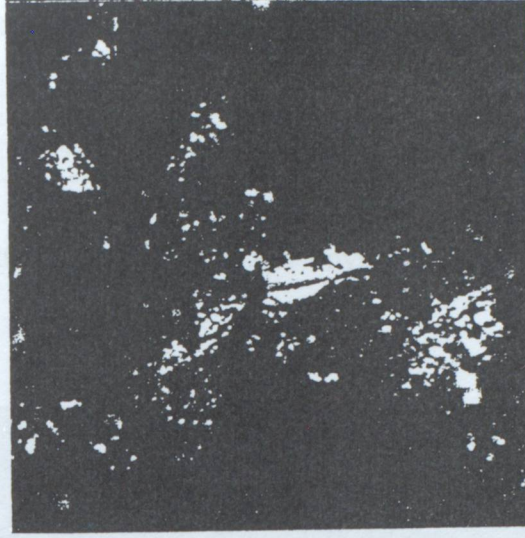
Şekil 8.11 % 20 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (50X) büyütme

Şekil 8.11’de, alüminyum matriksli kompozit numune içerisindeki SiC takviye oranı %20’dir. %20 takviye oranında (50X) büyütme alınan fotoğraf da SiC toz dağılımının daha az takviye oranlı numunelere göre homojen olmadığı görülmüştür.



Şekil 8.12 % 20 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (100X) büyütme

Şekil 8.12’de, %20 SiC takviye oranlı alüminyum matriksli kompozit numunenin mikro yapısı (100X) büyütmede görülmektedir. Takviye edilen fazın belli noktalarda yoğunlaşma eğilimi gösterdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 8.13 % 20 SiC içeren alüminyum matriksli kompozit (200X) büyütme

Şekil 8.13’de, %20 SiC takviyeli alüminyum matriks kompozit numune için (200X) büyütmede fotoğraflanan mikro yapı görülmektedir. SiC fazın homojen dağılmadığı ve partiküllerin geometrisinin küresele çok yakın olmadığı belirlenmiştir. Zaten eğme dayanım değerleri de bu mikro yapı fotoğraflarını doğrulamaktadır.

8.7. Döküm Deneyleri

Döküm yöntemi ile silisyum karbür takviyeli alüminyum matriks kompozit üretiminde, silisyum karbür takviye oranı hacimsel olarak %12 olarak belirlenmiş ve matriks malzemesi olarak 6063 alüminyum alaşımı seçilmiştir. Tüm döküm işlemleri için SiC pota kullanılmış ve pota içerisinde ergiyik 6063 alüminyum alaşımı ile silisyum karbür takviye fazın birbiri içerisinde homojen karışımını sağlamak için mekanik karıştırma işlemi uygulanmıştır. Elde edilen numunelerin mikro yapı fotoğrafları ile silisyum karbür takviye fazının alüminyum matriksli kompozit malzeme içerisindeki dağılımı, farklı numunelerin farklı noktalarından yapılan sertlik ölçümleri ile de alüminyum matriks kompozitin mekanik özellikleri belirlenmiştir. Silisyum karbür takviyeli alüminyum matriksli kompozit malzeme üretiminde kullanılmak üzere seçilen matriks malzemesi 6063 alüminyum alaşımının yapılan kimyasal analizi sonucu ortaya çıkan değerler çizelge 8.5’de verilmiştir.

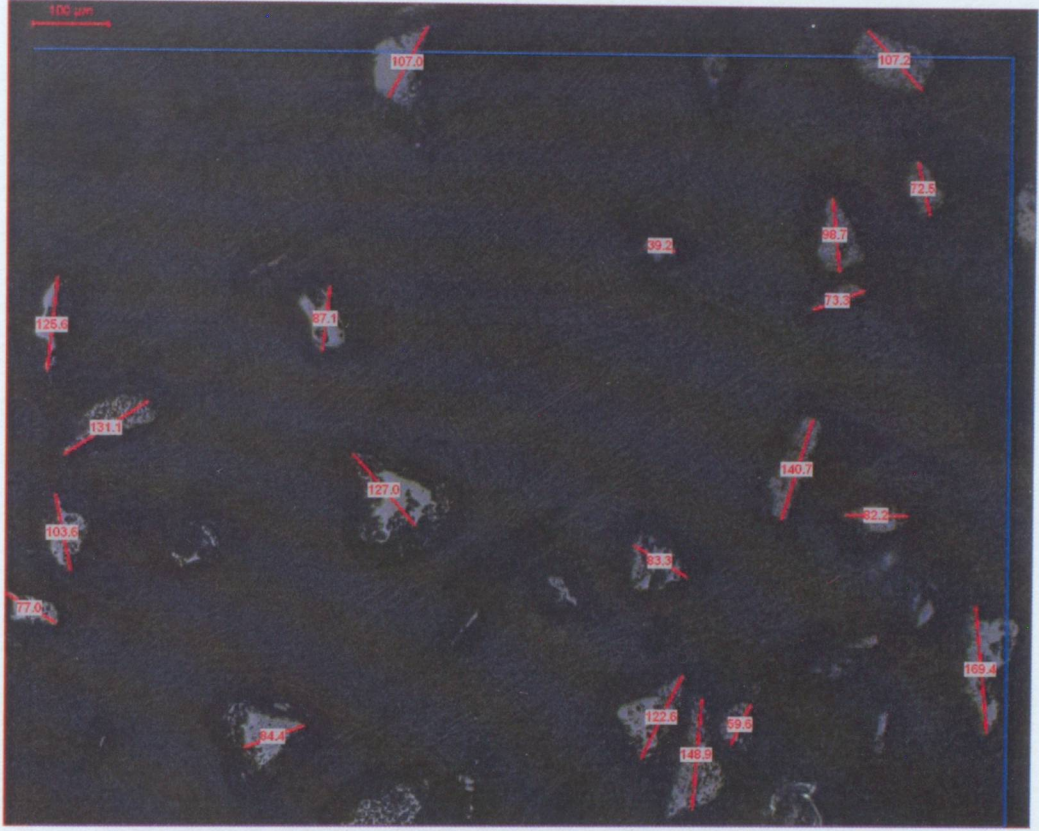
Çizelge 8.5 6063 Alüminyum alaşımı kimyasal analiz sonuçları

İçerik	Al	Mg	Si	Fe ₃	Zn	Pb	Ti
%	98,18	0,569	0,787	0,269	0,044	0,017	0,012

Kullanılan SiC partiküllerinin ortalama tane boyutu 100 µm olarak belirlenmiştir, şekil 8.14 ve 8.15.

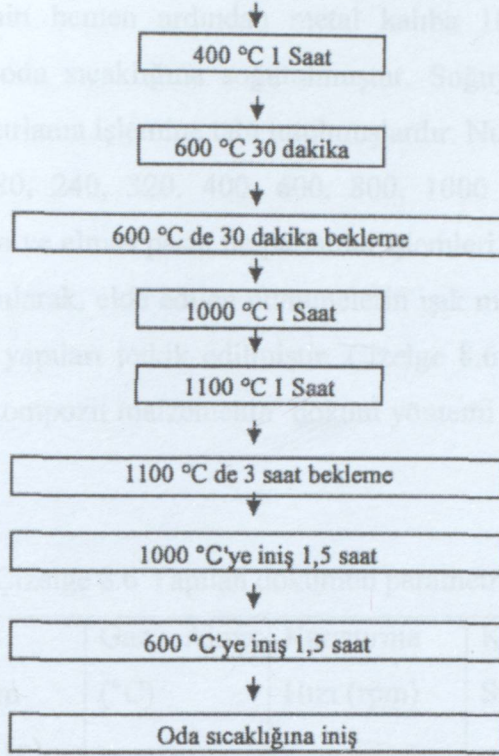


Şekil 8.14 Ortalama toz boyutları



Şekil 8.15 Ortalama toz boyutları

Döküm yöntemi ile silisyum karbür takviyeli alüminyum matriksli kompozit malzeme üretiminde elde edilecek sonuçları değiştirebilecek parametrelerden biride; silisyum karbür partiküllerin yüzey durumudur. Bu noktada, deneyler süresince silisyum karbür ile alüminyum matriks arasında ıslatma sorununu çözebilecek, yüzeyi oksit kaplı silisyum karbür tozlar ve ıslatma sorununu belirginleştirileceği öngörülen yüzeyi oksit kaplı olmayan silisyum karbür tozlar kullanılmıştır. Matriks malzemesi ile takviye malzemesinin ıslatma sorunu yaşaması partiküllerin heterojen dağılımına neden olmaktadır. Yüzeyi oksit kaplı tozlar için, oksitlenme işleminin gerçekleştirildiği fırın rejimi şekil 8.16'da gösterilmiştir.



Şekil 8.16 Fırın Rejimi

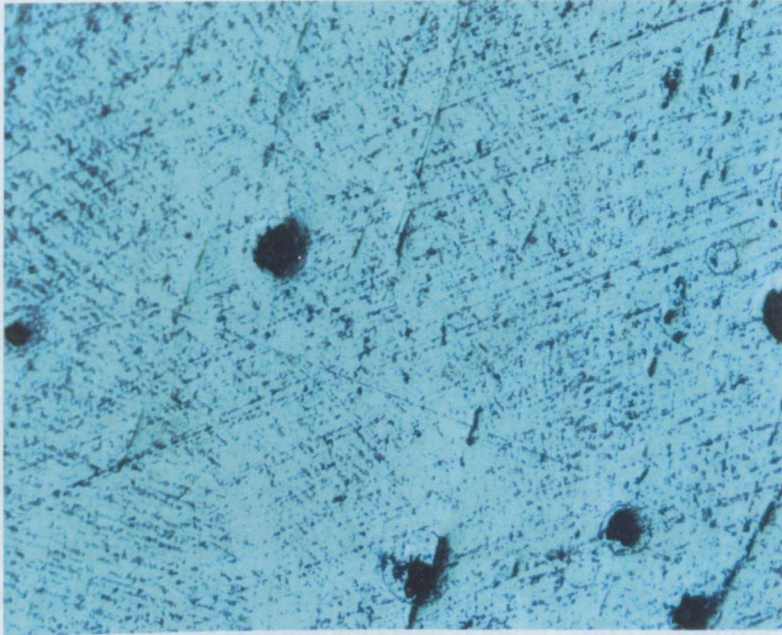
Matriks malzemesi olarak seçilen 6063 alüminyum alaşımı ergitme fırınının potasına boyutsal olarak uygun hale getirilmek amacıyla atölyede kesilmiştir. Dökümden evvel son işlemler olarak; kullanılacak alüminyum alaşımın ağırlığı 534 g olarak ölçülmüş, döküm yapılacak metalik kalıbın boyutlarına göre hacimsel olarak % 12 takviye oranına denk gelecek silisyum karbür ağırlığı hesap edilmiştir. Hesaplama sonucunda 534 g alüminyum alaşımına karşılık 84 g silisyum karbür eklenmesi gerektiği bulunmuştur. Döküm esnasında kullanılacak mekanik karıştırıcı bor nitrür ile kaplanmıştır. Kaplama işleminden hemen sonra etüve konmuş ve ilk olarak 60°C'ye ardından 105 C'ye ısıtılmış, ertesi sabaha kadar oda sıcaklığına soğutulmuştur. Bütün ön hazırlıklar tamamlandıktan sonra döküm işlemine başlanılmıştır. Döküm esnasında dikkat edilen parametreler; gaz alma sıcaklığı, karıştırma süresi ve hızı, döküm sıcaklığı olmuştur. Boyutsal olarak hazırlanan alüminyum SiC pota içerisine yerleştirilmiş ve fırın çalıştırılmıştır. Sıcaklık kontrolü lazer sıcaklık ölçer ile yapılmış ve 900 °C de gaz alma işlemine geçilmiştir. Gaz alma işlemini takiben oksitlenmiş silisyum karbür takviye malzemesi ergiyik alüminyum alaşımına eklenmiş ve kısa bir manuel karıştırma yapılmıştır. Karışımın sıcaklığı 1000 °C' ye ulaştığında mekanik karıştırma işlemi tatbik edilmiştir. Mekanik karıştırma 5 dakika süreyle ve 400 rpm karıştırma hızında yapılmış

ve karıştırma işleminin hemen ardından metal kalıba 1000 °C civarında döküm yapılarak numuneler oda sıcaklığına soğutulmuştur. Soğuyan numuneler 5 parçaya bölünerek numune hazırlama işlemine tabi tutulmuşlardır. Numune hazırlama işleminde sırasıyla; 60, 120, 180, 240, 320, 400, 600, 800, 1000 ve 1200' lük zımparalar kullanılmıştır. Alümina ve elmas pasta ile parlatma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Keller ile dağlama işlemi yapılarak, elde edilen numunelerin ışık metal mikroskopunda alınan fotoğrafları ile mikro yapıları tetkik edilmiştir. Çizelge 8.6 silisyum karbür takviyeli alüminyum matriksli kompozit malzemenin döküm yöntemi ile üretim parametrelerini göstermektedir.

Çizelge 8.6 Yapılan dökümün parametreleri

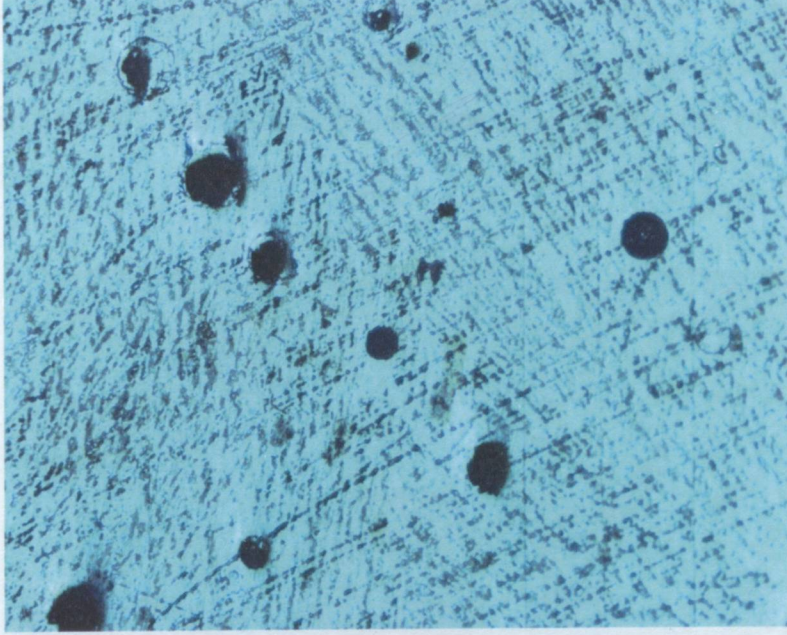
Katılan Alüminyum Alaşımı (g)	Katılan Silisyum Karbür (g)	Gaz Alma (°C)	Karıştırma Hızı (rpm)	Karıştırma Süresi (dak)	Döküm Sıcaklığı (°C)
534	84	900	400	5	1000

Çizelge 8.6'daki parametreler doğrultusunda döküm yöntemi ile üretilmiş SiC takviyeli alüminyum matriks kompozitlerin mikro yapıları şekil 8.17,8.18,8.19,8.20 ve 8.21 de görülmektedir.

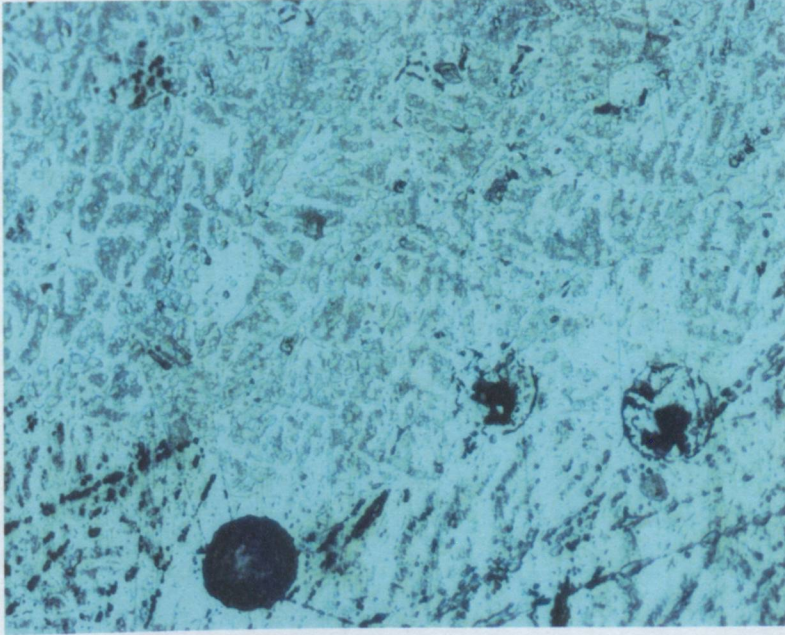


Şekil 8.17 400 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune merkez bölgesi (50X) büyütme

Şekil 8.17 ve şekil 8.18 den görüldüğü üzere SiC partikülleri yapı içerisine karışmıştır ancak bu karışım beklenildiği kadar homojen değildir. Merkez bölgedeki silisyum karbür partikülleri kenar bölgelere oranla daha heterojen ve sayıca da daha azdır. Her iki mikro yapıda da, silisyum karbür partiküller tam küresel bir geometriye yakındır.



