

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiC İÇEREN ALÜMİNYUM METAL MATRİSLİ  
KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ**

**Metin ÖNAL**


**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

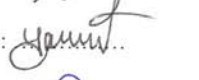
**Erzurum**


**2010**

**Her hakkı saklıdır**

Doç.Dr. Mehmet GAVGALI'nın danışmanlığında Metin ÖNAL tarafından hazırlanan bu çalışma....16.08.2010.....tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç.Dr. Mehmet Gavgalı..... İmza : 

Üye : Doç.Dr. Yasar Tatik..... İmza : 

Üye : Yrd.Doç.Dr. Kadri Neca Sezimic..... İmza : 

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof.Dr. Ömer AKBULUT  
Enstitü Müdürü

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiC İÇEREN ALÜMİNYUM METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ

Metin ÖNAL

Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mehmet GAVGALI

Materyallerin en dikkat çekici türlerinden birisi metal matrisli kompozitlerdir (MMK). Eşsiz özellikleri ve ileri düzey uygulama potansiyellerinden dolayı tüm kompozit malzemeler arasında alüminyum esaslı kompozitlere özel bir ilgi duyulmaktadır. MMK'ler kuvvetlendirici fazların üretim esnasında kimyasal reaksiyonlarla matris bünyesinde sentezlendiği çok fazlı malzemelerdir. Literatürde, bu kompozitlerin üretim prosesleri, mekanik ve korozyon özellikleri üzerine yapılan çalışmalar oldukça azdır. Bu çalışmada, yerinde reaksiyonlar ile Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiC partiküller içeren Al esaslı kompozitler konvansiyonel sıcak presleme yöntemiyle üretilmişlerdir. Üretilen kompozitlerin mikroyapıları ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu testler, yerinde reaksiyonlar ile üretilen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiC partiküller içeren alüminyum matrisin sertliğinde artış olduğunu göstermiştir. Kompozit numunelerin sinterleme esnasında oluşan reaksiyonları belirlemek için diferansiyel termal analiz (DTA), difraksiyon eğrilerini elde etmek için X-ışını difraktometre (XRD) cihazları kullanılmıştır. Ayrıca, kompozitlerdeki faz yapıları taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir.

**2010, 55 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** yerinde reaksiyon, sıcak presleme, sertlik, mikroyapı

## **ABSTRACT**

MS Thesis

**PRODUCTION OF ALUMINIUM METAL MATRIX COMPOSITES WITH  
Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> AND TiC**

**Metin ÖNAL**

Ataturk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mecanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet GAVGALI

One of the most attractive categories of material is metal matrix composite (MMC). Among all of the composites, there is a special attention to aluminum matrix composites, because of their unique characteristics and their potential for advance application. MMC is a multiphase material whose reinforcing phases are synthesized in the matrix by chemical reactions during fabrication. In literature, the studies on production process, mechanical and corrosive properties of these composites are relatively little. In this study, Al based composite reinforced with in-situ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and TiC particles was produced by conventional hot pressing. The microstructural and mechanical properties of the produced composite have been investigated. These tests indicated that Al matrix reinforced with in-situ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and TiC particles improved the hardness. The equipments were be used, as differential thermal analysis (DTA) to figure out the formation reactions during sintering process, X-ray diffractometry (XRD) to obtain crystallographic orientations composite samples. In addition, scanning electron microscope (SEM) device was be used to examine the phase structures in the composites.

**2010, 55 pages**

**Keywords:** in-situ, hot pressing, hardness, microstructure

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin belirlenmesi ve tamamlanması aşamalarında, öncelikle tezimi değerlendiren değerli görüş ve eleştirileriyle her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Mehmet GAVGALI ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamdaki her konuda bana yardımcı olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Burak DİKİCİ ve sağladığı laboratuvar destekleri ve katkılarından dolayı Yüzüncü Yıl Üniversitesi Erciş Meslek Yüksekokulu Müdürü Sayın Doç. Dr. Ömer TERZİOĞLU ve değerli hocalarıma teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında olduğu gibi bu tez çalışmam döneminde de maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen kıymetli aileme en derin sevgilerimi sunarım.

Metin ÖNAL

Ağustos 2010

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
KISALTMALAR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KURAMSAL TEMELLER.....</b>	<b>13</b>
2.1 Alüminyum.....	13
2.2 Alüminyum ve Alaşımlarının Özellikleri.....	14
2.3 Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemeler.....	17
2.4 Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Üretimi.....	18
2.5 Alümina ve Özellikleri.....	18
2.6 Kompozit Malzemeler.....	20
2.7 Kompozit Malzemelerin Özellikleri.....	20
2.8 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	21
2.8.1 Polimer matrisli kompozitler.....	22
2.8.2 Metal matrisli kompozitler (MMK).....	22
2.9 Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Teknikleri.....	25
2.9.1 Sıvı halde üretim tekniği.....	25
2.9.2 Katı halde üretim tekniği.....	25
2.10 Yerde Reaksiyonlarla Üretilen Metal Matrisli Kompozitler.....	25
2.10.1 Yerde reaksiyonlarla üretilen metal matrisli kompozitlerin avantajları....	26
2.10.2 Yerde reaksiyonlarla üretilen metal matrisli kompozitlerin dezavantajları.....	26
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>28</b>
3.1 Materyal.....	28
3.2 Metal Matrisli Kompozitlerin Üretimi.....	28
3.3 Karakterizasyon.....	31

3.4 Mekanik Özellikler .....	32
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....</b>	<b>33</b>
4.1 Toz Karışımların İçeriği.....	33
4.2 DTA Analizleri .....	34
4.3 Kompozitlerin XRD Analizleri.....	35
4.4 Kompozitlerin Makroyapıları .....	37
4.5 Kompozitlerin Mikroyapıları .....	37
<b>5. SONUÇ ve ÖNERİLER .....</b>	<b>45</b>
KAYNAKLAR .....	53
ÖZGEÇMİŞ .....	56

## SİMGELER DİZİNİ

$\theta$	Dönme açısı, theta
%	Yüzde
°C	Celcius sıcaklık derecesi
$\mu\text{m}$	Uzunluk birimi, Mikrometre
kN	Kuvvet, kilo newton
dak.	Zaman birimi, dakika

## KISALTMALAR

Al	Alüminyum
Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub>	Alüminyum karbür
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Alüminyum oksit
AMMK	Alüminyum esaslı metal matrisli kompozit
Ar	Argon
C	Grafit
DTA	Diferansiyel termal analiz (Differential Thermal Analysis)
MMK	Metal matrisli kompozit
SEM	Taramalı elektron mikroskop (Scanning Electron Microscope)
Ti	Titanyum
TiC	Titanyum karbür
TiO <sub>2</sub>	Titanyum dioksit
XRD	X ışını kırınım ölçer (X-ray Diffraction)