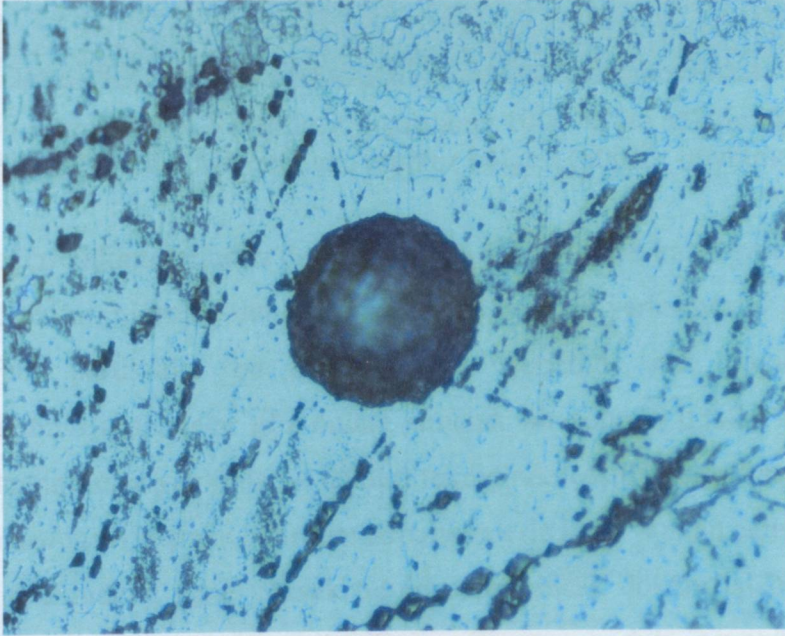
Şekil 8.18 400 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune kenar bölgesi (50X) büyütme



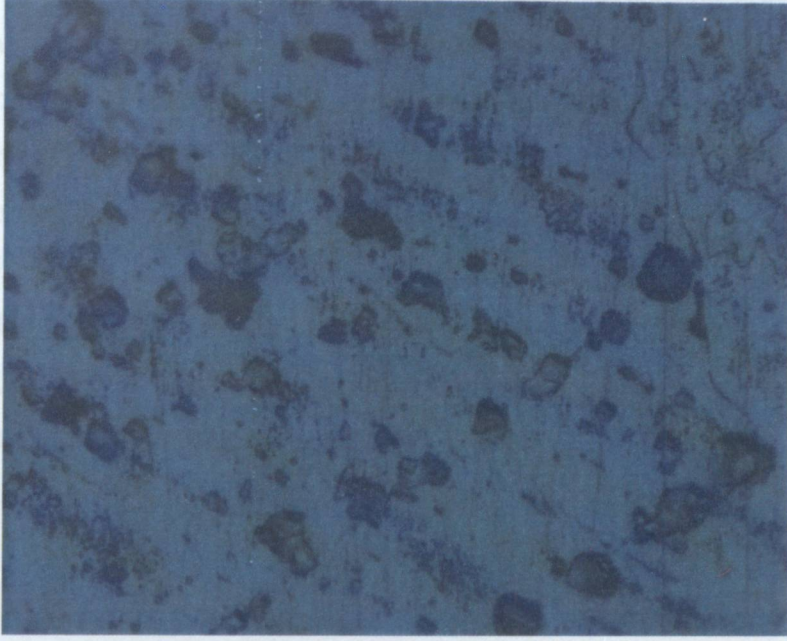
Şekil 8.19 400 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune kenar bölgesi (100X) büyütme

Şekil 8.19'daki fotoğraf numunenin farklı bir kenar bölgesinden alınmıştır. Şekil 8.18'deki kenar bölgesinden gösterdiği farklılıkla SiC partiküllerin dağılımının yapıda yalnız merkez ile kenar bölgesi arasında farklılık göstermediğini aynı zamanda kenar bölgelerin kendi arasında da farklı olduğunu göstermektedir.

Şekil 8.20'de merkez bölgesinin daha büyük bir büyütme oranında gözlemlenmiş mikro yapısı yer almaktadır. Bu büyütme oranında tek bir silisyum karbür partikülü görülmektedir. Şekil 8.21'de ise numunenin merkezdeki matriks fazı (500X) büyütmede görülmektedir.



Şekil 8.20 400 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune (500X) büyütme



Şekil 8.21 400 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune merkez bölgesi (500X) büyütme

Mikro yapı değerlendirmelerinden de anlaşılabileceği gibi, yüksek karıştırma hızı silisyum karbür partiküllerinin nispeten numunenin kenar bölgesine yerleşmesini sağlamıştır ve silisyum karbür partiküller bu sebeple yapı içerisinde pek homojen dağılım göstermemişlerdir. Bu sonuçlar göz önüne alınarak bir sonraki döküm çalışması için gerekli değerlendirmeler yapılmış ve döküm tekniğinde çeşitli farklılıklara gidilmiştir. Döküm çalışmasının en başında belirtilen parametrelerle ilgili yapılan çalışmalar sonucu döküm karıştırma hızının gene yüksek tutulmasının ancak döküm işleminin yaklaşık olarak yarı katı fazda gerçekleştirilmesinin silisyum karbür partiküllerinin daha homojen dağılmasını sağlayabileceği düşünülmüş ve bir sonraki döküme geçilmiştir.

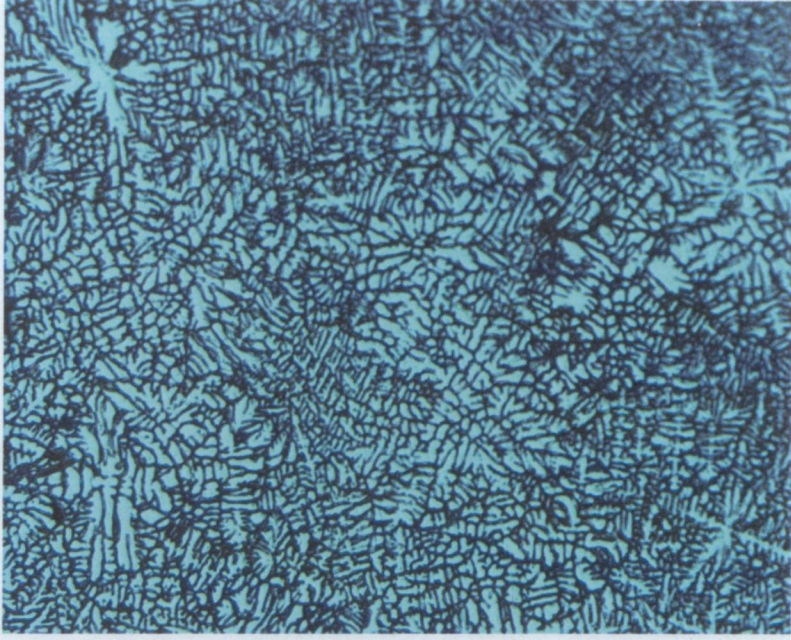
Matriks malzemesi olarak kullanacak alüminyum alaşımının ağırlığı 511 g olarak belirlenmiş, potaya uygun ebatlarda atölyede kesilmiştir. Hacimsel olarak % 12 silisyum karbür partikülü ile takviye edebilmek için ağırlık olarak eklenmesi gereken silisyum karbür 80,38 g olarak hesap edilmiştir. Hazırlanan alüminyum alaşımı SiC pota içerisine yerleştirilip elektrik ocağı çalıştırılmıştır. Sıcaklık kontrolü lazer cihazı ile yapılmış ve 900°C de gaz alınmıştır. Gaz alma işlemini takiben oksitlenmiş silisyum karbür takviye malzemesi ergiyik alüminyum alaşımına 1000 °C de eklenmiş ve kısa bir manuel karıştırma yapılmıştır. Manuel karıştırma ardından hemen mekanik karıştırma işlemi tatbik edilmiş ve mekanik karıştırma 500 rpm hızda 5 dakika süreyle sürdürülmüştür. Bu esnada fırın sıcaklığının 650 °C ye düşürülmüş ve yarı katı faza

inilmiştir. Fırın yeniden 750 °C ye ısıtılmış karışım daha akışkan bir ergiyik halini alır almaz döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Numuneler oda sıcaklığına soğutulmuştur. Soğuyan numuneler 5 parçaya bölünerek numune hazırlama işlemine geçilmiştir. Numune hazırlama işleminde sırasıyla; 60, 120, 180, 240, 320, 400, 600, 800, 1000 ve 1200' lük zımparalar kullanılmıştır. Alümina ve elmas pasta ile parlatma işlemleri gerçekleştirildi. Keller ile dağlama işlemi yapılarak, elde edilen numunelerin ışık metal mikroskobunda alınan fotoğrafları ile mikro yapıları tetkik edilmiştir. Çizelge 8.7 silisyum karbür takviyeli alüminyum matriksli kompozit malzemenin döküm yöntemi ile üretim parametrelerini göstermektedir.

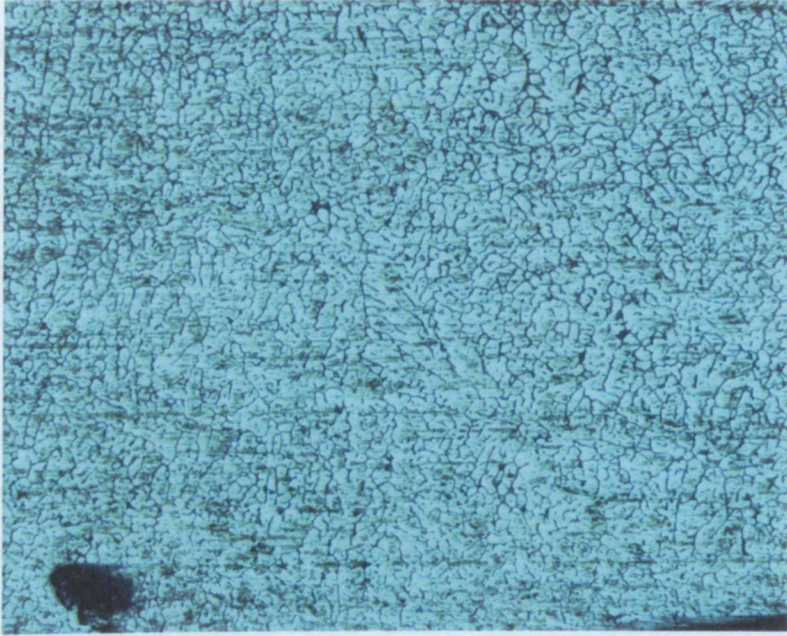
Çizelge 8.7 Yapılan dökümün parametreleri

Katılan Alüminyum Alaşımı (g)	Katılan Silisyum Karbür (g)	Gaz Alma (°C)	Karıştırma Hızı (rpm)	Karıştırma Süresi (dak)	Döküm Sıcaklığı (°C)
511	80,38	900	500	5	750

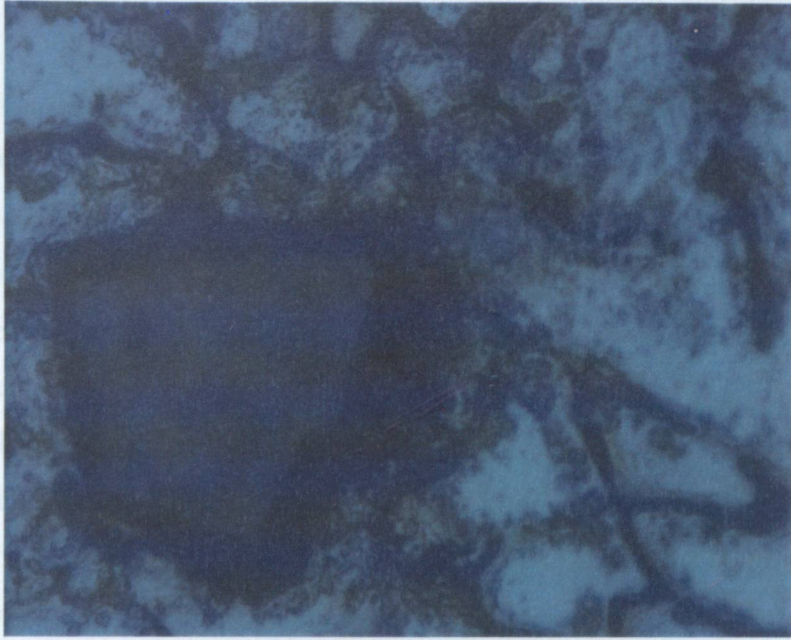
Çizelge 8.7'deki üretim parametrelerine bağlı olarak yarı katı faz civarında dökülerek üretilmiş silisyum karbür takviyeli alüminyum matriks kompozit numunelerin mikro yapıları şekil 8.22, 8,23 ve 8,24'de gösterilmiştir. Şekil 8.22'de numunenin merkez bölgesi (X50) büyütme ile fotoğraflanmıştır. Bu mikro yapıdan da görüldüğü üzere SiC partikülü yapıya oldukça az karışmıştır ve merkez bölgesindeki dağılımı homojen değildir.



Şekil 8.22 500 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 750 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune merkez bölgesi (50X) büyütme



Şekil 8.23 500 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 750 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune kenar bölgesi (50X) büyütme



Şekil 8.24 500 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 750 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK silisyum karbür partikülü (500X) büyütme

Şekil 8.23 numunenin kenar bölgesinden alınmış bir mikro yapı fotoğrafını göstermektedir. Merkez bölgede dağılımı sağlanamayan SiC partiküllerinin kenar bölgelerde de yapı içerisinde yer almadığı ve homojenlik sağlanamadığı görülmektedir. Şekil 8.24’de ise yapıya karışmış SiC partikülünün ve matriks fazının (500X) büyütmede fotoğrafı alınmıştır.

Mikro yapı fotoğraflarının hepsinden anlaşılacağı gibi yarı katı fazda gerçekleştirilen döküm, silisyum karbür partiküllerinin homojen dağılımının ve yapıya gerektiği kadar karışmasının sağlanamamasından dolayı, amacına ulaşamamıştır. Döküm parametreleri açısından yapılan değerlendirmeler sonucunda; sonraki döküm denemelerinde karıştırma hızının düşürülmesi gerektiğine karar verilmiştir. Bu kararda; silisyum partiküllerinin yüksek hızda özellikle kenar bölgelere yerleşmesi ve yapının dışarısına yönelmesi en önemli etken olmuştur.

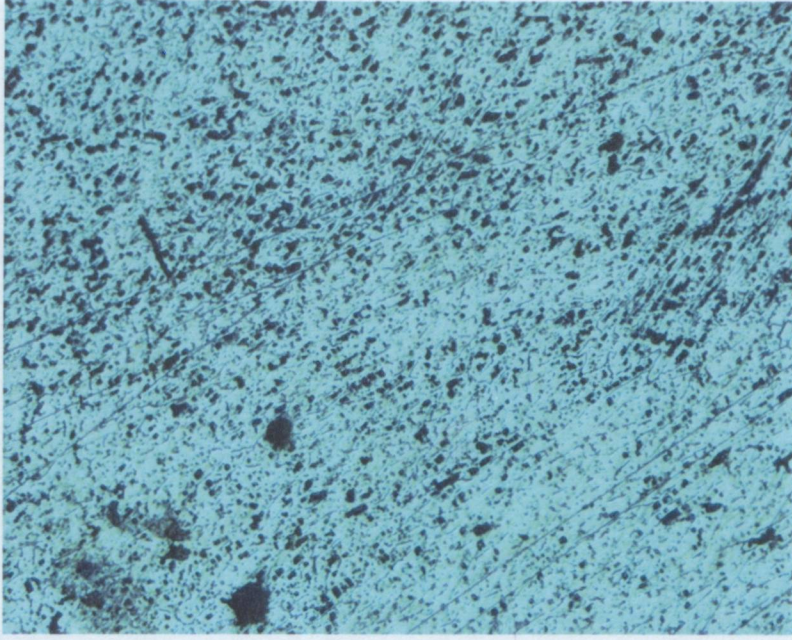
Döküm çalışmalarının en başında belirtildiği gibi silisyum partiküllerinin alüminyum matriks tarafından ıslatılmasında oluşan zorluğun giderilmesi için silisyum karbür partikülleri oksitlenmiştir. İlk döküm deneyleri oksitlenmiş silisyum partikülleri ile yapılmıştır. Döküm parametrelerinden karıştırma hızının düşürülmesiyle birlikte, oksitlenme ile tezinin yanlış olmasına ihtimaline karşılık, oksitlenmemiş SiC partikülleri kullanılmasına karar verilerek sonraki döküme geçilmiştir.