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Al <sub>3</sub> Ti intermetalik bileşiğinin Al matrisli kompozitin aşınma direncine etkisi.....	5
Şekil 1.2. Sıcak izostatik preslenmiş Al-10 wt.% TiO <sub>2</sub> -1.5 wt.% C kompozitlerinin TEM görüntüleri.....	7
Şekil 1.3. Sıcak preslenmiş Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 45 wt% TiC numunenin mikro yapı görüntüsü	8
Şekil 1.4. Al <sub>3</sub> Ti-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve TiC fazları.....	10
Şekil 3.1. Toz karıştırmada kullanılan döner cihaz.....	29
Şekil 3.2. Toz karışımlarının içerisine yerleştirildiği kare hazneli kalıp.....	30
Şekil 3.3. Hidrolik pres ve sinterleme fırını.....	30
Şekil 4.1. Al - % 10 TiO <sub>2</sub> ikili karışımının sinterleme öncesi XRD analizi.....	33
Şekil 4.2. Al - % 10 TiO <sub>2</sub> - %1,5 C üçlü karışımının sinterleme öncesi XRD analizi	34
Şekil 4.3. İkili karışıma ait DTA analizi eğrisi.....	34
Şekil 4.4. Üçlü karışıma ait DTA analizi eğrisi.....	35
Şekil 4.5. İkili kompozitin XRD analizi.....	36
Şekil 4.6. Üçlü kompozitin XRD analizi.....	36
Şekil 4.7. Üretim sonrası kompozitlerin makroyapısı.....	37
Şekil 4.8. Kompozitlerin mikroyapıları.....	38
Şekil 4.9. Üçlü kompozitte sentezlenen farklı formlardaki TiC partikülleri.....	40
Şekil 4.10. Üçlü kompozitte sentezlenen mikronaltı büyüklükteki TiC partikülü.....	41
Şekil 4.11. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> partikülünün SEM görüntüsü.....	42
Şekil 4.12. Al <sub>3</sub> Ti intermetalik bileşiği ve Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> partikülleri.....	43
Şekil 4.13. Kompozitlerin makro sertlik ölçümleri ve standart sapma değerleri.....	44
Şekil 5.1. Al-Ti ikili faz diyagramı.....	46
Şekil 5.2. Eşitlik 1, 2 ve 4'ün serbest enerji değişimleri.....	49

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. In-situ kompozit bileşenlerinin fiziksel özellikleri .....	28
Çizelge 3.2. Toz karışımlarının sinterleme sıcaklıkları ve süreleri.....	31

## 1. GİRİŞ

Endüstride meydana gelen hızlı gelişmeler ve artan enerji fiyatlarına bağlı olarak mevcut malzemeler ihtiyacı yeterince karşılayamadığından daha üstün özelliklere sahip malzemelere olan gereksinim hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu gereksinim doğrultusunda yeni ve üstün özellikli malzeme üretimi için birçok araştırma yapılmaktadır. Bu çalışmalar neticesinde üstün özelliklere sahip kompozit malzemeler üretilmektedir. Bu üstün özellikleri yüksek elastik modülü, yüksek mukavemet ve düşük ısıl genişmeden dolayı oldukça caziptirler (Orhan vd. 2007). Metal matrisli kompozitler (MMK), hem katı hal (toz metalurjisi) hem de sıvı hal (metal sıvı infiltrasyonu) yöntemleri ile oldukça başarılı bir şekilde üretilmektedirler. Kompozitler için en uygun olarak görülen matris malzemesi hafif metaller veya bunların alaşımları olan Al, Ti, Mg, Ni, Cu ve Zn'dur. Bunun yanında Al ve alaşımları daha ucuz ve doğada daha yaygın olarak bulunmasından dolayı Ti ve Mg'a göre daha çok tercih edilmektedir.

Son zamanlarda toz metalurjisi (TM) ile malzeme üretimi en hızlı gelişen imalat yöntemleri arasındadır. TM ile üretim yöntemi, birbirleriyle karıştırılmış metal tozlarının, oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıklarda, üretilecek parça şekli ve boyutlarına sahip kalıp içinde preslenerek şekillendirme ve ardından belirli bir sıcaklıkta sinterleme ile gerçekleştirilen bir imalat yöntemi olarak basitçe özetlenebilir. Toz metal parçalar geleneksel imalat yöntemleri ile üretilen malzemelere göre bazı üstün ve avantajlı özelliklere sahiptir. Bu avantajlar, karmaşık şekilli parçaların üretim kolaylığı, yağlama, süzme ve enerji dağıtımında faydalanılan gözenekli yapıya sahip malzemelerin üretilebilmesi, yoğunluk kontrolü ve ekonomiklik gibi özelliklerdir (German 2005).

Alüminyum ve alaşımları, bazı korozyon ortamlarında bozulmaya karşı gösterdikleri dayanımları ile düşük yoğunluklarından dolayı kimya, otomotiv, gıda, havacılık ve denizcilik endüstrisindeki birçok uygulamada istenen ve kullanılan malzemelerdir

(Akgün vd. 2006). Al matrisli partikül takviyeli kompozitlerin, ticari Al alaşımları ile kıyaslandığında artan sertlik, yüksek aşınma direnci, mukavemetinin uygunluğu, titreşim azaltıcı ve düşük ısıl genleşme katsayısı gibi malzemelerde istenilen üstün özellikleri bir arada bulundurması nedeniyle bu malzemeler daha da önemli olmuştur (Mindivan vd. 2005).  $Al_2O_3$ , SiC, TiC ve  $B_4C$  gibi seramik malzemeler fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı mühendislik alanında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak seramik malzemelerin makine parçalarında kullanımı düşük kırılma tokluğu ve dayanımına neden olduğundan kullanım alanları sınırlandırılmıştır. Ancak bunun yanı sıra partikülün sertliği ana yapının sertlik değerlerini de arttırdığı gözlenmiştir (Furukawa *et al.* 1988). Seramik visker, fiber ve parçacık takviyeli alüminyum kompozitler genellikle sürtünme ve aşınmaya dayanıklı malzemeler olarak kullanılır (Bedir vd. 2006). Takviye elamanı ve matris oranlarının istenen miktarda ayarlanabilmesi ve şartlara en uygun malzemenin üretimi için malzeme üretilmeden önce tasarlanabilmesi kompozitlerin en önemli avantajı olarak sayılabilir (Altinkok vd. 2006).

Kompozitlerde iyi bir matris-takviye sisteminin oluşturulmasında katı-sıvı ara yüzeyindeki temas açısı belirleyici bir faktördür. Katı-sıvı arasındaki ıslatmanın olabilmesi için temas açısının  $90^\circ$  den az olması gerekmektedir ve bu açı genellikle daha yüksektir. Islatmanın geliştirilmesi için; katı yüzey enerjisinin artırılması, sıvı metal yüzey geriliminin azaltılması, katı-sıvı ara yüzey enerjisinin azaltılması gibi tedbirler alınmaktadır (German 2005). Örneğin; sıvı metalin sıcaklığının artırılması, parçacık yüzeyinin kaplanması ya da parçacıkların ısıl işleme okside edilmesi, matrise yüzey gerilimini azaltıcı alaşım elementleri ilave edilmesi gibi yöntemler uygulanmaktadır. Alüminyum alaşımlarında ıslatmayı geliştirmek için yaygın olarak kullanılan alaşım elementi magnezyumdur. Magnezyum ve lityum sıvının yüzey gerilimini düşürerek, alüminyumun ıslatma kabiliyetini geliştirirler. Islatmanın iyi olması durumunda, çekme akma dayanımlarının, aşınma direncinin, sürtünme dayanımının ve yorulma ömrünün arttığı tespit edilmiştir (Acılar 2002).

Günümüzde yaygın olarak kullanılmakta olan ve kuvvetlendirici partiküllerin dışarıdan matris içerisine katılması (ex-situ) ilkesine dayanan MMK üretiminde en büyük problem, kuvvetlendirici fazın sıvı metal tarafından tam olarak ıslatılmaması sonucu ortaya çıkan ara yüzey problemleridir. Çok iyi bilinmektedir ki, takviye fazı ve matris alaşım arasındaki arayüzey MMK'lerin mekanik davranışlarında önemli bir etkiye sahiptir. Uygulanan dış kuvvetlerin matris tarafından takviye fazına iletimi bu iki bileşen arasında güçlü bir arayüzey oluşması ile mümkün olabilmektedir. Bu nedenle, sıvı metal ile kuvvetlendirici faz arasındaki adhezyon kuvvetlerinin yükseltilmesi oldukça önemlidir. Metalurjik olarak; arayüzeyde oluşabilecek eksik ıslanmalar bir takım kimyasal reaksiyonlara ve porozitelere sebep olabilmekte, katılma esnasında ise matris dendritleri bu partikülleri dışarı doğru itip matris fazı içerisinde topaklanmalarına (cluster effect) böylece heterojen bir mikroyapı oluşturmasına sebep olabilmektedirler (Dikici vd. 2009).

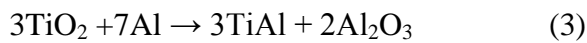
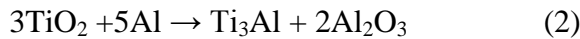
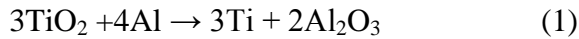
Yapılan deneysel ve teorik çalışmalar, bu problemlerin arayüzeyde oluşabilecek eksik ıslanmalar bir takım kimyasal reaksiyonlara ve porozitelere MMK'lerin mekanik, tribolojik ve korozyon özelliklerini olumsuz yönde etkilediğini göstermektedir. MMK'lerin arayüzey özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılan en etkili yöntem, kuvvetlendirici partiküllerin sıvıya sonradan ilavesi yerine, sıvı eriyik içerisinde yerinde (in-situ) reaksiyonlarla oluşturulmasıdır. Genel anlamda, MMK'lerin üretiminde yerinde reaksiyonların kullanılmasının iki temel amacı vardır. Bunlardan biri, ıslanabilirlik problemini ortadan kaldırıp istenmeyen arayüzey reaksiyon ürünlerinin oluşumunu engellemek, diğeri ise tane boyutu ile dayanım arasında var olan ters orantılı ilişkiden yararlanarak matris fazı içerisinde homojen dağılmış ve termodinamik olarak kararlı nano boyutlu kuvvetlendirici bileşenler sentezleyebilmektir.

MMK'lerin üretiminde kullanılan en yaygın yöntemler; reaktif sıcak presleme (RHP), ekzotermik yayılma (XD), kendiliğinden yürüyen yüksek sıcaklık sentezlemesi (SHS), reaktif sıkıştırılmalı döküm (RSC) ve yanma yardımcı dökümdür (CAC). Bu yöntemler arasında özellikle XD ve RHP yöntemleri ekonomik olmaları ve matris fazının erime

noktasının hemen üstündeki sıcaklıklarda gerçekleştirilebilmeleri nedeniyle tercih edilmektedirler. Bu teknikler ile metal matris içerisinde mikronaltı boyutta TiC, TiN, TaC, SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiB<sub>2</sub>, MoSi<sub>2</sub>, VC, AlZr<sub>2</sub> gibi çok farklı türde kuvvetlendiriciler sentezlemek mümkündür. Bu kuvvetlendiriciler arasında düşük yoğunluğu ve yüksek mekanik özellikleri nedeniyle TiC en dikkat çeken fazlardan biridir (Peng *et al.* 1997). TiC bir seramik olup, sahip olduğu düşük yoğunluk ve yüksek sertlik değeri ile ilgi çekmektedir. Al matris içerisinde yüksek mukavemet/yoğunluk oranı elde edilebilmesi için bu tür seramiklerin kullanılması kaçınılmazdır.

Literatürde, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiC fazlarının Al (alüminyum) matris içerisinde sentezlenmesi üzerine araştırmalara rastlanmaktadır. Konu ile ilgili dikkati çeken bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

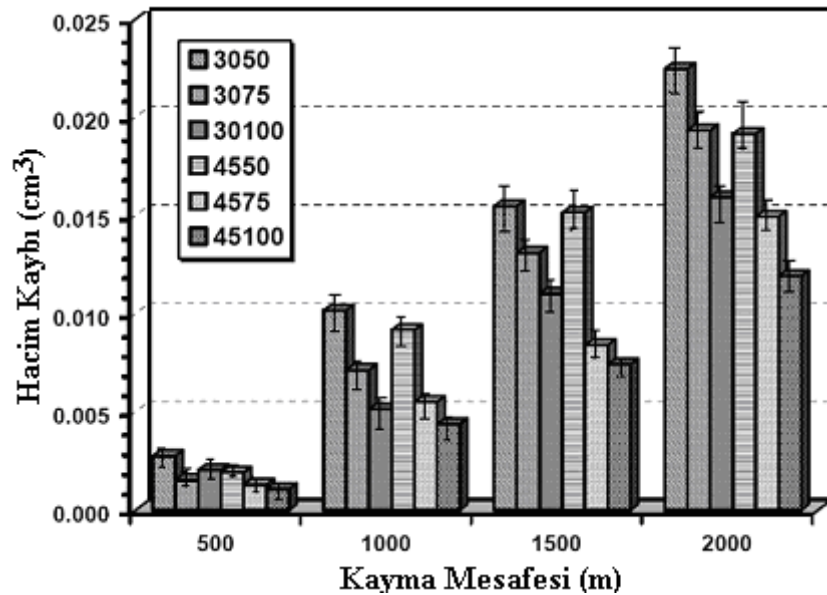
Zhang *et al.* (1998), aşağıda verilmiş olan eşitliklere uygun olarak hazırladıkları Al-TiO<sub>2</sub> toz karışımlarını 1400, 1550 ve 1650°C sıcaklıkları arasında 1 er saat süreyle Ar gazı atmosferinde sinterlenmişlerdir.



Deneyin amaçlarından biri olan, mikroyapı değişimlerinin gözlenmesi sonucunda, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fazının tüm numunelerde 1650°C’de büyüdüğü görülmüştür. 1400°C’de bile hala mikroyapıda boşlukların varlığına rastlanmıştır. Artan sıcaklıklarla birlikte boşluk miktarının azalması ve boyutlarının minimuma inmesi sebebiyle numunelerin yoğunluklarında artış gözlenmiştir. Boşlukların en az gözlendiği sıcaklık 1650°C dir. Yoğunluğu artırmak amacıyla numunelerin tümüne 1300°C’de iken 2 saatlik süreyle

200 MPa'lık bir basınç uygulanmıştır. Bu sayede numunelerin yoğunluklarının yaklaşık olarak %8'lik bir artışla %92'lere çıktığı hesaplanmıştır.