Matriks malzemesi olarak kullanılacak alüminyum alaşımının ağırlığı 500 g olarak belirlenmiştir, potaya uygun ebatlarda atölyede kesilmiştir. Hacimsel olarak % 12 silisyum karbür partikülü ile takviye edebilmek için ağırlık olarak eklenmesi gereken silisyum karbür 79,54 g olarak hesap edilmiştir. Hazırlanan alüminyum pota içerisine yerleştirilip elektrik ocağı çalıştırılmıştır. Sıcaklık kontrolü lazer cihazı ile yapılmış ve 900°C de gaz alınmıştır. Gaz alma işlemini takiben oksitlenmemiş silisyum karbür takviye malzemesi ergiyik alüminyum alaşımına 1000 °C de eklenmiş ve kısa bir manuel karıştırma yapılmıştır. Manuel karıştırmanın hemen ardından mekanik karıştırma tatbik edilmiş ve mekanik karıştırma 250 rpm hızda 5 dakika süreyle sürdürülmüştür. Döküm işlemi de yaklaşık 1000 °C de gerçekleştirilmiştir. Numuneler oda sıcaklığına soğutulmuştur. Soğuyan numuneler 5 parçaya bölünerek numune hazırlama işlemine geçilmiştir. Numune hazırlama işleminde sırasıyla; 60, 120, 180, 240, 320, 400, 600, 800, 1000 ve 1200' lük zımparalar kullanılmıştır. Alümina ve elmas pasta ile parlatma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Keller ile dağlama işlemi yapılarak, elde edilen numunelerin ışık metal mikroskopunda alınan fotoğrafları ile mikro yapıları tetkik edilmiştir. Çizelge 8.8 oksitlenmemiş silisyum karbür takviyeli alüminyum matriksli kompozit malzemenin döküm yöntemi ile üretim parametrelerini göstermektedir.

Çizelge 8.8 Yapılan dökümün parametreleri

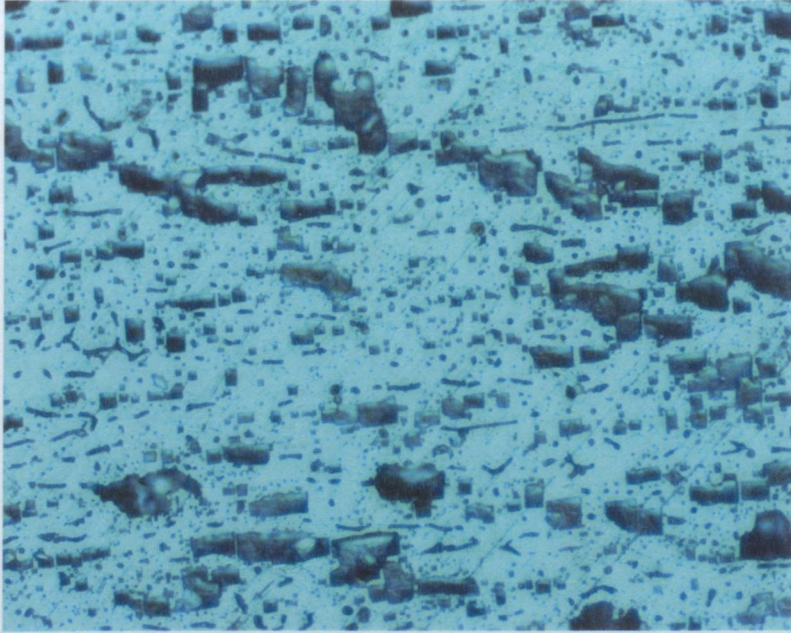
Katılan Alüminyum Alaşımı (g)	Katılan Silisyum Karbür (g)	Gaz Alma (°C)	Karıştırma Hızı (rpm)	Karıştırma Süresi (dak)	Döküm Sıcaklığı (°C)
500	79,54	900	250	5	1000

Çizelge 8.8'deki üretim parametrelerine bağlı olarak 1000 °C'de dökülerek üretilmiş oksitlenmemiş silisyum karbür takviyeli alüminyum matriks kompozit numunelerin mikro yapıları şekil 8.25, 8.26, 8.27, 8.28 ve 8.29'da gösterilmiştir. Şekil 8.25'de numunenin merkez bölgesi (X50) büyütme ile fotoğraflanmıştır. Bu yapıdan da görüldüğü üzere, oksitlenmemiş SiC partikülü sadece birkaç adet olarak yapıya karışmıştır ve homojenlik de görülmemektedir.

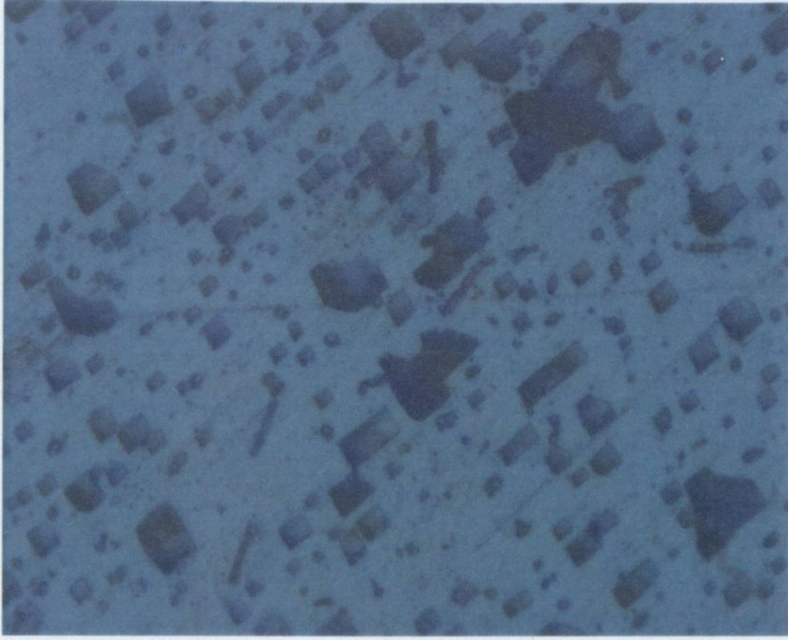


Şekil 8.25 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmemiş SiC takviyeli AMK numune merkez bölgesi (50X) büyütme

Şekil 8.26’da oksitlenmemiş SiC takviyeli alüminyum matriks kompozit numunenin merkez bölgesinin (200X) büyütmede yapısı incelenmiştir. Yapıya oksitlenmemiş SiC’in çok az karıştığı ve genel olarak matriks fazının belirgin olduğu görülmüştür.

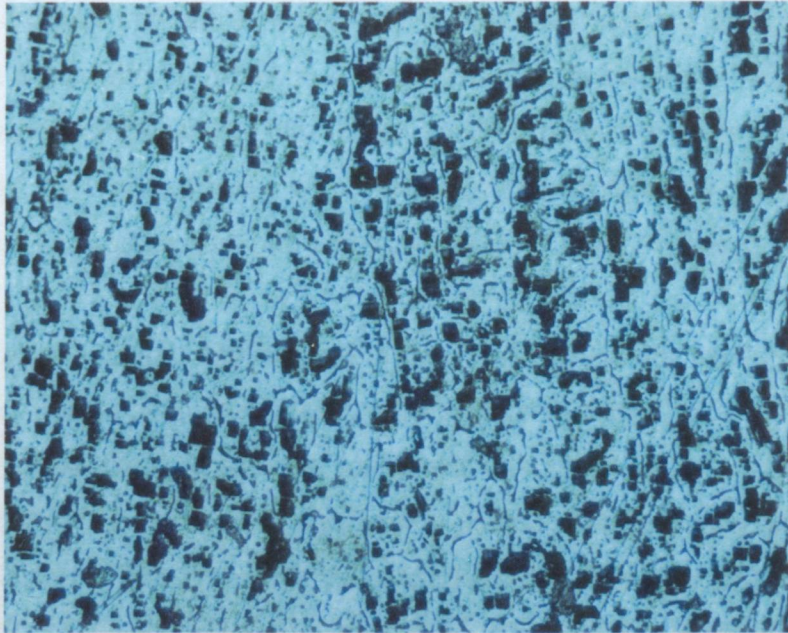


Şekil 8.26 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmemiş SiC takviyeli AMK numune merkez bölgesi (200X) büyütme

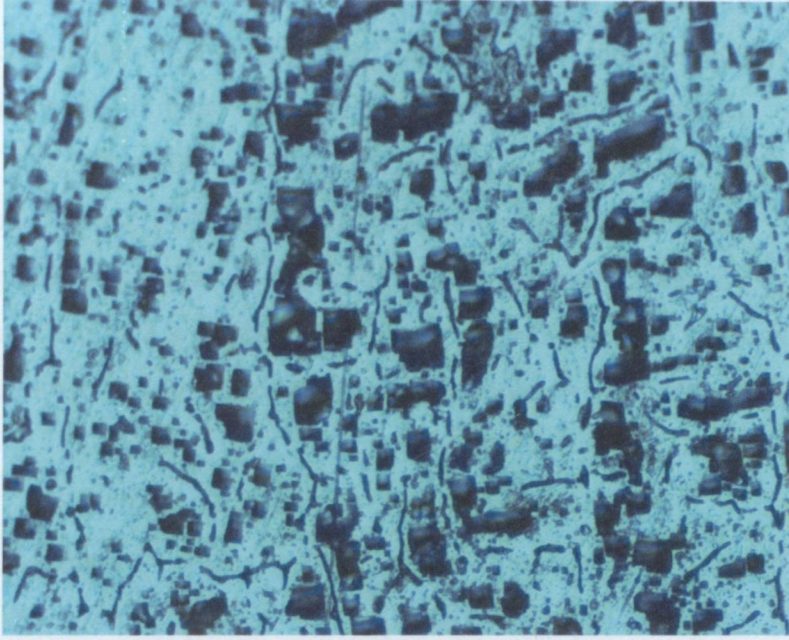


Şekil 8.27 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dökülmüş, oksitlenmemiş SiC takviyeli AMK numune merkez bölgesi (500X) büyütme

Şekil 8.27'de oksitlenmemiş SiC takviyeli alüminyum matriks kompozit numunenin merkezindeki matriks fazı (500X) büyütmede görülmektedir. Şekil 8.28'de ise oksitlenmemiş SiC takviyeli alüminyum matriks kompozit numunenin kenar bölgesinin yapısı görülmektedir, karışım bu bölge içinde çok başarılı olamamıştır.



Şekil 8.28 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dökülmüş, oksitlenmemiş SiC takviyeli AMK numune kenar bölgesi (100X) büyütme



Şekil 8.29 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmemiş SiC takviyeli AMK numune kenar bölgesi (200X) büyütme

Şekil 8.29 oksitlenmemiş SiC takviyeli alüminyum matriks kompozit numunenin kenar bölgesinin (200X) büyütmede gözüken yapısıdır. Matriks fazı gözükmektedir.

Yukarıdaki mikro yapılardan da görüldüğü gibi oksitlenmemiş silisyum karbür partikülleri sadece birkaç tane dışında yapıya karışmamıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde döküm sırasındaki 250 Rpm’lik karıştırma hızının daha evvelki 400 Rpm’lik karıştırma hızına göre silisyum karbürlerin kenarlara yapının dışarısına kaçmasına izin vermeyecek bir hız olduğu gözlemlenmiştir ve bir sonraki dökümün parametreleri bu gözlemlere göre belirlenerek oksitlenmiş silisyum karbür kullanılmasına ve karıştırma hızının 250 Rpm olmasına karar verilmiştir.

Matriks malzemesi olarak kullanılacak alüminyum alaşımının ağırlığı 628 g olarak belirlenmiştir, potaya uygun ebatlarda atölyede kesilmiştir. Hacimsel olarak % 12 silisyum karbür partikülü ile takviye edebilmek için ağırlık olarak eklenmesi gereken silisyum karbür 100 g olarak hesap edilmiştir. Hazırlanan alüminyum alaşımı SiC pota içerisine yerleştirilip elektrik ocağı çalıştırılmıştır. Sıcaklık kontrolü lazer cihazı ile yapılmış ve 900°C de gaz alınmıştır. Gaz alma işlemini takiben oksitlenmiş silisyum karbür takviye malzemesi ergiyik alüminyum alaşımına 1000 °C de eklenmiş ve kısa bir manuel karıştırma yapılmıştır. Manuel karıştırmanın hemen ardından mekanik karıştırma tatbik edilmiş ve mekanik karıştırma 250 rpm hızda 5 dakika süreyle

sürdürülmüştür. Döküm işlemi de yaklaşık 1000 ° C de gerçekleştirilmiştir. Numuneler oda sıcaklığına soğutulmuştur. Soğuyan numuneler 5 parçaya bölünerek numune hazırlama işlemine geçilmiştir. Numune hazırlama işleminde sırasıyla; 60, 120, 180, 240, 320, 400, 600, 800, 1000 ve 1200' lük zımparalar kullanılmıştır. Alümina ve elmas pasta ile parlatma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Keller ile dağlama işlemi yapılarak, elde edilen numunelerin ışık metal mikroskobunda alınan fotoğrafları ile mikro yapıları tetkik edilmiştir. Çizelge 8.9 oksitlenmiş silisyum karbür takviyeli alüminyum matriksli kompozit malzemenin döküm yöntemi ile üretim parametrelerini göstermektedir.

Çizelge 8.9 Yapılan dökümün parametreleri

Katılan Alüminyum Alaşımı (g)	Katılan Silisyum Karbür (g)	Gaz Alma (°C)	Karıştırma Hızı (rpm)	Karıştırma Süresi (dak)	Döküm Sıcaklığı (°C)
628	100	900	250	5	1000

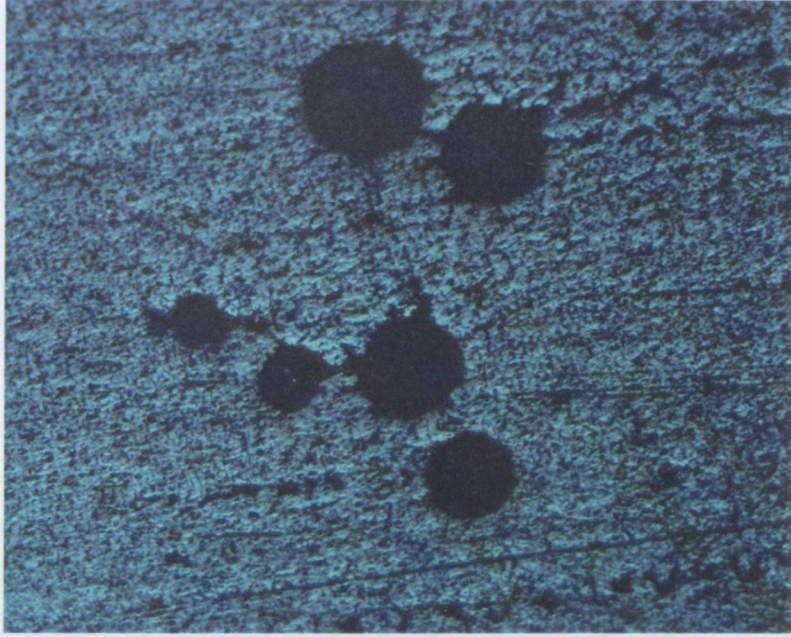
Çizelge 8.9'daki üretim parametrelerine bağlı olarak 1000 °C'de dökülerek üretilmiş oksitlenmiş silisyum karbür takviyeli alüminyum matriks kompozit numunelerin mikro yapıları şekil 8.30 ile 8.49 arasındaki fotoğraflarda gösterilmiştir.

Şekil 8.30 ile şekil 8.41 arasındaki mikro yapı fotoğrafları 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli alüminyum matriks kompozit numunelerinden alınmış boyuna kesitleri göstermektedir. Numuneye SiC partiküllerinin karıştığı bu mikro yapı fotoğrafları ile belirlenmiştir. Ancak numune içerisinde homojen bir karışım gerçekleşip – gerçekleşmediğini tespit etmek üzere numunelerden enine kesitler alınmıştır.

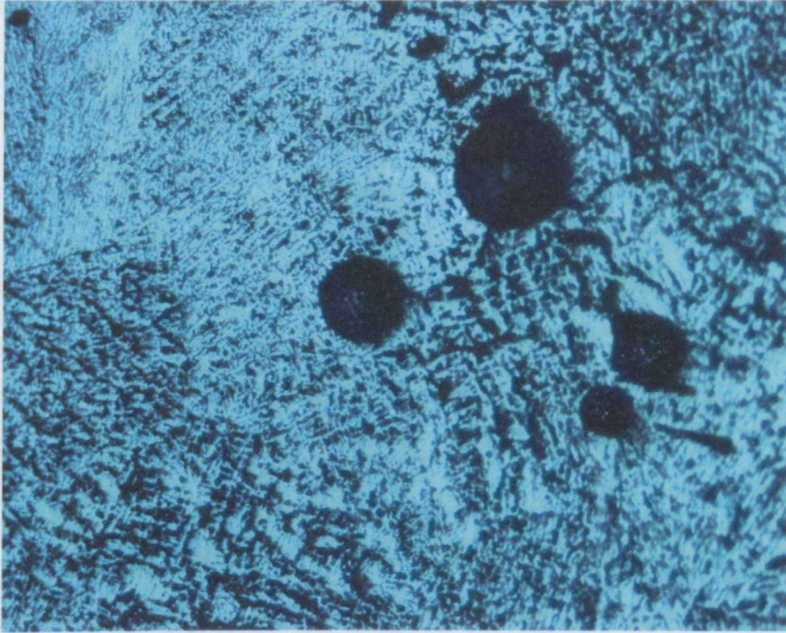
Şekil 8.30'daki mikro yapı, oksitlenmiş silisyum karbür takviyeli alüminyum matriks kompozit numunenin, döküm yapıldığı metal kalıba göre en alt kısımlarının merkez bölgesinden alınmış bir örnektir. Silisyum karbür partikülleri açıkça belli olmaktadır. Geometrilere küresele oldukça yakındır.

Şekil 8.31'deki mikro yapı ise, oksitlenmiş silisyum karbür takviyeli alüminyum matriks kompozit numunenin, döküm yapıldığı metal kalıba göre tam orta kısmının merkez bölgesini göstermektedir. Silisyum karbür partikülleri şekil 8.30' a benzer

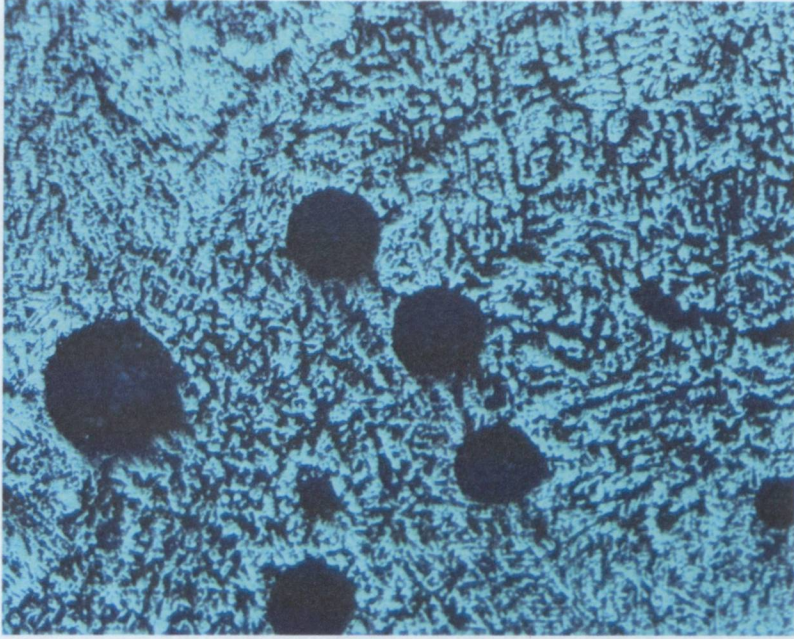
şekilde yapıya karışmıştır. Ayrıca her iki yapı fotoğraflarındaki büyütme oranları da (50X) büyütme olarak aynıdır.



Şekil 8.30 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune boyuna kesit merkez bölgesi (50X) büyütme



Şekil 8.31 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune boyuna kesit merkez bölgesi (50X) büyütme

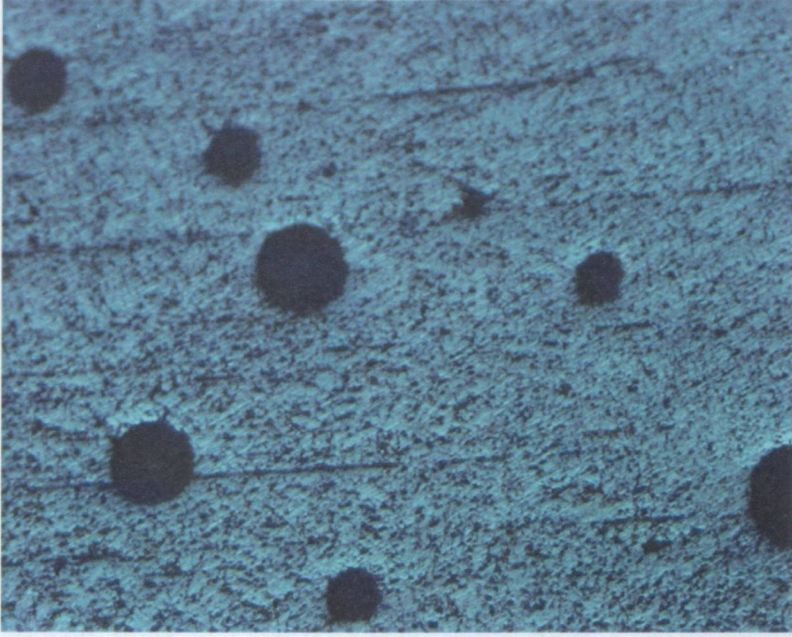


Şekil 8.32 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune boyuna kesit merkez bölgesi (50X) büyütme

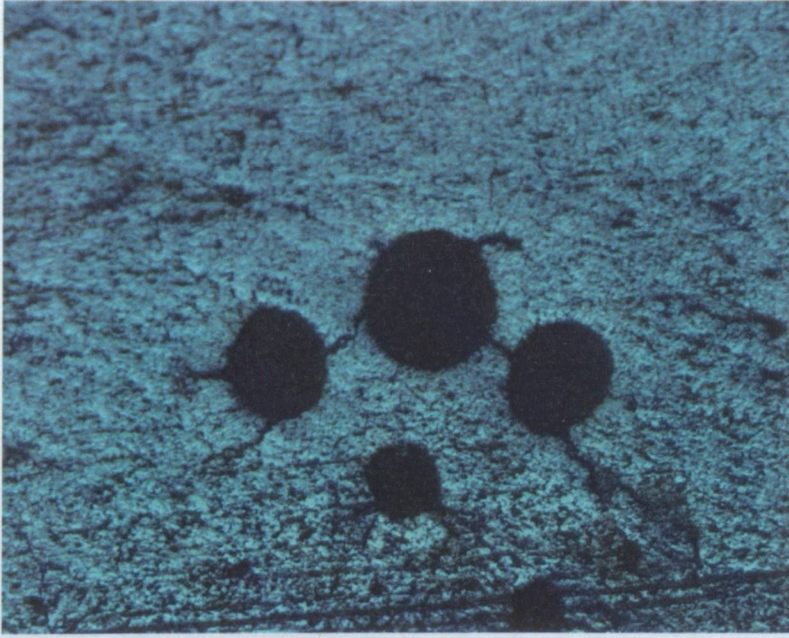
Şekil 8.32’deki mikro yapı, oksitlenmiş silisyum karbür takviyeli alüminyum matriks kompozit numunenin, döküm yapıldığı metal kalıba göre tam en üst kısmının merkez bölgesini göstermektedir. Silisyum karbür partikülleri hemen önceki iki yapıda olduğu gibi net olarak belli olmaktadır. Yapıya karışımları tam homojen değildir. Şekil 8.33,8.34 ve 8.35, yapı fotoğrafları, 8.30,8.31 ve 8.32’de merkez bölgelerde görülen SiC partikül karışımını kıyaslamak amacıyla aynı numunelerin kenar kısımlarından alınmıştır.

Şekil 8.33’de görülen mikro yapı, oksitlenmiş silisyum karbür takviyeli alüminyum matriks kompozit numunenin, döküm yapıldığı metal kalıba göre tam en üst kısmının kenar bölgesini göstermektedir. Bu kenar bölgede silisyum karbür taneleri merkezdekinden biraz daha fazla yerleşmiştir.

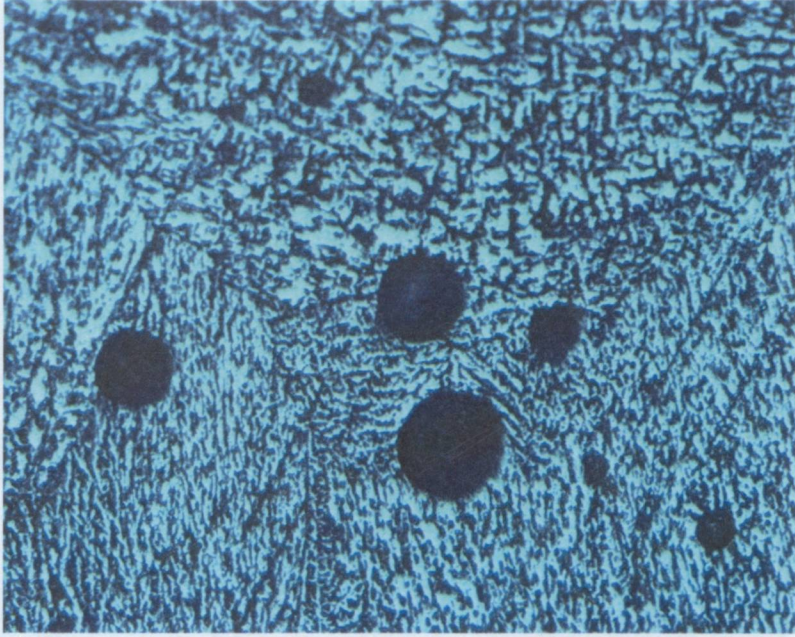
Şekil 8.34, oksitlenmiş silisyum karbür takviyeli alüminyum matriks kompozit numunenin, döküm yapıldığı metal kalıba göre tam en alt kısmının kenar bölgesindeki mikro yapıyı göstermektedir. Bu noktada ki silisyum karbür partiküllerinin dağılımı merkez bölgedeki dağılıma daha yakındır.



Şekil 8.33 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune boyuna kesit kenar bölgesi (50X) büyütme

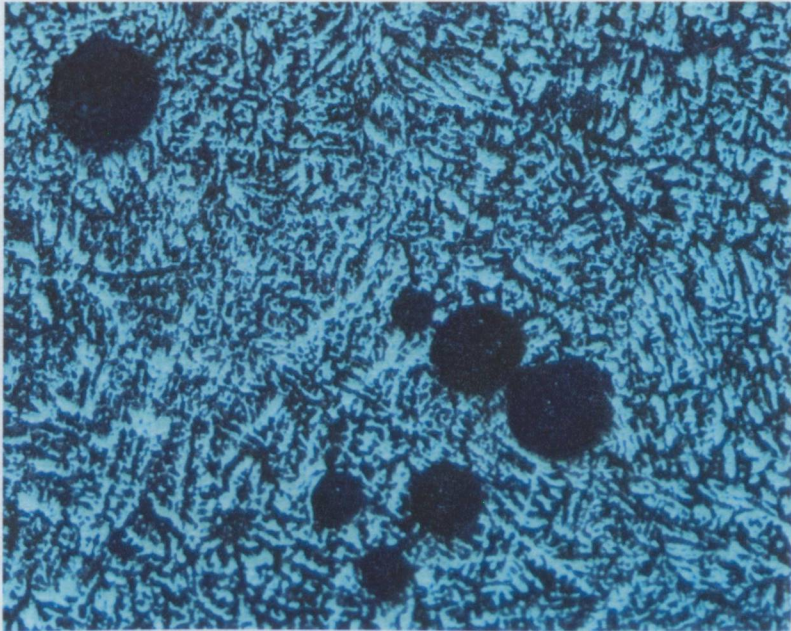


Şekil 8.34 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune boyuna kesit kenar bölgesi (50X) büyütme

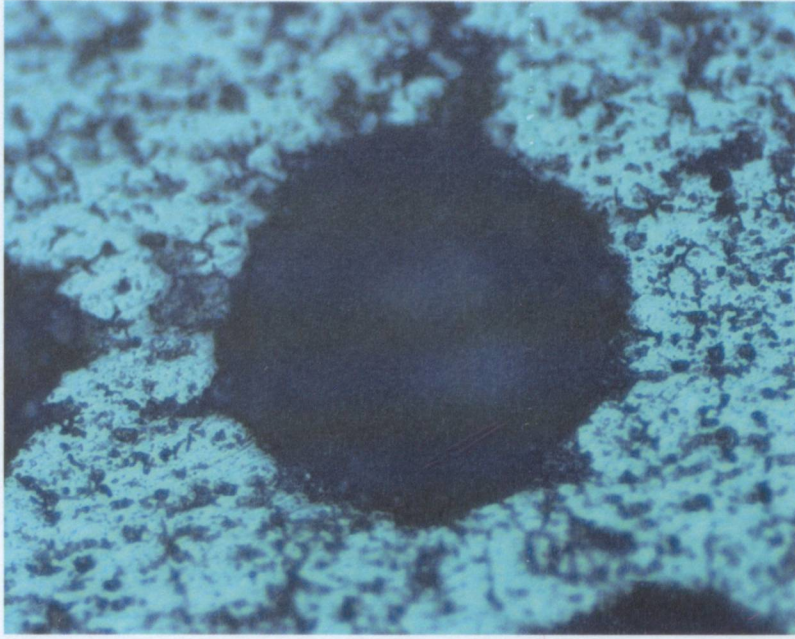


Şekil 8.35 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune boyuna kesit kenar bölgesi (50X) büyütme

Şekil 8.35, oksitlenmiş silisyum karbür takviyeli alüminyum matriks kompozit numunenin, döküm yapıldığı metal kalıba göre tam orta kısmının kenar bölgesindeki mikro yapıyı göstermektedir. Silisyum karbür partikülleri hem merkezdeki hem de aynı numunenin farklı noktalarındaki kenar bölgelerindeki dağılıma benzer bir dağılım göstermektedir. Şekil 8.36 ise şekil 8.35'de mikro yapısı görülen numunenin simetrisinden bir görünüşdür.

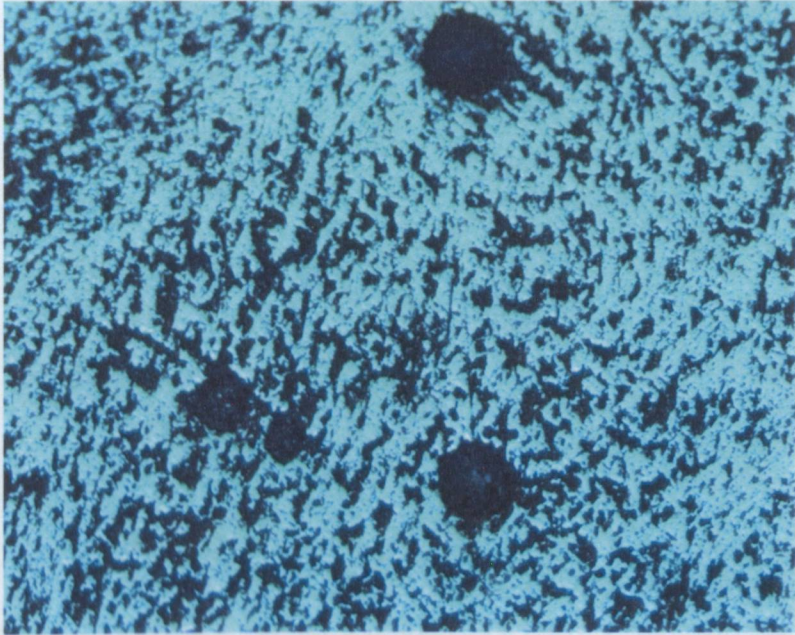


Şekil 8.36 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune boyuna kesit kenar bölgesi (50X) büyütme

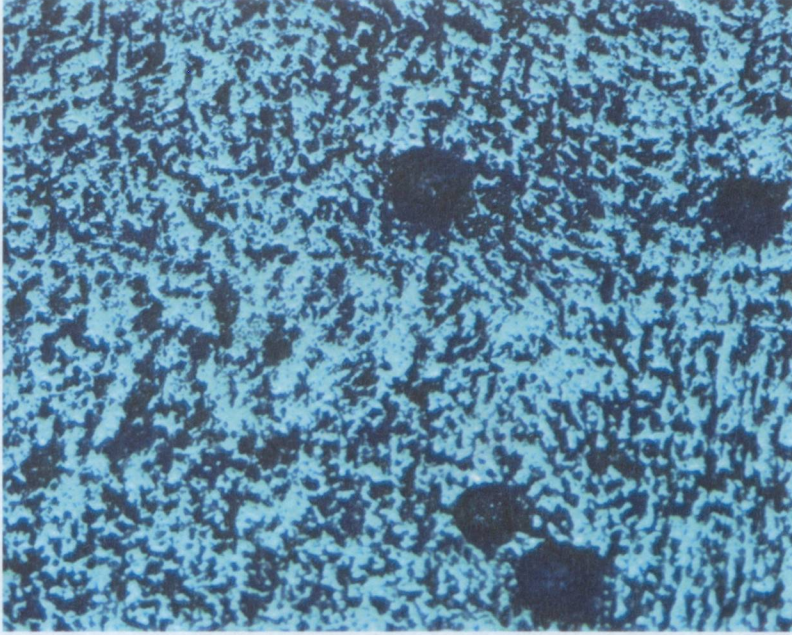


Şekil 8.37 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune boyuna kesit kenar bölgesi (200X) büyütme

Şekil 8.37’ de (200X) büyütmede alüminyum matrikse takviye edilmiş oksitlenmiş silisyum karbür partikülü görülmektedir. Şekil 8.38 oksitlenmiş silisyum karbür takviyeli alüminyum matriks kompozit numunenin, döküm yapıldığı metal kalıba göre en üst noktasının merkezini gösteren bir mikro yapıdır.