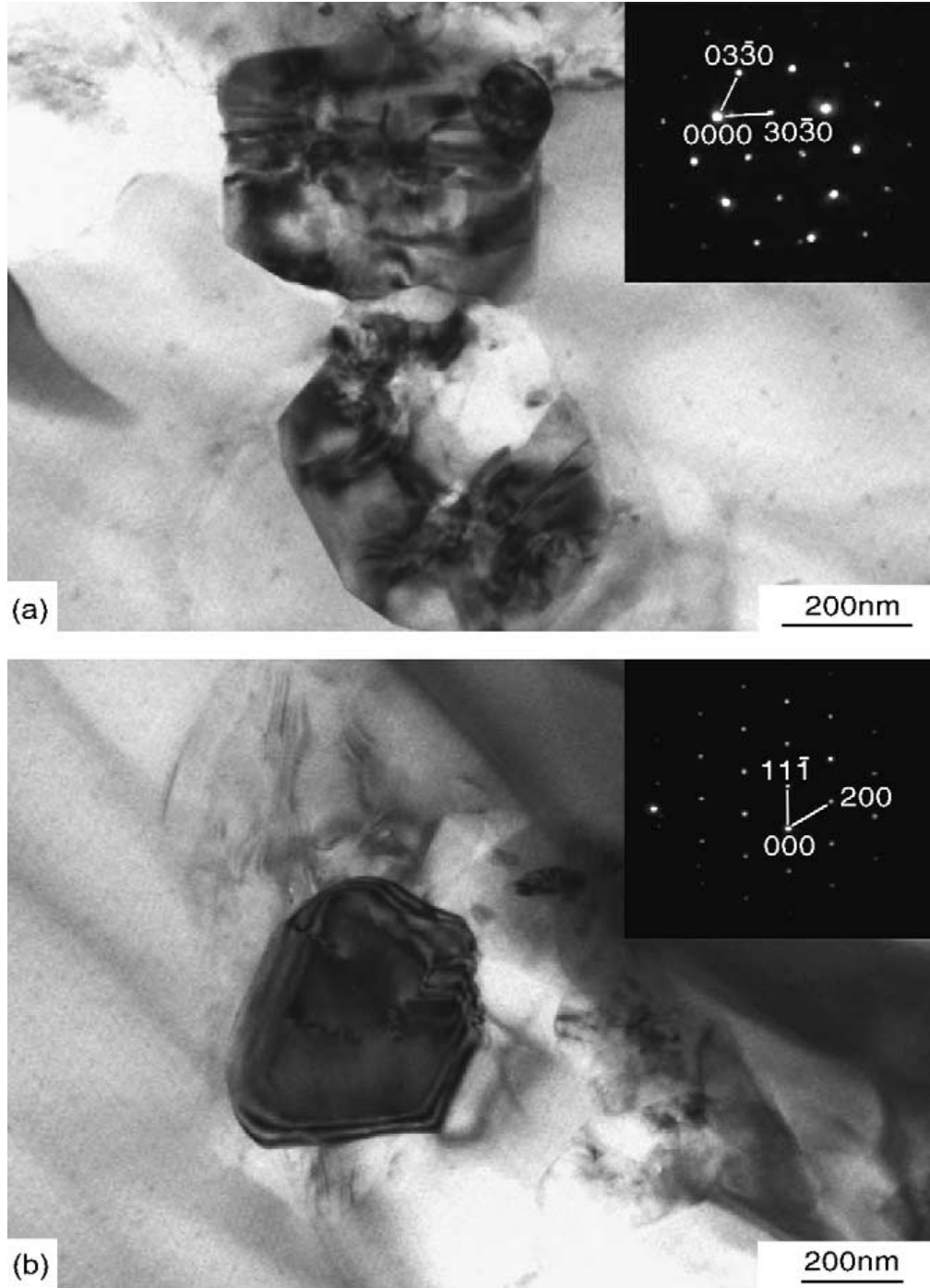
Nofar *et al.* (2008), Al-TiO<sub>2</sub> toz karışımını sıcak presleme yöntemiyle sinterlemişler ve alüminyumun ergime sıcaklığının öncesinde (yaklaşık 580°C'de) Al ile Ti arasında bir intermetalik (metallerarası) fazın oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Bu fazın literatürdeki adının Al<sub>3</sub>Ti'a karşılık geldiğini belirledikten sonra söz konusu fazın kompozitin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Al<sub>3</sub>Ti bileşiğinin termodinamik kararlılığından dolayı Al matris ile güçlü bir bağ oluşturması sebebiyle kompozitin aşınma direncinin yükselmesinde katkısı olduğunu bildirmişlerdir. 30 ve 45'er dakikalık sinterleme sürelerinin yanında 50, 75 ve 100'er MPa'lık basınç uygulayarak sıcak presleme süresinin ve basıncının kombine etkilerini incelemişlerdir. Şekil 1.1'e göre kayma mesafesinin arttıkça hacim kaybının da arttığını ve uygulanmış olan sinterleme süresi ile sinterleme basıncının arttığında ise hacim kaybı miktarının azaldığını gözlemlemişlerdir.



Şekil 1.1 Al<sub>3</sub>Ti intermetalik bileşiğinin Al matrisli kompozitin aşınma direncine etkisi

Yu *et al.* (2005), Al-TiO<sub>2</sub> ve Al-TiO<sub>2</sub>-C toz sistemlerini kullanarak yaptıkları çalışmada karışımları 1 saat süreyle saf alkol eşliğinde karıştırmış ve 70°C'de yaklaşık 10 saat boyunca kurutularak nemlerini gidermeye çalışmışlardır. Al-TiO<sub>2</sub> ikili karışımının sinterlenmesi sonucu Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Al<sub>3</sub>Ti fazı, Al-TiO<sub>2</sub>-C üçlü toz karışımının sinterlenmesi sonucunda ise TiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seramik fazlarının elde edilebildiğini bildirmişlerdir (Şekil 1.2).



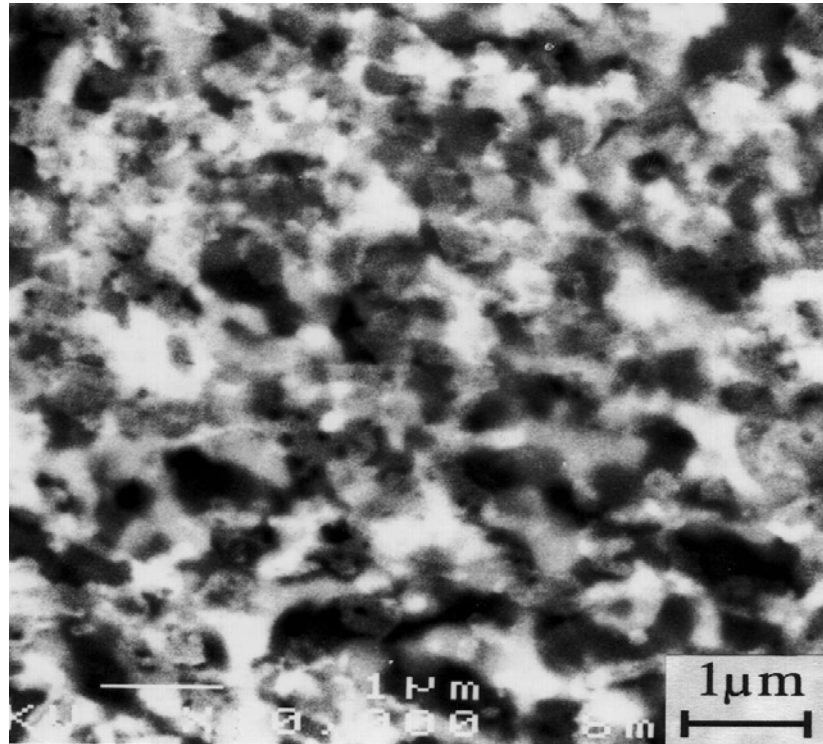


**Şekil 1.2** Sıcak izostatik preslenmiş Al–10 wt.% TiO<sub>2</sub>–1.5 wt.%C kompozitlerinin TEM görüntüleri a) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partikülü b) TiC partikülü