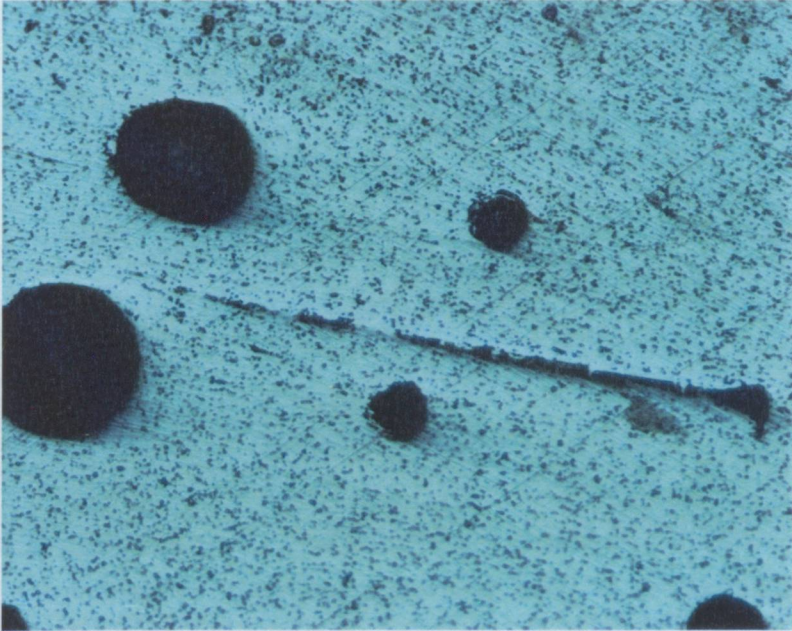


Şekil 8.38 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune boyuna kesit merkez bölgesi (50X) büyütme



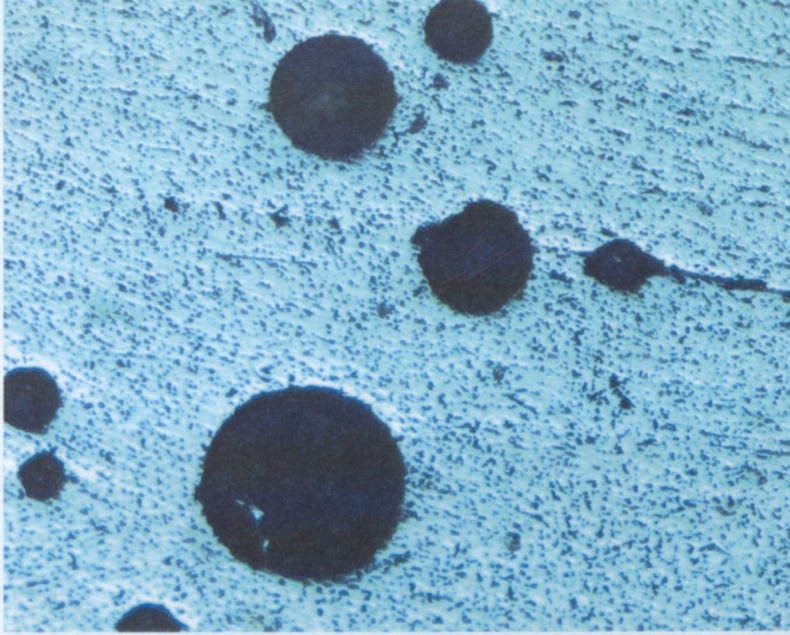
Şekil 8.39 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune boyuna kesit merkez – kenar arası (50X) büyütme

Şekil 8.39'da (50X) büyütmede şekil 8.38'de görülen metal kalıba göre en üst bölgenin merkezini ifade eden mikro yapının, hemen kenar bölgeyle arasında kalan kısmı görülmektedir. Döküm numunesinin metal kalıba göre en alt kısmının merkezini gösteren mikro yapısı ise şekil 8.40'da görülmektedir.

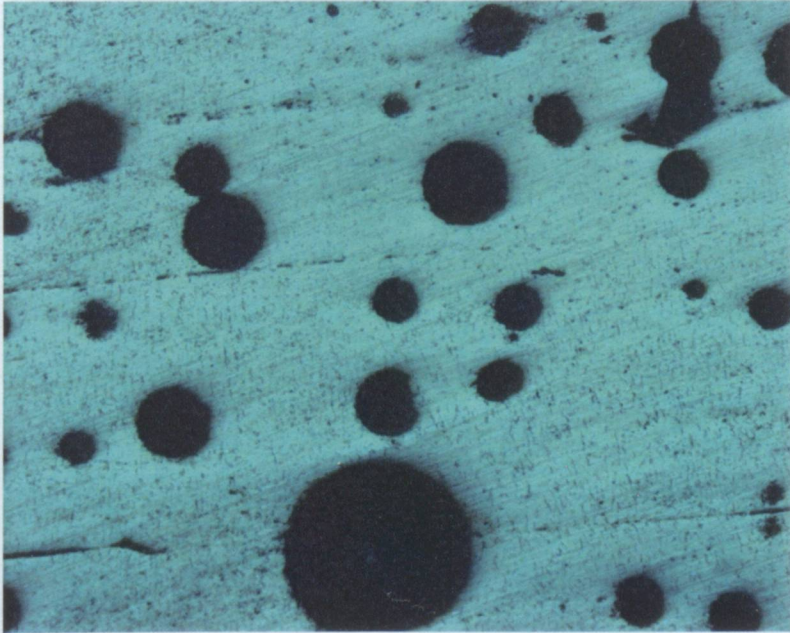


Şekil 8.40 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune boyuna kesit merkez bölgesi (50X) büyütme

Şekil 8.41'deki yapı, şekil 8.40'da gözüken bölge mikro yapısının hemen yan tarafında, kenar bölgesi ile arasında kalan kısmın mikro yapısıdır ve SiC bakımından zengindir.



Şekil 8.41 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune boyuna kesit merkez – kenar arası (50X) büyütme



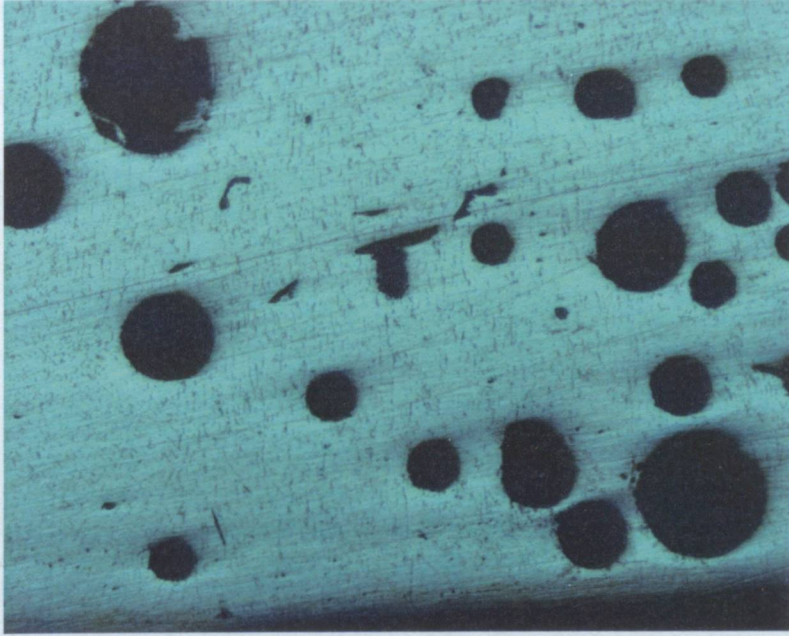
Şekil 8.42 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit merkez bölgesi (50X) büyütme

Şekil 8.42'de oksitlenmiş SiC takviyeli alüminyum matriks kompozit numunesinin merkezinden alınmış bir enine kesit görülmektedir. Görüntüden anlaşıldığı üzere

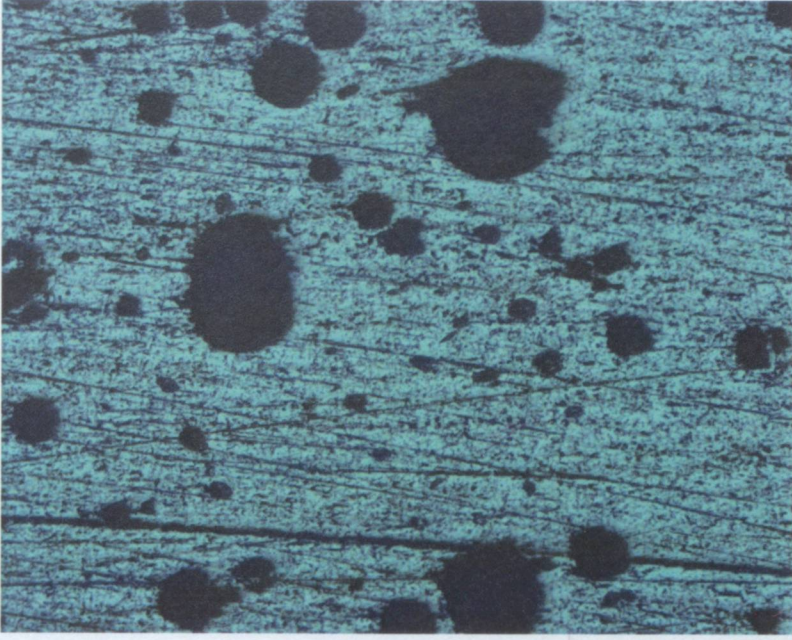
silisyum karbür partikülleri numune boyunca homojen bir karışım göstermişlerdir. Hepsi de, küreselliklerini korumuşlardır.

Şekil 8.43 gene enine bir kesittir ancak bu fotoğraf oksitlenmiş SiC takviyeli alüminyum matriks kompozit numunesinin kenar bölgesinden alınmıştır. Dağılım aynı merkezde olduğu gibi homojendir.

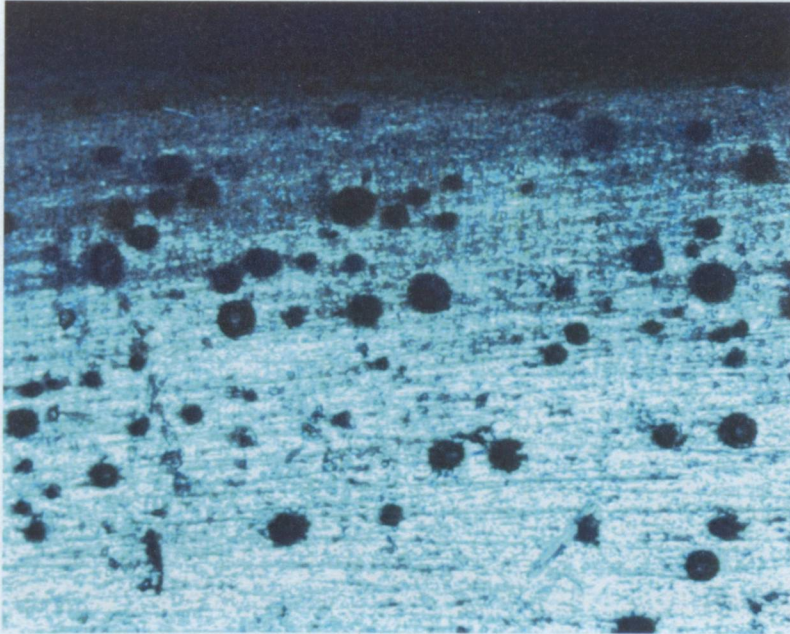
Oksitlenmiş SiC partikülleri ile takviye edilmiş alüminyum matriks kompozitin farklı bir bölgesinin merkez kısmının yapısı şekil 8.44'de görüldüğü gibi fazla sayıda partikül içermektedir.



Şekil 8.43 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit kenar bölgesi (50X) büyütme

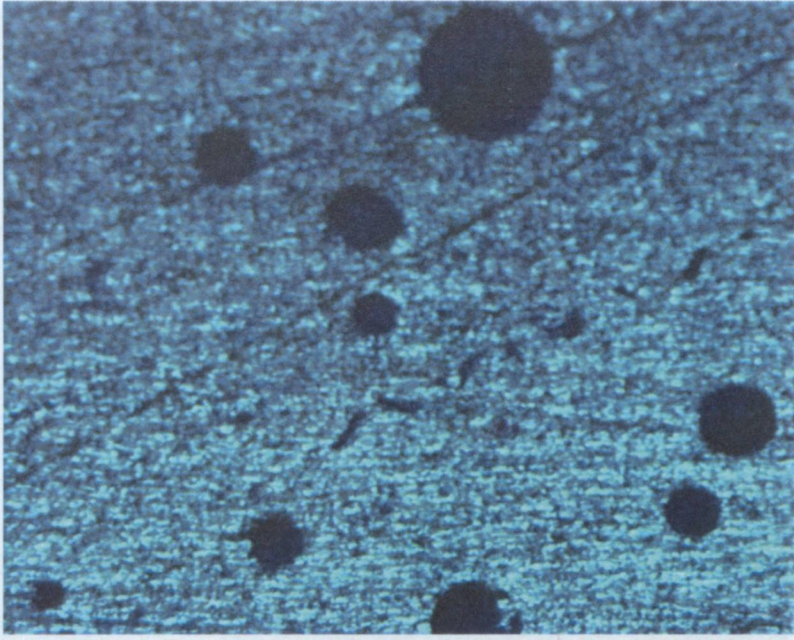


Şekil 8.44 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit merkez bölgesi (50X) büyütme

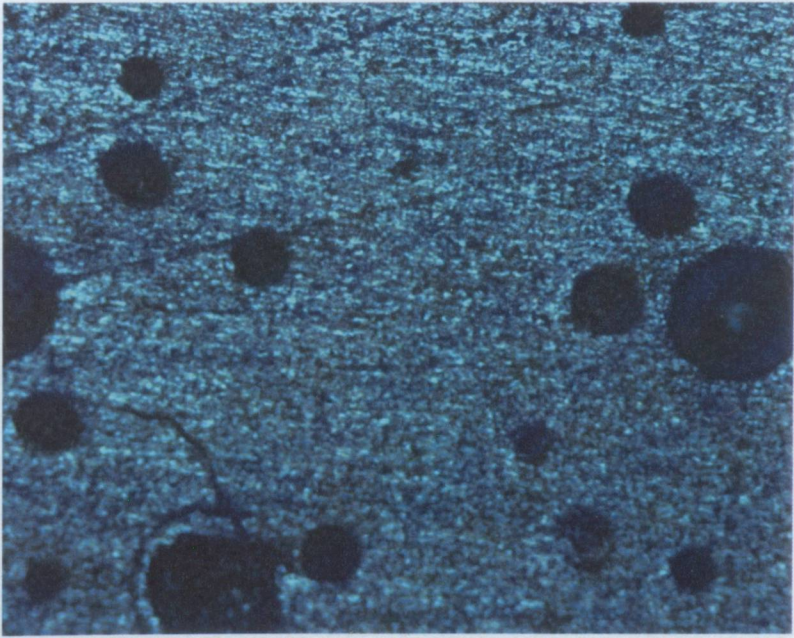


Şekil 8.45 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit merkez bölgesi (50X) büyütme

Şekil 8.45’de dökümün yapıldığı metal kalıba göre, oksitlenmiş SiC takviyeli alüminyum matriks kompozit numunesinin en alt bölümünde kalmış bölgeden alınan bir mikro yapı fotoğrafıdır. Mikro yapı daha ufak SiC partiküllerinden oluşmaktadır, dağılım oldukça homojendir. Bu sayede mekanik özelliklerinde oldukça homojen olması gerekmektedir.

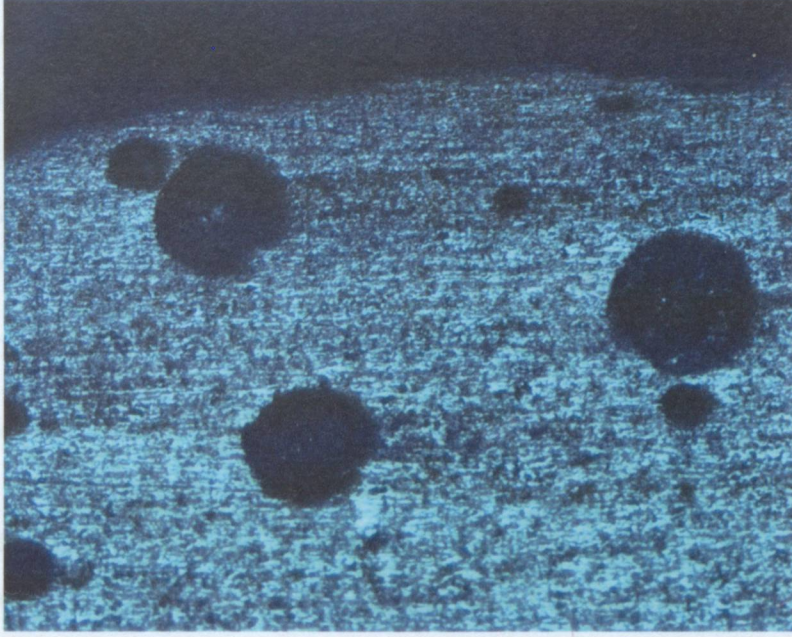


Şekil 8.46 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit merkez bölgesi (50X) büyütme



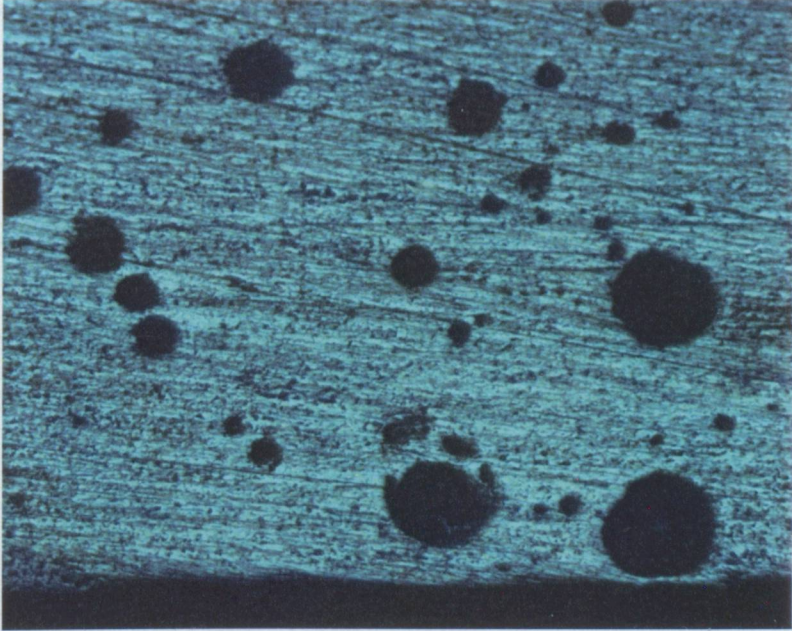
Şekil 8.47 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit merkez bölgesi (50X) büyütme

Şekil 8.46, 8.47 ve 8.48'de dökümün yapıldığı metal kalıba göre, oksitlenmiş SiC takviyeli alüminyum matriks kompozit numunesinin orta bölümünde kalmış birbirinden farklı üç bölgeyi temsil eden mikro yapılardır. SiC partikülleri homojene yakın dağılmışlardır. Taneler kenar bölgelere oranla nispeten büyüktür.



Şekil 8.48 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit merkez bölgesi (50X) büyütme

Bir başka kenar bölge mikro yapısı yapı hemen aşağıdaki şekil 8.49'da görülmektedir. SiC partikül dağılımı her noktada neredeyse eşittir.



Şekil 8.49 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit kenar bölgesi (50X) büyütme

Işık metal mikroskobu sayesinde mikro yapı üzerinde yapılan incelemelerde, oksitlenmiş silisyum karbür daha düşük karıştırma hızında yapıya daha fazla karışmıştır. Enine kesitlerde görüldüğü gibi yapıya karışan silisyum karbürler mümkün olduğunca

homojen dağılmışlardır. Numunelerin kenar, merkez ve merkez – kenar arası bölgelerinde ortaya çıkan mikro yapılarda oksitlenmiş SiC partiküllerinin dağılımı birbirine oldukça yakındır. Döküm parametrelerinden karıştırma hızı; 250 Rpm sabit tutularak ağırlıkça daha büyük bir kompozit dökülmesi ve bu döküm içerisinde istenilen vorteksin oluşturulup – oluşturulamayacağının gözlemlenmesi ve zorlaşan karıştırma şartlarının kompozitin kalitesine etkisinin değerlendirilmesi için sonraki döküme geçilmiştir.

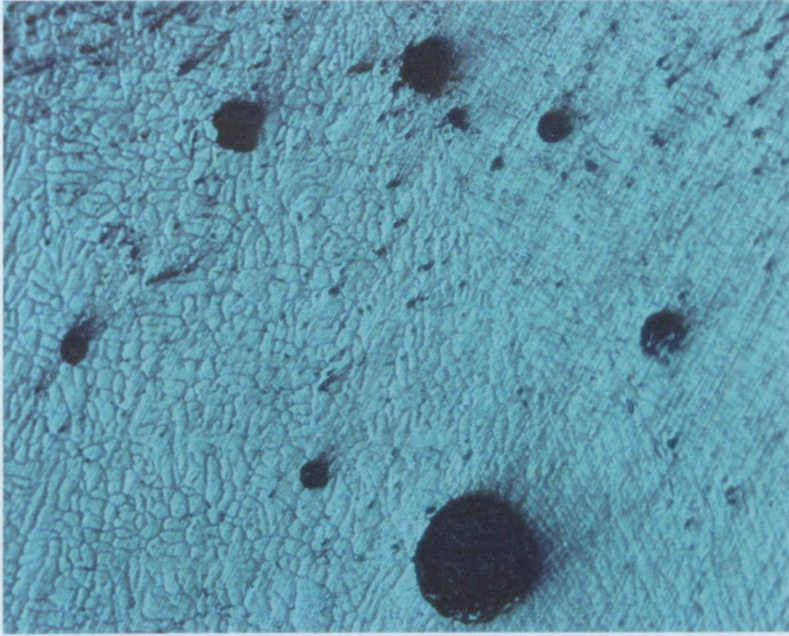
Matriks malzemesi olarak kullanacak alüminyum alaşımının ağırlığı 748 g olarak belirlenmiştir, potaya uygun ebatlarda atölyede kesilmiştir. Hacimsel olarak % 12 silisyum karbür partikülü ile takviye edebilmek için ağırlık olarak eklenmesi gereken silisyum karbür 119 g olarak hesap edilmiştir. Hazırlanan alüminyum pota içerisine yerleştirilip elektrik ocağı çalıştırılmıştır. Sıcaklık kontrolü lazer cihazı ile yapıldı ve 900°C de gaz alınmıştır. Gaz alma işlemini takiben oksitlenmiş silisyum karbür takviye malzemesi ergiyik alüminyum alaşımına 1000 °C de eklenmiş ve kısa bir manuel karıştırma yapılmıştır. Manuel karıştırmanın hemen ardından mekanik karıştırma işlemi tatbik edilmiş ve mekanik karıştırma 250 rpm hızda 5 dakika süreyle sürdürülmüştür. Döküm işlemi yaklaşık 1000 ° C de gerçekleştirilmiştir. Numuneler oda sıcaklığına soğutulmuştur. Soğuyan numuneler 5 parçaya bölünerek numune hazırlama işlemine geçilmiştir. Numune hazırlama işleminde sırasıyla; 60, 120, 180, 240, 320, 400, 600, 800, 1000 ve 1200' lük zımparalar kullanılmıştır. Alümina ve elmas pasta ile parlatma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Keller ile dağlama işlemi yapılarak, elde edilen numunelerin ışık metal mikroskobunda alınan fotoğrafları ile mikro yapıları tetkik edilmiştir. Çizelge 8.10 oksitlenmiş silisyum karbür takviyeli alüminyum matriksli kompozit malzemenin döküm yöntemi ile üretim parametrelerini göstermektedir.

Çizelge 8.10 Yapılan dökümün parametreleri

Katılan Alüminyum Alaşımı (g)	Katılan Silisyum Karbür (g)	Gaz Alma (°C)	Karıştırma Hızı (rpm)	Karıştırma Süresi (dak)	Döküm Sıcaklığı (°C)
748	119	900	250	5	1000

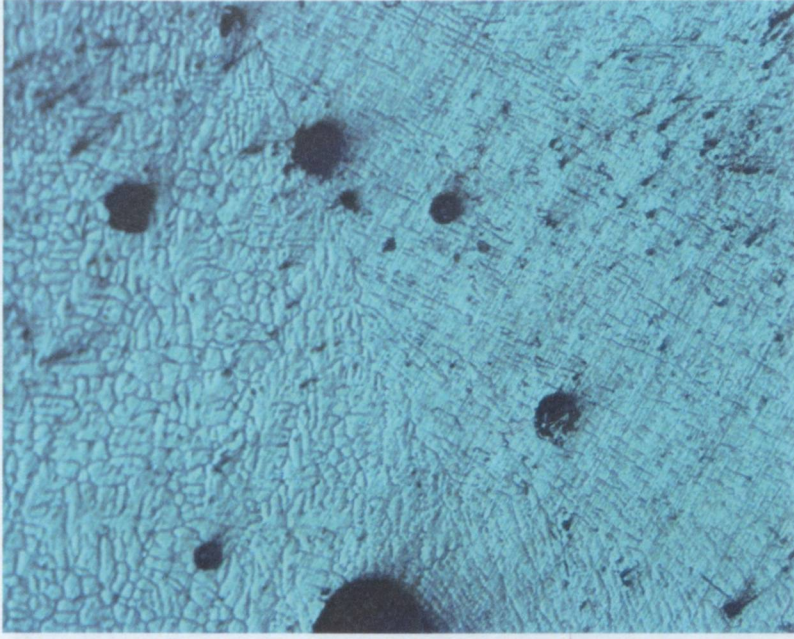
Çizelge 8.10'daki üretim parametrelerine bağlı olarak 1000 °C'de dökülerek üretilmiş oksitlenmiş silisyum karbür takviyeli alüminyum matriks kompozit numunelerin mikro yapıları şekil 8.50 ile 8.65 arasındaki fotoğraflarda gösterilmiştir.

Şekil 8.50 ile şekil 8.52 arasındaki mikro yapı fotoğrafları 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli alüminyum matriks kompozit numunelerinden alınmış boyuna kesitleri göstermektedir. Numune içerisinde homojen bir karışım gerçekleşip – gerçekleşmediğini tespit etmek üzere numunelerden enine kesitler alınmıştır. Bu kesit mikro yapıları da, şekil 8.53 ile şekil 8.65 arasında gösterilmiştir.

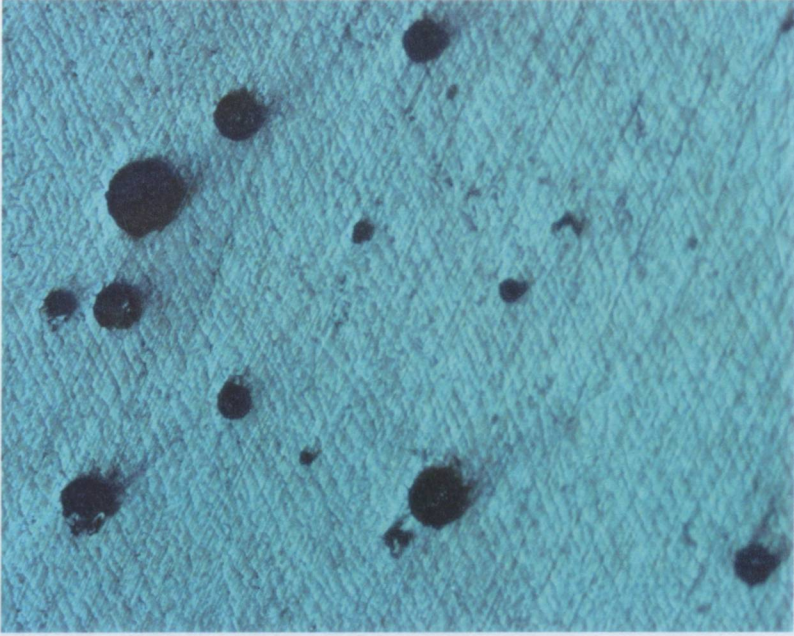


Şekil 8.50 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune boyuna kesit merkez bölgesi (50X) büyütme

Şekil 8.50'de oksitlenmiş SiC takviyeli alüminyum matriks kompozit numunesinin dökümün yapıldığı metal kalıba göre tam orta kısımda kalan bölgesinden boyuna kesit alınmış ve mikro yapısı incelenmiştir. Partiküller çeşitli büyüklükleriyle bu bölgede yerlerini almışlardır. Şekil 8.51'deki kenar bölgedeki mikro yapı içerisinde ise SiC partikülleri benzeri bir dağılım göstermektedirler.



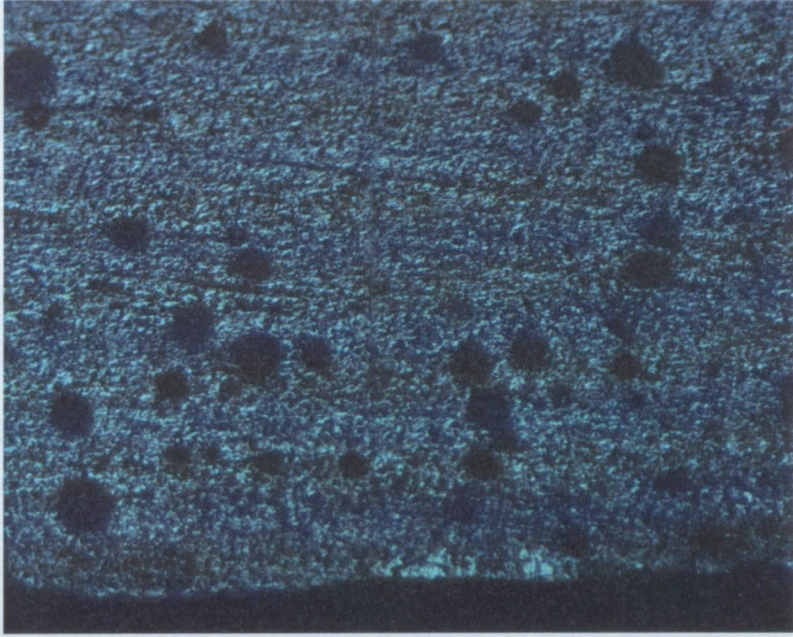
Şekil 8.51 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune boyuna kesit kenar bölgesi (50X) büyütme



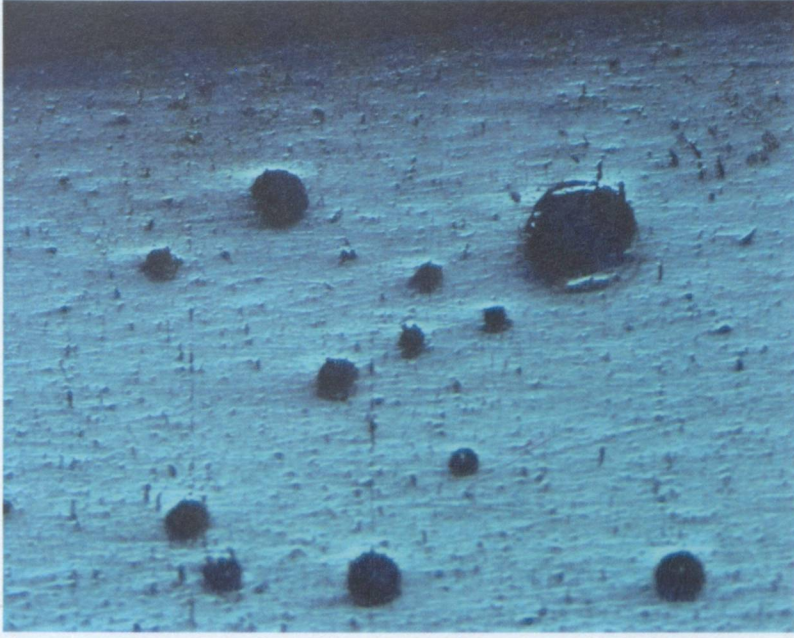
Şekil 8.52 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune boyuna kesit kenar bölgesi (50X) büyütme

Şekil 8.52’de oksitlenmiş SiC takviyeli alüminyum matriks kompozit numunesinin, dökümün yapıldığı metal kalıba göre, en üst kısmında kalan bölgesinden boyuna kesit alınmış ve görüntünün merkezdeki mikro yapıya yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu mikro yapılar numunenin içerisinde SiC partiküllerinin olduğunun anlaşılmasını sağlamış ve enine kesitte partiküllerin dağılımının kontrol edilmesi gerekliliğini ortaya koymuştur.

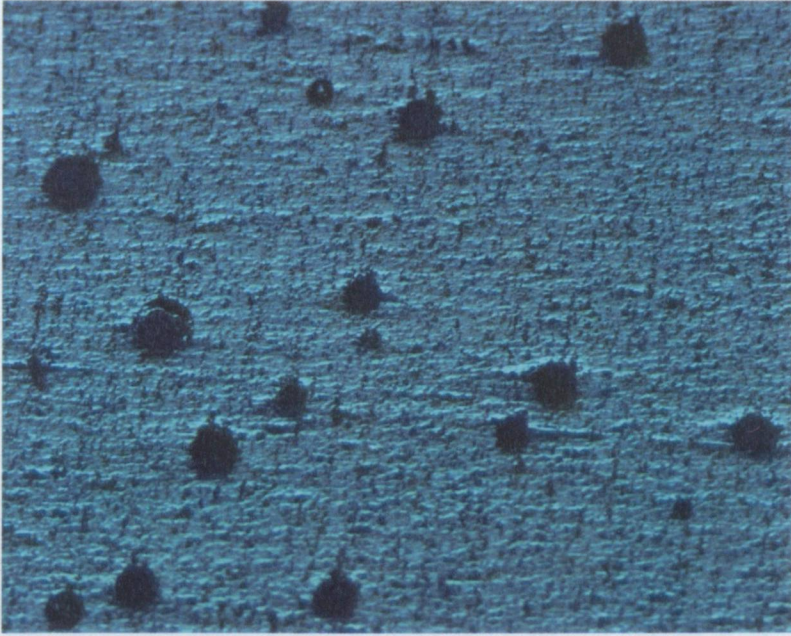
Oksitlenmiş SiC takviyeli alüminyum matriks kompozit numunesinin enine kesitte ilk mikro yapısı şekil 8.53'de görülmektedir. Mikro yapıdan anlaşıldığı üzere SiC partikülleri homojen şekilde yapıya dahil olmuşlardır. SiC partiküllerinin bir çoğunun boyutları birbirine yakın ve küreseldir. Şekil 8.53'deki mikro yapı kenara yakın bir bölgeden alınmıştır. Bu bölgenin simetriği bir noktada gözlemlenen mikro yapı şekil 8.54'de gösterilmiştir. O noktadaki dağılım da homojene yakındır takviye partiküllerinin boyutu nispeten daha büyüktür.