Chen *et al.* (2000), Al-TiO<sub>2</sub>-C tozlarını 30 dakika boyunca sinterleyip fırında soğumaya bırakmışlardır. Al matris içerisinde sentezledikleri Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiC seramik partiküllerin iki safhada oluştuğunu bu safhaların ise şu eşitliklerdeki gibi olduğunu ileri sürmüşlerdir:

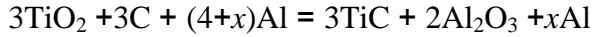


1. eşitlikte gözlenen amorf fazın muhtemelen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve C (karbon) olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, yüksek sıcaklıklarda tane büyümesinin önüne geçmek için toz karışımına ağırlıkça %1-3 arasında Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + MgO + ZrO<sub>2</sub> eklemişlerdir (Şekil 1.3).



**Şekil 1.3** Sıcak preslenmiş Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 45 wt% TiC numunenin mikro yapı görüntüsü

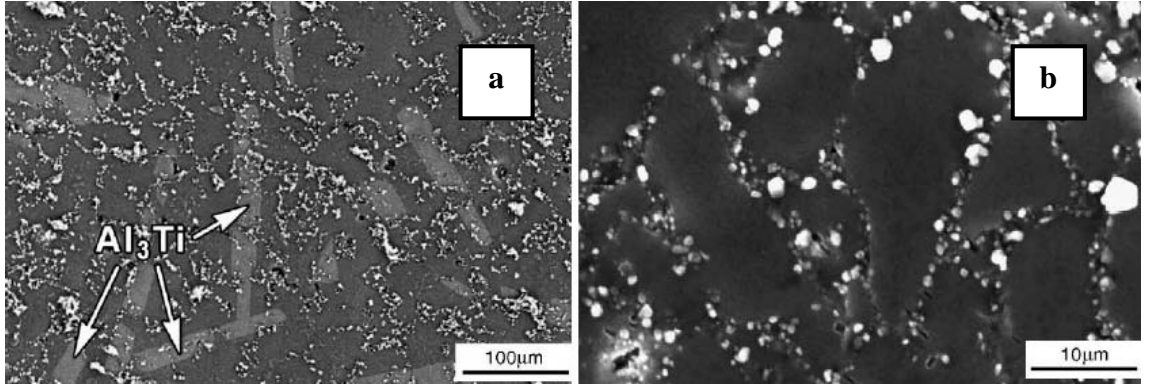
Hu *et al.* (2007), bir elektrik alanı kullanarak sentezledikleri seramik partiküllerin, kendilerinin geliştirmiş olduğu bir formüldeki 'x' değerine bağlı olarak kompozitin yoğunluğunu nasıl değiştirdiğini incelemişler ve formüldeki 'x' değerinin arttıkça gözeneklere eğilimin artacağı için yoğunluğun da artacağını hesaplamışlardır.



Li *et al.* (2005), kompozitlerde alüminyumun aşırı miktarda olduğu durumlarda  $\text{Al}_2\text{Ti}$  ve  $\text{Al}_3\text{Ti}$  gibi çok kırılğan fazların elde edildiğini gözlemlemişlerdir. Sentezlenen TiC ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  partiküllerinin tane sınırlarında dağıldığını, kompozitin tokluğunu artırma yolunun ise tozların mikro alaşımlandırmadan ve reaksiyon parametrelerini optimize etmekten geçtiğini bildirmişlerdir.

Jiang *et al.* (1997), TiC/Al nano kompozitleri üretebilmek için; sıvı Al içerisine, 5 MPa basınç uygulanmış ve ağırlıkça %80 oranında Ti ve %20 oranında grafit (C) içeren preformu ekleyerek sentezlemeye çalışmışlardır. Çalışmalarını 800, 900 ve 1050°C olmak üzere üç farklı sıcaklıklarda yapan Jiang ve arkadaşları, 800°C'de eriyik yüzeyinde önemli miktarda reaksiyona girmemiş karbon biriktiğini, yapılan incelemelerde TiC parçacıkların yerine  $\text{Al}_3\text{Ti}$  fazının oluştuğunu gözlemlemişlerdir. 900°C'de üretilen kompozitlerde de benzer oluşumları tespit eden Jiang ve arkadaşları 800°C'de üretilen kompozitten farklı olarak,  $\text{Al}_3\text{Ti}$  fazının incelendiğini, üretim sıcaklığının 1050°C'ye çıkarılmasıyla birlikte de bu fazın ortadan kaybolmaya başladığını görmüşlerdir. Bu çalışma; yerinde reaksiyonlarla TiC nano kompozitlerin sentezlenebilmesi için oldukça yüksek sıcaklıklara (>1050°C) ihtiyaç olduğunu ortaya koymuştur. Ancak, yaptıkları çalışmada sadece 10 dak.'lık bir sinterleme süresini kullanmışlardır. Dolayısıyla çalışma sinterleme süresinin kompozitlerin sentezlenebilirliği üzerinde ne tür bir etkiye sahip olduğunu tam olarak açıklamamaktadır.

Peng *et al.* (2005), Al, TiO<sub>2</sub> ve C tozlarını belirli oranlarda karıştırıp paslanmaz çelik bir kalıp içerisinde 5 MPa basınç ile soğuk presleme uyguladıktan sonra sıcak izostatik presleme (HIP) yöntemini kullanarak yerinde reaksiyonlarla Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiC nano fazlar elde etmeye çalışmışlardır. Numunelerin DSC analizlerinde 660°C’de Al’un ergimesine karşılık gelen bir endotermik bir pik ile 750 ve 950°C sıcaklıklarında iki ekzotermik reaksiyon piki gözlemlenmiştir. 1000°C’de yapılan üretim sonrası XRD spektrumlarında, özellikle Al–TiO<sub>2</sub> sisteminde Al<sub>3</sub>Ti bileşenine rastlamalarına karşın, Al–TiO<sub>2</sub>–C üçlü sisteminde TiC’ün oluştuğu açığa çıkarılmıştır. Şekil 1.4 bu oluşumları göstermektedir.



**Şekil 1.4** Al<sub>3</sub>Ti–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiC fazları a) Al–TiO<sub>2</sub> sisteminde 1000°C’de üretim sonrası Al<sub>3</sub>Ti fazının ince lameller şeklinde oluşumu, parlak fazlar ise Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bileşeni, b) yüksek büyütme oranlarında Al–TiO<sub>2</sub>–C sisteminde oluşan TiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fazlarının dağılımı (Peng *et al.* 2005).

Zhang *et al.* (1998), Al–Ti ve Al–Ti–C toz karışımlarının DSC analizlerini argon atmosferi altında ve 20°K/dak. ısıtma hızı kullanarak çalışmışlardır. Analiz sonucunda, Al–Ti sistemi için, 973 ve 1073°K sıcaklıklarında, Al–Ti–C sistemi içinde, ek olarak 1144°K’de, ekzotermik reaksiyon piklerini belirlemişlerdir. Yaptıkları araştırmada, 1144°K’de gerçekleşen reaksiyon pikinin, TiC’ün sentezlenme sıcaklığına karşı geldiğini söylemişlerdir. Ayrıca, aynı sistem üzerinde soğutma hızının etkisini çalışan Zhang ve arkadaşları (1998) 943°K’de sinterleyip, suda soğutulan numunenin XRD analizlerinde, Al, Ti ve C difraksiyon piklerine ek olarak Al<sub>3</sub>Ti pikleri tespit etmişlerdir. Peng *et al.* (1997) Al ve TiO<sub>2</sub> toz karışımını kullanarak Al<sub>3</sub>Ti ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fazlarıyla kuvvetlendirilmiş kompozitleri sıkıştırılmalı döküm yöntemiyle üretmişlerdir.

Kompozitler üzerinde yaptıkları XRD analizlerinde  $TiO_2$  fazına ait piklere rastlamamaları, bu fazın yerinde reaksiyonlar esnasında tamamen indirgendiğini göstermiştir. SEM incelemeleri esnasında ise  $-Al_2O_3$  seramik fazının matris içerisinde uniform bir şekilde dağıldığını,  $Al_3Ti$  metallerarası fazının ise partiküller ve kısa whiskerler şeklinde olduğunu ifade etmişlerdir. Ancak, yapılan TEM incelemeleri,  $Al_3Ti$  blokları içerisinde az miktarda da olsa,  $Al_2Ti$  metallerarası çökeltilerinin saklı kaldığını açığa çıkarmıştır. Aynı zamanda TEM analizleri  $Al_2O_3$  parçacıklarının genellikle iğne şeklindeki  $Al_3Ti$ 'lerin yüzeylerinde yada uç kısımlarında çekirdeklendiğini göstermiştir. Yazarlara göre bu durum iki şekilde gerçekleşmiş olabilir, ya; katı  $-Al_2O_3$  seramik partikülleri ile sıvı Al matris arasındaki düşük ıslanabilirlik nedeniyle bu partiküller arayüzey enerjilerini azaltmak amacıyla  $Al_3Ti$  fazının yüzeyine doğru hareket etmişler, yada,  $Al_3Ti$  metallerarası fazının büyümesi esnasında bu fazlar kenarlara itilmiş ve  $Al_3Ti$  blokları tarafından sarılmışlardır.

Yanmei *et al.* (2010)'da yaptıkları çalışmada Ti (titanyum) partiküllerinden ve C (karbon) fiberlerinden oluşan preformun üzerine ergiyik haldeki Al (alüminyum) dökmüşlerdir. Gözlemleri sonucunda düşük sıcaklıklarda  $Al_4C_3$  ve  $Al_3Ti$  fazının oluştuğunu ancak yükselen sıcaklıklarda bu fazların çözünmeye başladığını ve  $TiC$ 'ün çökeldiğini bildirmişlerdir. Yükselen sıcaklıklarda oksidasyonun neticesinde ise  $Al_2O_3$  oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Dolayısıyla elde ettikleri kompozit malzemenin oluşum mekanizmasını; oluşum-çözünme-çökme-oksidasyon olarak açıklamışlardır.

Bu çalışmada, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, kompozit malzemeler üretmek amacıyla hazırlanan toz sistemleri 1,5 saat boyunca karıştırıldı ve topaklanmaları önlemek amacıyla döner bir karıştırıcı cihaz içerisine yerleştirildi. Önce soğuk olarak preslenen karışımlara diğer çalışmalardan farklı olarak, kompozit malzemelerin yoğunluk artışında daha yüksek değerler verdiği gözlenen 3 MPa'lık yani daha düşük bir basınç uygulandı. Daha önce yapılan çalışmalarda bu basınç genellikle 5 MPa olarak uygulanmıştır. Daha sonra fırın içerisine yerleştirilen toz karışımları 30, 60 ve 120 dakikalık sinterleme süresine tabi tutuldular. Literatürde en uzun sinterleme süresi ise

60 dakika olarak yer almaktadır. Numuneleri ısıtma ve soğutma hızları da diğer çalışmalardan farklılık göstermektedir. Numunelere 13°C/dakikalık bir ısıtma hızı ve 10°C/dakikalık bir soğutma hızı uygulanmıştır. Literatürde yapılan diğer çalışmalarda benzer olarak hep aynı ısıtma ve soğutma hızları (10°C/dakika) kullanılmıştır. Bu çalışmada ise sinterleme fırınının teknik imkanları göz önünde bulundurularak deneme üretimleri yapılmış ve kullanılan toz karışımlarının DTA analizleri daha sonra yapılmıştır. Uygulanan basınç, sinterleme süresi, sıcaklık, ısıtma ve soğutma hızları üretim parametreleri olarak alınmıştır.

## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1 Alüminyum

Alüminyum dünyada oldukça büyük bir rezerve sahip ve demirden sonra en fazla üretilen ve tüketilen metaldir (Tulgar 1987). Alüminyumun hafif bir metal olmasının yanında kolayca şekillendirilebilmesi, bu metalin endüstride birçok uygulama alanı bulmasına neden olmuştur. Günümüzde üretimi ve tüketimi, yeni tüketim alanlarının da ortaya çıkmasıyla birlikte artarak devam eden bu metal ve alaşımlarının en önemli problemi, özelliklerini yüksek sıcaklıklarda önemli ölçüde kaybetmeleridir (Arık vd. 2000). Özellikle alüminyum ve alaşımlarının özellikle yüksek sıcaklık dayanımlarını artırmak için, bu alanda günümüze kadar birçok araştırma yapılmıştır. Bu yönde yapılan çalışmalar, yüksek sıcaklıklarda kararlı yapılarını muhafaza eden,  $Al_2O_3$ ,  $ThO_2$ , veya  $Y_2O_3$  gibi oksitlerin veya TiC, SiC gibi karbürlerin alüminyum içerisine katılması ile kompozit yapıda parçalar üretilmesi şeklinde olmuştur (Ibrahim *et al.* 1991).

Alüminyum matrisli kompozit malzeme üretiminde, alüminyum matris içerisine, oksit veya karbür gibi seramik fazların katılmaları, sıvı veya katı olmak üzere bilinen iki yöntemle mümkün olabilir. Sıvı yöntem, ergime dereceleri yüksek olan oksit veya karbürlerin, sıvı haldeki alüminyumun içerisine katılmak suretiyle, homojen bir şekilde alüminyum ile birlikte katılaşmasını sağlamak şeklinde olur. Ancak bu yöntem, seramik/metal ara yüzeyindeki tepkimeler, parçacıkların dentritik yapı arasında birikimi, mekanik özelliklerdeki geniş dağılım ve en önemlisi seramik fazın alüminyum matris içerisinde homojen bir şekilde dağılımının sağlanamaması gibi problemleri de beraberinde getirir (Ögel vd. 1992). Sıvı yöntemde karşılaşılan bu problemler henüz tam olarak giderilememiştir. İkinci bir uygulama ise toz metalurjisinin uygulandığı katı hal metodudur. Bu uygulama da toz haldeki oksit veya karbür, yine toz haldeki alüminyum ile katı halde homojen bir şekilde karıştırılır, preslenir ve sinterlenir. Bu uygulamada ise en önemli problem farklı karakterlerdeki tozların birbirine sinter olmalarındaki

yetersizliktir (Yılmaz vd. 1996). Diğer bir metot ise mekanik alaşımlama ile oksit veya karbür tipi yapıların üretim esnasında sentezlenmesidir.