Şekil 8.53 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit kenar bölgesi (50X) büyütme

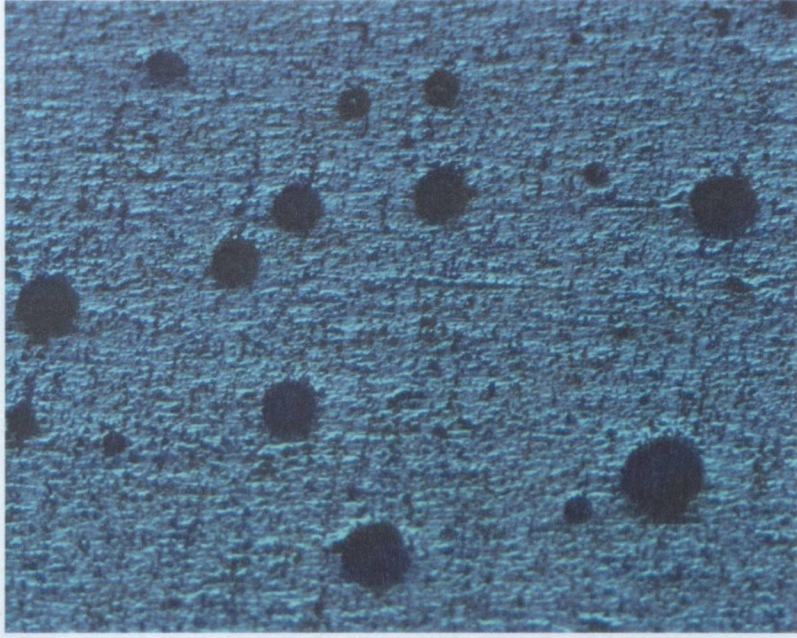


Şekil 8.54 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit kenar bölgesi (50X) büyütme

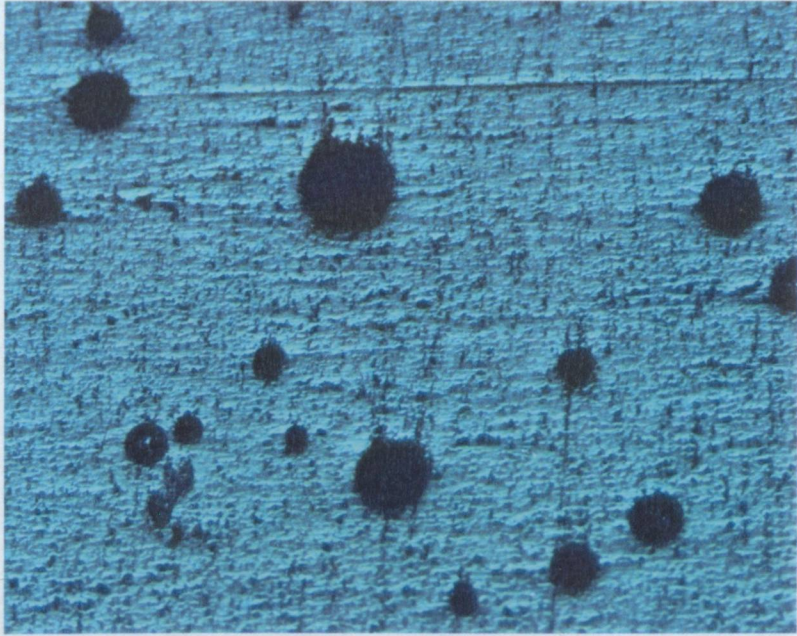


Şekil 8.55 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit merkez bölgesi (50X) büyütme

Şekil 8.55 ve 8.56, şekil 8.54 ve 8.53’ün aksine enine kesitte merkez bölgesinde yer alan mikro yapılardır. Merkez bölgesindeki SiC partikül dağılımı da yaklaşık olarak kenar bölgelerdeki kadardır. Bu mikro yapı fotoğraflarına göre yapıya mümkün olduğunca homojen dağılmış SiC partikülleri kompozitin mekanik özelliklerini olumlu etkileyecektir.



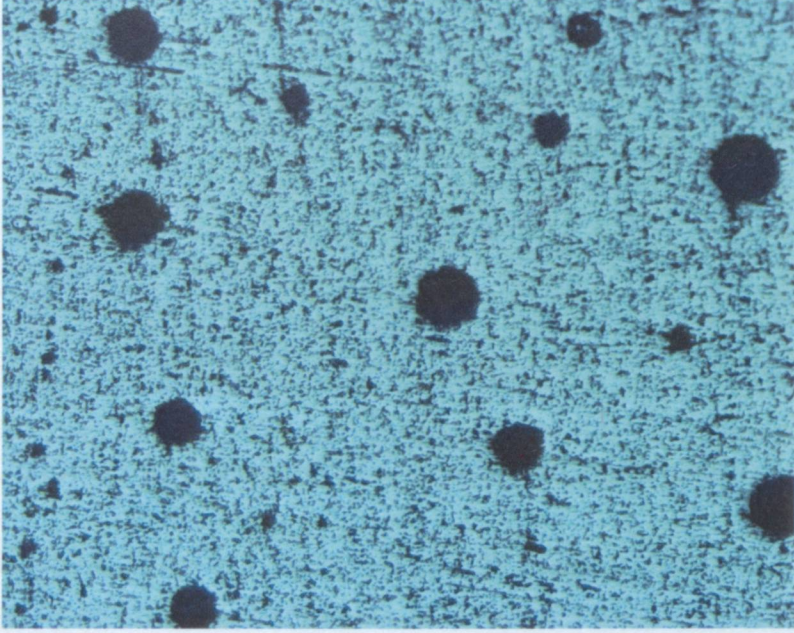
Şekil 8.56 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit merkez bölgesi (50X) büyütme



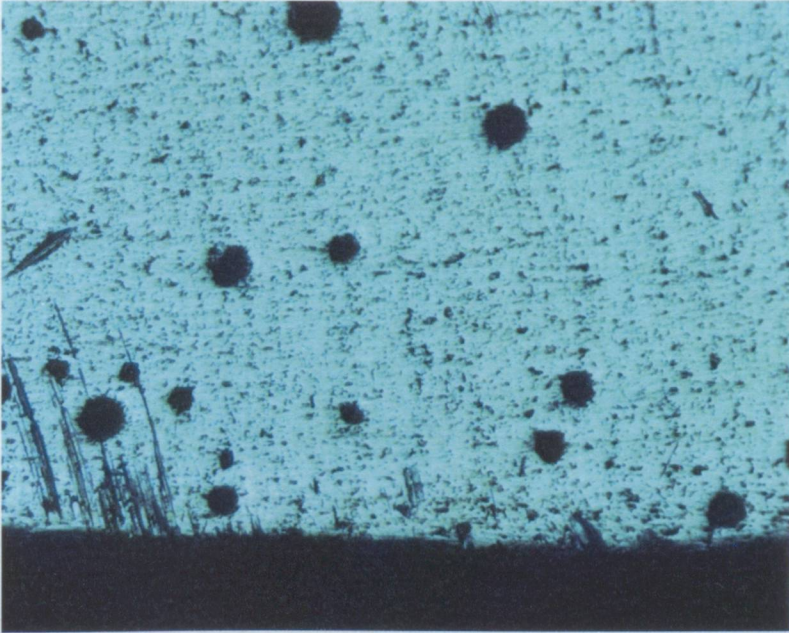
Şekil 8.57 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit merkez bölgesi (50X) büyütme

Şekil 8.57 ve şekil 8.58 birbirini takip eden mikro yapı bölgelerinden alınan fotoğraflardır. Merkez bölgeden alınan görüntü ile kenar bölgeden alınan görüntü birbirini SiC partiküllerinin dağılımı açısından tamamlamaktadırlar ve benzer dağılım göstermektedirler.

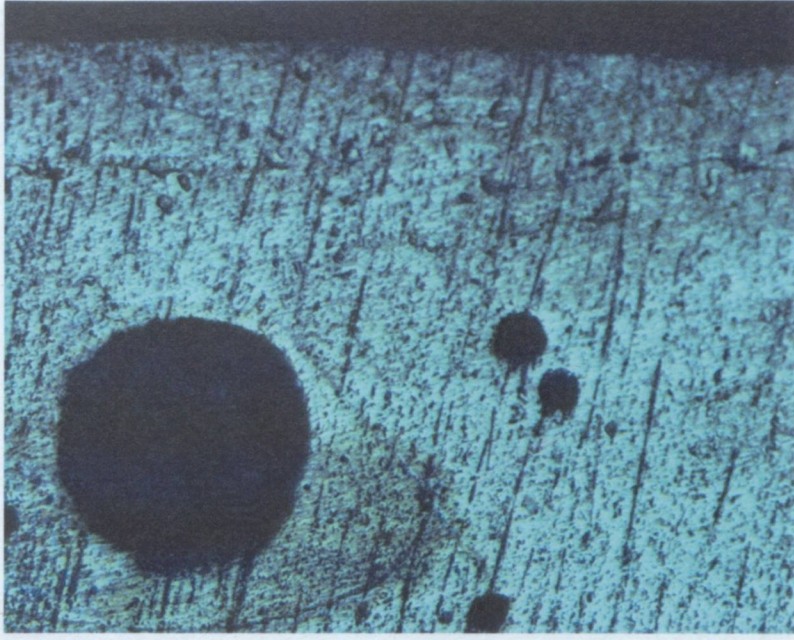
Şekil 8.59 ise 8.58'den farklı bir kenar bölgesinin mikro yapısını içermektedir. Kenar bölgeleri de kendi içlerinde SiC partiküllerinin dağılımı açısından karşılaştırıldığında, mikro yapıları benzerdir ve dağılım mümkün olduğunca homojendir.



Şekil 8.58 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit kenar bölgesi (50X) büyütme

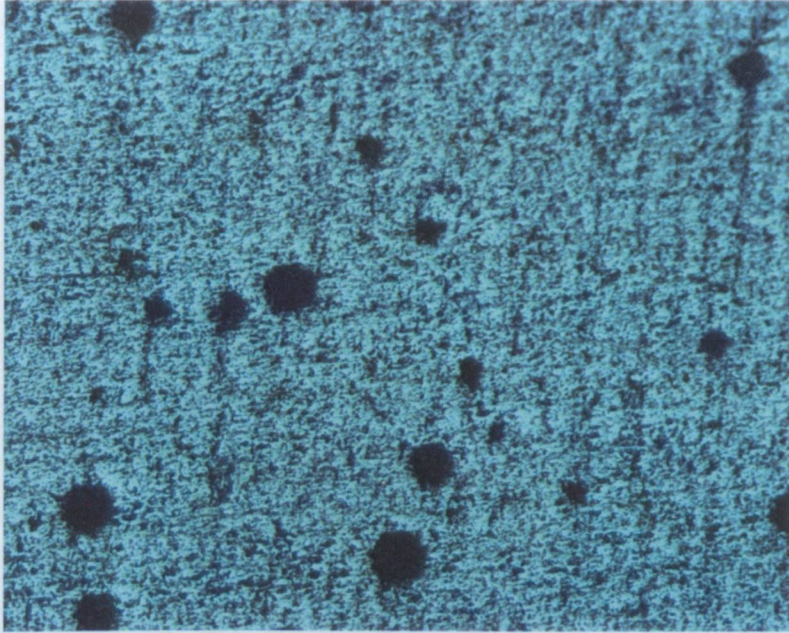


Şekil 8.59 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit kenar bölgesi (50X) büyütme

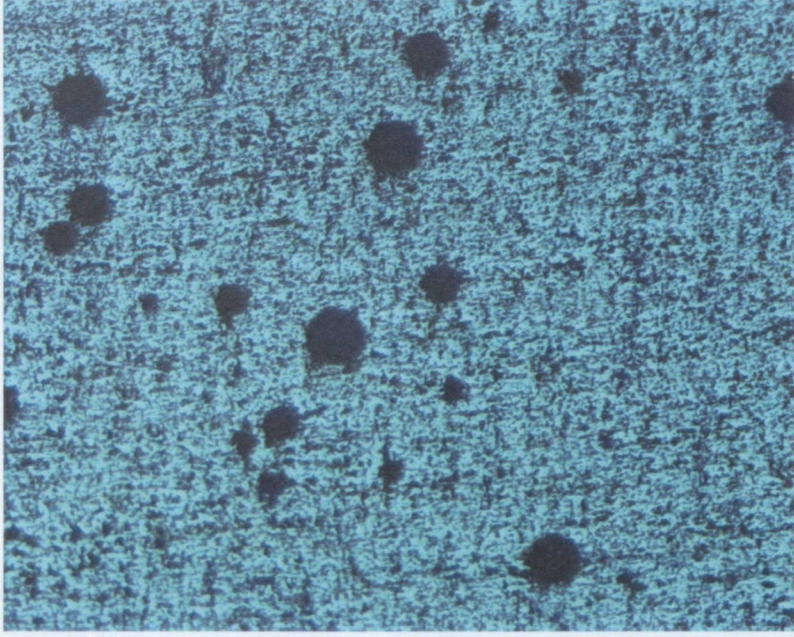


Şekil 8.60 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit kenar bölgesi (50X) büyütme

Şekil 8.60'da enine kesit için kenar bölgesinde oldukça büyük bir SiC partikülü görülmektedir. Farklı bir merkez bölgesindeki bir mikro yapıda şekil 8.61'deki gibidir.

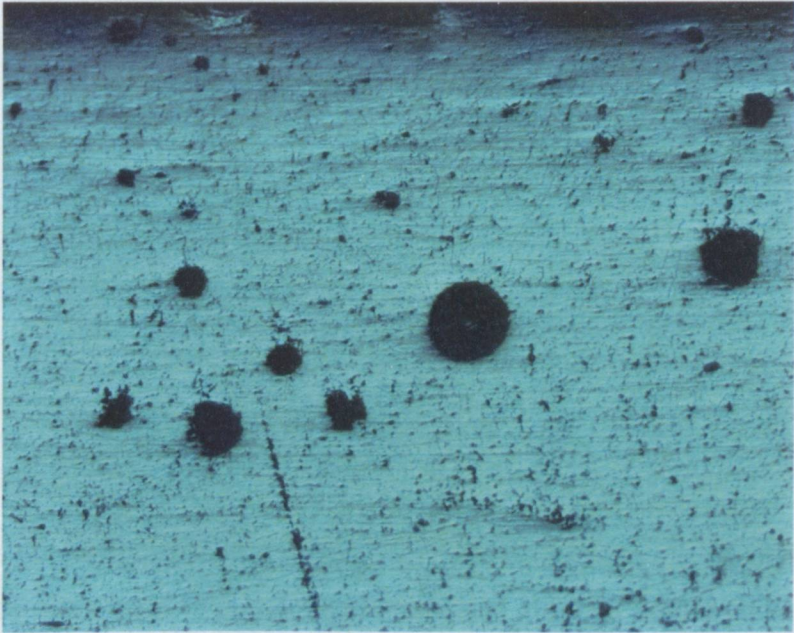


Şekil 8.61 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit merkez bölgesi (50X) büyütme

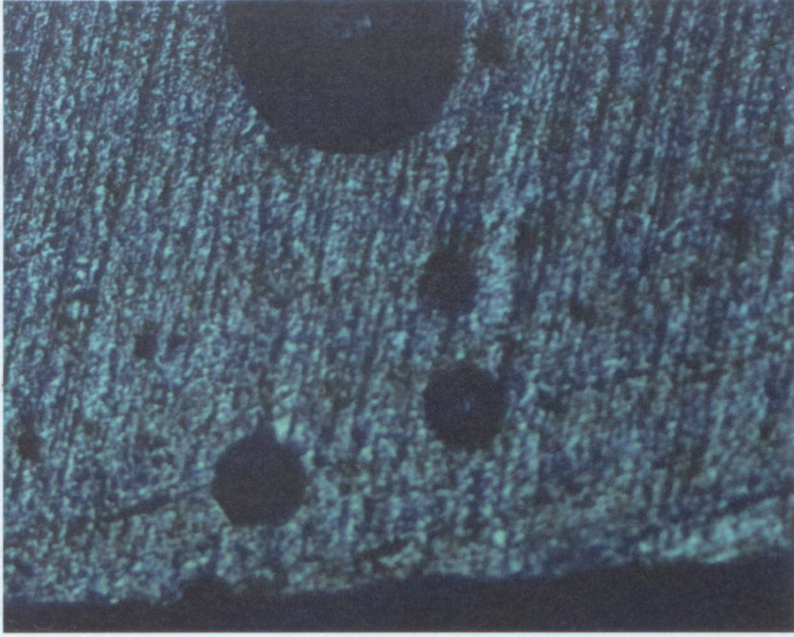


Şekil 8.62 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit merkez bölgesi (50X) büyütme

Şekil 8.62'de hemen şekil 8.61'deki mikro yapı bölgesinin hemen yanından alınmış bir mikro yapı görülmektedir. Oksitlenmiş SiC partikül takviyeli alüminyum matriks kompozit numunenin enine kesitinde bir başka kenar bölgesi ise şekil 8.63'de görülmektedir.