Mekanik alaşımlama, 1960'lı yılların sonlarında gelişmeye başlayan ve bu yönde yapılan çalışmalarda basit ve iyi sonuçlar verebilen bir katı hal üretim tekniğidir. Mekanik alaşımlama ile sıvı yöntemde karşılaşılan, seramik fazın dağılımındaki homojensizlik büyük bir oranda giderilmeye çalışılmıştır. Mekanik alaşımlama işleminde, iki veya daha fazla elementel toz belirli oranlarda birbiri içerisine katılarak karışım toz elde edilir. Daha sonra bu karışım toz, yüksek enerjili atritör içerisine öğütücü bilyelerle birlikte konularak, mekanik alaşımlama işlemine tabi tutulur. Karışım tozlar arasında meydana gelebilecek sentezleşme, mekanik alaşımlama esnasında meydana gelebilir ya da mekanik alaşımlama işlemi sonrasında yapılan sinterleme esnasında meydana gelir. Sentezleşme ile yapıda oluşan oksit, karbür ya da nitrür karakterdeki ikinci faz, mekanik alaşımlamanın etkisiyle, normal şartlarda oluşabileceği sıcaklıktan daha düşük sıcaklıklarda oluşabilmektedir (Haar *et al.* 1999).

## 2.2 Alüminyum ve Alaşımlarının Özellikleri

Alüminyum ve alaşımlarının sağladığı üstün özellikler sebebiyle, tüketimleri büyük bir hızla artmakta ve her geçen gün yeni kullanım alanları ortaya çıkmaktadır.

**Genel Olarak Alüminyum:** Alüminyumun fiziksel özellikleri çok düşük miktarlarda dahi olsa safsızlıkların bulunmasından önemli ölçüde etkilenir. Saf alüminyum galvanik seride çok aktif bir metal olmasına karşın, yüzeyinde kolaylıkla oluşan koruyucu oksit tabakası onun yaygın olarak kullanılmasını sağlar. Alüminyum oksitten ( $Al_2O_3$ ) oluşan bu geçirimsiz, sert ve koruyucu oksit tabakası alüminyumun korozyon direncini önemli ölçüde arttırır. Buna bağlı olarak alüminyum saflaştırıldıkça korozyon direnci ve iletkenliği artar. Bu nedenle korozyona karşı oldukça hassas olan alüminyum alaşımları günümüzde saf alüminyum giydirilmesi (cladding) yoluyla korozyondan korunmaktadır (Ekinci 2007). Diğer yandan saf alüminyum oldukça düşük olan mukavemeti soğuk



işleme arttırılabilir. Bugün alüminyum ve alaşımları sahip olduğu özellikleri itibariyle endüstride kullanılan en önemli yapı ve mühendislik malzemelerinden birisi haline almıştır. Saf haldeyken yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, korozyon direnci gibi özelliklere sahipken, alaşımlama ile bu özellikler çok daha geniş bir aralığa yayılarak yaygın bir kullanım alanına sahip olmuştur. Bugün endüstride geniş çaplı olarak 100'ün üstünde alüminyum alaşımı kullanılmaktadır. Önemli özelliklerini saymak gerekirse;

**Hafifliği:** Saf alüminyumun özgül ağırlığı yaklaşık  $2,7\text{gr/cm}^3$  'tür. Kütlesi demirin %35'i, bakırın ise %29'u kadardır. Bu düşük ağırlık özelliği başta uçak ve otomobil endüstrisinde olmak üzere, tüm taşımacılık sanayinde önemli bir konudur.

**Mekanik özellikler:** Çeşitli alüminyum alaşımlarının ısı işlemleri sonucu, istenilen şekilde mukavemet, tokluk, sertlik ve diğer mekanik özellikleri geliştirilebilir. Özellikle küçük miktarlarda Mg, Si, Cu ve Zn ilavesiyle mukavemeti daha da arttırılan alüminyum alaşımlarında ısı işlem ile bugün çok yüksek çekme mukavemeti değerlerine ulaşılmıştır. Mekanik özelliklerin böyle değişebilir olması büyük avantaj sağlayarak, kullanım alanlarını genişletmektedir.

**Korozyon:** Alüminyum yüzeyler, atmosferik korozyona maruz kaldığında, derhal çok ince ( $20\text{-}25\text{Å}$ ) görünmez bir oksit tabakası oluşur ve bu tabaka daha fazla oksitlenmeyi önler. Alüminyumun bu özelliği yüksek korozyon direncinin temel nedenidir. Birçok aside karşı da aynı direnci gösterir. Ancak bazı alkaliler bu oksit tabakasını tahrip etme özelliğine sahiptir. Elektrolitik ortamlarda bazı metallerle doğrudan temas etmesi sonucunda galvanik korozyon olabilir. Bu durumda boya ya da yalıtkan bant uygulaması yapılmalıdır.

**Toksikolojik reaksiyonlara girmemesi:** Zehirleyici olmama özelliği, gıda endüstrisinde ya da mutfak malzemelerinde yaygın kullanım alanı bulmasına yol açmıştır. Bu özelliği sayesinde yiyecek ve ilaç ambalajlanmasında, sigara, çay paketlenmesinde geniş çaplı olarak kullanılır.

**Isı ve elektrik iletkenliği:** Alüminyum ve alaşımları ısı ve elektriği oldukça iyi iletirler. Yüksek ısı iletkenliği (çeliğin 6 katı), ısıtma/soğutma endüstrilerinde, gıda, kimya, petrol, havacılık sektörlerinde alüminyum ısı değiştiricilerinin yaygın olarak kullanımına yol açmıştır. Ticari alüminyum elektrik iletkenliği 37 siemens civarındadır. Elektriksel iletkenliği bakırın %62'si mertebesindedir. Bakırın yoğunluğu 8,9; alüminyumun ise  $2,7\text{gr/cm}^3$  olduğu düşünülürse; ağırlıkça kıyaslandığında alüminyumun bakırdan daha iyi iletken olduğu ortaya çıkar.

**Yüksek ısı ve ışık yansıtması:** %80'in üzerinde ışık yansıtma özelliği ile aydınlatmada, yüksek ısı yansıtma özelliği dolayısıyla da çatı kaplamalarında kullanılmaktadır. Bu özelliğinden dolayı ışık reflektörlerinin kaplanmasında ve aynaların geri yansıtıcılığında kullanılırlar.

**Metalotermik reaksiyonlarda kullanımı:** Alüminyum oksijene olan ilgisinden dolayı, diğer metallerin oksitlerini indirger. Bu özelliği nedeniyle toz alüminyum krom, vanadyum, baryum ve lityum gibi metal oksitleri indirgeyerek bu metallerin üretiminde kullanılır.