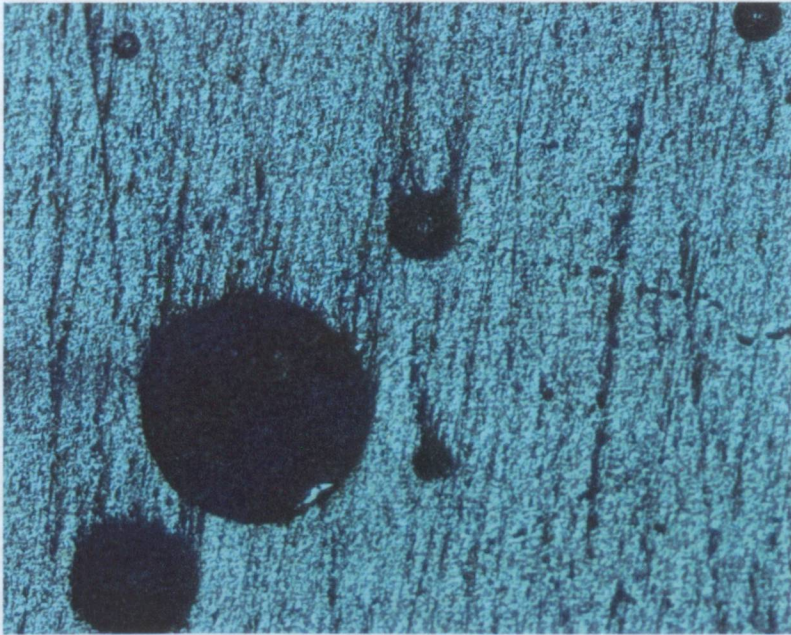


Şekil 8.63 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C'de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit kenar bölgesi (50X) büyütme



Şekil 8.64 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit kenar bölgesi (50X) büyütme

Şekil 8.64 ve 8.65 son iki mikro yapı görüntüsüdür. İki farklı noktanın kenar ve merkez görüntüleridirler. Her iki noktada bazı SiC partikülleri diğer partiküllere oranla oldukça büyüktür.



Şekil 8.65 250 Rpm hızla ve 5 Dakika karıştırılarak 1000 °C’de dökülmüş, oksitlenmiş SiC takviyeli AMK numune enine kesit merkez bölgesi (50X) büyütme

Bu dökümde ağırlıkça daha fazla malzeme kullanılmasına rağmen mikro yapılardan anlaşıldığı gibi, partiküllerin homojen dağılımı ve gerekli oranda karışımı elde

edilmiştir. Döküm deneylerinden elde edilen numunelerin sertlik değerlerinin tespit edilmesinde brinell sertlik testi kullanılmıştır. Brinell sertlik testinin seçilmesindeki ana etken yuvarlak ucunun sadece bir faza denk gelmesinin çok zor olmasıdır. Her bir döküm numunesinin bölünmüş her bir farklı parçasının ortalama üç farklı noktadan sertlik değerleri ölçülerek; ortalama sertlik değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Brinell sertlik formülü 8.4 eşitliğinde gösterildiği gibidir.

$$HB = 2F / \pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right) \quad (8.4)$$

Buradaki F kuvveti 187,5 ve D çapı 2,5 dur. Yapılan ilk döküm için d değeri (d_1 ve d_2 değerinin ortalamasıdır) 1,82 ve 1,80 olarak ölçülmüş formülde yerine konarak yapılan hesaplamada sertlik değerleri iki farklı nokta için 61,24 HB ve 59,83 HB çıkmıştır. İkinci döküm için d değeri 1,77 ve 1,75 olarak ölçülmüş formülde yerine konarak yapılan hesaplamada sertlik değerleri iki farklı nokta için 64,5 HB ve 67,2 HB çıkmıştır. Üçüncü döküm için d değeri 1,92 ve 1,90 olarak ölçülmüş formülde yerine konarak yapılan hesaplamada sertlik değerleri iki farklı nokta için 51,14 HB ve 52,27 HB çıkmıştır. Dördüncü dökümde, d değeri 1,47 ve 1,45 olarak ölçülmüş ve formülde yerine konarak yapılan hesaplamada sertlik değerleri iki farklı nokta için 101,62 HB ve 98,86 HB çıkmıştır. Son dökümde ise, d değeri 1,42 ve 1,39 olarak ölçülmüş ve formülde yerine konarak yapılan hesaplamada sertlik değerleri iki farklı nokta için 108,56 HB ve 105,77 HB olarak bulunmuştur. Bütün bu değerler çizelge 8.11'de gösterilmektedir.

Çizelge 8.11 Döküm sırasına göre sertlik dağılımı

	1. d değeri	2. d değeri	1. HB	2. HB	Ortalama HB
1. Döküm	1,82	1,80	61,24	59,83	60,53
2. Döküm	1,77	1,75	64,5	67,2	65,85
3. Döküm	1,92	1,90	51,14	52,27	51,70
4. Döküm	1,47	1,45	101,62	98,86	100,24
5. Döküm	1,42	1,39	108,56	105,77	107,165

Çizelge 8.11'de gösterildiği üzere oksitlenmiş silisyum karbür takviyeli ilk iki döküm için sertlik değerleri oldukça yakın, oksitlenmemiş silisyum karbür takviyeli üçüncü döküm için ise bu sertlik değerlerinin hemen altında bir değer ortaya çıkmıştır. Zaten karışımların homojen ve tam şekilde gerçekleşmemesinden beklenen sonuçlar bunlardır. Dördüncü ve beşinci dökümde ise oksitlenmiş sert silisyum karbür parçacıkları yapıya homojen ve tam şekilde karıştığından sertlik değerleri beklenen yüksek değerlere ulaşmışlardır.

Tez metalurjik yöntemlerde ise düşük yüzey şekli, metal - seramik partikül arası yüzey reaksiyonlarının olmayışı ve düşük çabukluğa sahip olduğu bazı avantajlar olarak görüldü. Bununla birlikte, sintere edilen toz metalurjik ürünlerde poröz yapıya sahip olması düşük korozyon dayanımı ve düşük mekanik dayanım seviyeleriyle ilgili olarak, sintere edilen malzemelerin iç yapısındaki gereksizlikleri ortadan kaldırmak için ek olarak ekstrüzyon veya sıcak presleme gibi işlemler yapmak gerekebilir.

Deneysel çalışmalar sonucunda, toz metalurjik ürünler için daha düşük miktarda takviye malzemesi içeren numunelerin mekanik özellikleri bakımından, daha fazla takviyelendirilmiş numunelere göre daha olumlu sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu noktada takviye elemanının boyutu, dağılımı ve matris ile partikül arasındaki aralı yüzeyin bağı önemlidir. Takviye elemanının arttıkça aralı yüzey bağının kuvveti azalır. Bu nedenle, dağılım bozulmuş ve bağı olarak mekanik özelliklerde düşüş gözlemlenmiştir.

Tam küresel partiküller ve tüm malzemenin oluşturan toz büyükliklerine yakın partikül büyüklüklerinin elde edilmesi dayanım değerlerinin daha yüksek olmasına yardımcıdır. Bu noktada toz partiküllerinin öncemi ortaya çıkmaktadır. Çünkü takviye elemanının matris malzemesi ile yakınsak aynı boyutlarda olması ve küresel olması yakın olması bu bağın en önemli özelliğidir. Toz metalurjik ürünlerdeki poröz yapıya rağmen, küçük partikül boyutu ve düşük aralı yüzey bağının yapıya katkıda bulunmasından bir daha yüklemeye yapılmadan partiküllerin daha homojen olması ve aralı yüzeyin daha iyi olması ve poröz yapıya sahip olması bu sayede mekanik özellikler de artmış gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, sıcak presleme ve ekstrüzyon yöntemlerinde yapılmadan da oksitlenmeyi engellenmiştir.

Döküm yönteminde ise en önemli sorunlar silisyum karbür ile silisyumun arasındaki metalik bağın ve bu bağın dağılımının sağlanmasıdır. Bu konularda,

9. SONUÇLAR

Parçacık takviyeli metal matriks kompozitler döküm ya da toz metalurjisi yöntemleri ile elde edilebilirler. Her bir yöntemin kendince üstün veya dezavantajlı yanları bulunmaktadır. Örneğin dökümde; düşük maliyette üretim önemli bir avantaj iken, seramik partikül ile metalin birbirine tesir etmesini içermesi, seramik partiküllerin aglomerasyonuna olanak sağlaması ve de kaba tane oluşması dezavantajlı durumlarıdır. Toz metalurjisi yönteminde ise düzgün yüzey şekli, metal – seramik partikül ara yüzey reaksiyonlarının olmayışı ve düşük çalışma sıcaklığı önemli avantajlar olarak görülür. Bununla birlikte, sinterlenmiş toz metalurjik ürünlerde porozite oluşumu ile düşük korozyon dayancı ve düşük mekanik dayanım meydana gelir. Bu durumda, sinterlenmiş malzemenin iç yapısındaki gereksizlikleri ortadan kaldıracı için ek olarak ekstrüzyon ya da sıcak presleme gibi işlemler yapmak gerekebilir.

Deneyisel çalışmalar sonucunda; toz metalurjik üretim için daha düşük oranda takviye malzemesi içeren numunelerin mekanik özellikler bakımından, daha fazla takviyelendirilmiş numunelere göre daha olumlu sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu noktada takviye elemanın boyutu, dağılımı ve matriks ile partikül arasındaki ara yüzey bağı önemlidir. Takviye elemanı arttıkça ara yüzey bağının kuvveti azalma göstermekte, dağılım bozulmakta ve bağı olarak mekanik özelliklerde düşüş görülmektedir.

Tam küresel partiküller ve ana malzemeyi oluşturan toz büyüklüklerine yakın partikül büyüklüklerinin elde edilmesi dayanım değerlerinin daha yüksek bulunmasını sağlayacaktır. İşte bu noktada toz metalurjisinin önemi ortaya çıkmaktadır çünkü; takviye elemanının matriks malzemesi ile yaklaşık aynı boyutlarda olması ve küresele yakın olması bu yöntemin en önemli özelliğidir. Toz metalurjik üretimdeki presleme esnasında, sürekli yükleme yerine belli bir değere kadar yükleme yapıp beklenip ardından bir daha yükleme yapılması sayesinde dağılım daha homojen olmuştur. Ara yüzey bağı daha iyi oluşmuş ve gözeneklilik engellenmiş bu sayede mekanik özellikler de artış gözlemlenmiştir. Sinterlemenin akışkan yatak fırında ve argon atmosferinde yapılması da oksitlenmeyi engellemiştir.

Döküm yönteminde ise en önemli sorunlar; silisyum karbür ile alüminyumun arasındaki ısılatma zorluğu ve homojen dağılım sağlanamamasıdır. Bu konulardan;

ıslatma zorluğu ile ilgili olarak silisyum karbürleri oksitlemek, deneysel çalışmalarda iki faz arasında mümkün olduğunca iyi bir bağ oluşmasına sebep olmuştur. Partiküllerin homojen dağılımı içinse, mekanik karıştırma yöntemi ile optimum karıştırma süresi ve hızı konusunda yapılan araştırma ve çalışmalar mümkün olan en iyi sonuca ulaşılmasını sağlamıştır. Beklenen sertlik artışı ve nispeten homojen dağılım elde edilmiştir. İki yöntem arasında yapılacak karşılaştırmada ise döküm numunelerin yüzey işlemleri gerektirmesi olumsuz olarak gözlemlenirken, toz metalurjik yöntemin pahalı olması ve üretim zorluğu dikkat çekmiştir.

Döküm yönteminin kendi içerisindeki karşılaştırmasında son iki dökümden alınan sonuçlardan da görülebileceği gibi oluşturulan deney koşullarında 250 rpm karıştırma hızı, 5 dakikalık karıştırma süresi ve yaklaşık 1000 °C de döküme geçilmesi optimum değerler olarak elde edilmiştir. Döküme geçilmesi anına kadar karıştırma işleminin mümkün olduğunca devam ettirebilmesi yapıya karışan silisyum karbür partiküllerinin yeniden yüzeye gelmesine fırsat vermemektedir. Silisyum karbürün oksitlenmesi sadece iyi bir bağ oluşmasına değil aynı zamanda ara yüzeylerde Al_4C_3 oluşmasını da mümkün olduğunca engellemiştir. Ki bu da sertlik değerlerinde beklenen seviyelere ulaşmak için oldukça önemlidir. Silisyum karbür partiküllerin mümkün olduğunca homojen dağılması, sertlik ölçümünde farklı noktalardan alınan iz çaplarının ve doğal olarak sertlik değerlerinin birbirine oldukça yakın olmasına sebep vermiştir ki, zaten bunu gözlemlenebilmesi için her numunenin birkaç farklı noktasından değerler alınmıştır.

Mikro yapı analizinde, her döküm için hem enine hem boyuna kesitler alarak farklı noktalarda ki karışım miktarını araştırılmıştır. Özellikle optimum değerlerde yapılan dökümlerde karışımın her noktada olabildiği gözlemlenmiştir. En son dökümde ise daha ağır bir karışım için döküm koşulları denenmiştir. Deneyde mekanik karıştırıcı ile gerekli vorteks oluşturulabilmiş ve oluşan döküm numunesi hem iyi karışmış hem de mümkün olan homojen SiC partikül dağılımı sağlanabilmiştir.

Endüstriyel kullanımda koşullar geliştirilebilirse, döküm yöntemi ile kompozit üretimi, özellikle kimyasal yapısı uygun matriks malzemesi ve takviye malzemesi seçildiğinde, hem daha sonra başka bir işlem gerektirmemesi hem de daha kolay üretim yapılması sebebiyle tercih edilebilecek bir kompozit üretim yöntemidir.

KAYNAKLAR

Şahin Y., (2000) “Kompozit Malzemelere Giriş”, Gazi Üniversitesi, İstanbul

Ahlatçı H., (2003) “Silisyum Karbür Takviyeli Metal Matriks Kompozitler”, İ.T.Ü. Metalurji Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Zhang B.L., Maclean M.S., Baker T.N. (2000), “Hot Deformation Behaviour Of Aluminium Alloy MMCs Made By Powder Metallurgy”, Materials Science And Technology, 16:897-902

Tjong S.C., Lau K.C.,(2000),”Dry Sliding Wear Of TiB₂ Particle Reinforced Aluminium Alloy Composites”, Materials Science And Technology, 16:99-102

Kim W.J., Lee Y.S., Moon S.J., Hong S.H. ,(2000),”High Strain Superplasticity In Powder Metallurgy Aluminium Alloy With Relatively Large Particle Size”, Materials Science And Technology, 16: 675-680

Ma Z.Y., Tjong S.C., Li Y.L.,(1999),”The Performance Of Aluminium Matrix Composites With Nanometric Particulate Si Reinforcement”, Composites Science And Technology, 59:263-270

Wakashima K.,Moriyama T.,Mori T.,(2000),”State Creep Of a Particulate SiC Aluminium Composite”,Acta Materiala, 48:891-901

Zhou W.,Xu Z.M.(2006),”Casting of SiC Reinforced Metal Matrix Composites”,Nanyang Technological University,Singapore

Prabu S.,Karunamoorthy L.,Kathiresan S.,Mohan B.(2006),”Influence of Stirring Time On Distribution Of Particles In Cast Material Matrix Composite”,Anna University,India

Hashim J., Looney L., Hashmi M.S.J.(2006),”The Wettability Of SiC Particles By Molten Aluminium Alloy”,Dublin City University,Ireland

Xiandong S., Chengping L.,Zhouxuan L.,Luizhang O.(2006),”The Fabrication And

Properties Of Particle Reinforced Cast Metal Matrix Composites”, South China University Of Technology, China

Hashmi M.S.J., Huda M.D., El-Baradi M.A.(2006) “MMCs: Materials, Manufacturing and Mechanical Properties”, Dublin City University, Ireland

Eliasson J., Sandsr  m R.(2005)”Applications Of Aluminium Matrix Composites”, Royal Institute Of Technology Stockholm, Sweden

Yanık ı G.,(2003)”Parçacık Takviyeli Al üminyum Matriks Kompozitlerin Toz Metalurjik  retimi” Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme M hendisliđi Bölümü, stanbul

Kurnaz C.,(1999)”Al ümina Fiber Takviyeli  inko Al üminyum Metal Matriks Kompozitlerin Basınçlı D k m Yöntemi İle  retilmesi Ve Mekanik  zelliklerinin İncelenmesi”, .T. . Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, stanbul

Akbulut H.,(1994)”Al ümina Fiber Takviyeli Al üminyum Silisyum Metal Matriks Kompozit  retimi ve Mikro Yapı  zellik İlişkilerinin İncelenmesi”,  .T. . Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, stanbul

Clyne, T.W.,(1993)”An Introduction To Metal Matrix Composites”, Cambridge University Press, Cambridge

George,I., Rack, H.J.,(2000)”Powder Processing Of Metal Matrix Composites “,Cambridge University Press, Cambridge

INTERNET KAYNAKLARI

[1]www. azom.com

[2]www.key-to-metals.com

[3]www.sciencedirect.com

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	18.06.1980	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1994-1998	Kurtuluş Lisesi
Lisans	1998-2003	Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2003-2006	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Müh., Malzeme Programı