**Kolay şekillendirilebilirliği ve işlenebilirliği:** Kolayca dökülebilir, kağıttan daha ince şekilde haddelenebilir (folyo), çekilebilir (tel, ekstrüzyon ürünleri, profil), dövülebilir. Alüminyum kolayca ve hızlı bir şekilde tornalama, frezeleme, delme uygulamalarına tabi tutulabilir.

**Kaynaklanabilirliği:** Her türlü birleştirme yöntemi uygulanabilir (kaynak, perçinleme). Ayrıca havacılık ve otomotiv sektöründe yapıştırma uygulamaları da yaygındır.

**Çok geniş aralıkta yüzey işlemlerine tabi tutulması:** Koruyucu bir kaplama gerektirmeyen durumlarda mekanik yüzey işlemleri olarak parlatma, kumlama veya fırçalama birçok durumda yeterlidir. Koruyucu kaplama olarak, kimyasal,

elektrokimyasal boya uygulamaları ile eloksal ve elektro kaplamalar uygulanabilir. Uygulamaların büyük çoğunluğunda yukarıda belirtilen özelliklerden iki ya da daha fazlası bir araya gelerek belirleyici rol oynar. Örneğin, hafifliği ve mukavemeti uçak sanayinde, raylı sistem taşımacılık ekipmanlarında; korozyon direnci ve ısı iletkenliği kimya ve petrol sanayinde, bu özelliklerine ilaveten zehirli olamaması özelliği ile gıda; albenili görünümü, atmosferik koşullara dayanımı ve düşük bakım maliyetleriyle inşaat sektöründe, yüksek yansıtma, mükemmel atmosferik direnç ve hafifliği ile çatı kaplamalarında yaygın kullanım alanı bulmasını sağlamıştır.

**Düşük maliyet:** Alüminyumun ekonomik yönden avantajı diğer metallere göre büyük bir hızla yükselmektedir. Bunun başlıca nedeni birim ünitesinin maliyetinin diğer metallere göre daha ekonomik olmasıdır. Alüminyumun diğer metallere göre daha hafif olması dökümde büyük bir avantaj sağlar. Aynı boyuttaki diğer metallere göre daha fazla döküm yapabilmek mümkündür. Ayrıca çok yüksek olmayan ergime sıcaklığı, döküm sırasında daha az enerji harcanması ve kalıp aşındırmaması sebebiyle önemli bir tercih nedenidir.

### 2.3 Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemeler

Geliştirilmiş fiziksel ve mekanik özellikleri, malzeme ve enerji kazancı bakımından hafif olmaları nedeni ile metal matrisli kompozitler (MMK) yeni malzemeler olarak dikkati çekmektedir. Bu özelliklerinin yanında iyi sürtünme ve aşınma özellikleri nedeni ile aşınmaya karşı uygulamalarda sürtünen ve aşınan bölgelerin veya parçanın tamamının bu malzemelerden yapılması giderek yaygınlaşan metal matrisli kompozit uygulamalarındandır (Gallab *et al.* 1998). Alüminyum hafif bir metal olması nedeniyle, son yıllarda alüminyum matrisli kompozitler üzerinde yoğun bir araştırma yapılmaktadır. Bu çalışmalarda amaç hafif olan ve üstün özelliklere sahip yapılar elde etmektir. Alüminyum içerisine katılan SiC, TiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> v.b. seramik parçacıklar kompozit malzemenin çekme dayanımı, elastiklik sabiti, aşınma dayanımı ve özellikle yüksek sıcaklık dayanımı gibi özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir (Kurt 1992).

## 2.4 Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Üretimi

Metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminde pek çok değişik yöntem mevcut olmasına rağmen, bu yöntemlerin bir çoğunda kompozit malzeme üretiminin en önemli sorunu matris ve takviye elamanının birbirini ara yüzeyde yeterince ıslatamamasıdır. Bu problemlere takviye fazın eriyik metal içerisine dışarıdan ilave edildiği tüm kompozit üretim yöntemlerinde rastlanılmaktadır ve mekanik özellikler bu problemin varlığından dolayı olumsuz etkilenmektedir (Acılar 2002). Günümüze kadar yapılan çalışmalar ve elde edilen deneyimler yüksek sıcaklıklardaki dayanımın, yapıdaki çökeltiler yerine, ince dağılımlı parçacıklarla daha iyi sağladığını göstermektedir. Ancak bu yapıyı geleneksel döküm yöntemleri ile elde etmek mümkün olmamaktadır. Takviye parçacığının boyu, hacimsel oranı, homojen dağılımdaki problemler ile parçacık-matris ara yüzeyinde meydana gelen tepkimeler, döküm yerine toz metalurjisi teknikleri ile rahatlıkla aşılabilmektedir (Zhou *et al.* 2002).

## 2.5 Alümina ve Özellikleri

Günümüzde alümina kimyasalları dünyanın birçok bilimsel, teknolojik ve endüstriyel uygulamalarında araştırılmakta ve kullanımı günden güne artmaktadır. Alüminanın bilimsel keşfi geçen yüzyıl içindedir fakat ticari olarak kullanımı, 1907 yılında yüksek alümina seramik üretimine ait bir patentle başlamıştır (Önel vd. 1995).

Alüminyum, oksijen, hidrojen, ( $Al_2O_3$ ),  $AlOOH$  ve  $Al(OH)_3$  olarak üç kristalin bileşim formundadır. Alümina, bir oksit malzemesidir. Değişik modifikasyonları olmasına rağmen ticari kullanım alanına sahip olan  $\alpha$ - $Al_2O_3$  türüdür. Alümina bazlı malzemelerde diğer ürünler  $SiO_2$ ,  $CaO$ ,  $MgO$  olup spinel ve silikat formunda bulunurlar. Alüminanın ilk ticari kullanım alanı buji ve laboratuvar malzemeleridir.

Bugün alümina özellikle yüksek sıcaklık fırınlarında geniş çapta kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra kesici takım, yatak malzemesi, tekstil endüstrisinde iplik kılavuzu

olarak ayrıca elektronik endüstrisinde, zırh yapımında, tıpta implant ve protezlerde kullanılmaktadır.

Ergime noktası  $2000\pm 30^{\circ}\text{C}$  olan alüminyum oksit düşük sıcaklıklarda kimyasal maddelere ve mekanik yüklere karşı en dayanıklı malzemelerden birisidir. Alümina, suda ya da iyi kalsine edilmişse hem mineral asitlerinde hem de bazlarda çözünmez. Sodyum karbonat, kostik soda ve sodyum peroksit, saf alümina potalarda çok az tahribatla eritilebilir.  $1700\text{--}1800^{\circ}\text{C}$  gibi yüksek sıcaklıklarda, flor gazı dışında bütün gazlara karşı direnç gösterir. Alümina, oksitleyici ve indirgeyici atmosferde  $1900^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar kullanılabilir.

Doğal alümina, korundum halinde fakat feldspat ve killerde olduğu gibi genellikle silikatlarla birlikte bulunur. Alümina aynı zamanda, boksit, diaspor, kriyolit, sillimanit, kyanit, nefelit ve diğer birçok mineralin bileşiminde yer almaktadır. Saf alümina, düşük sıcaklıkta birkaç formda bulunur. Fakat bütün bu formlar zaman, kristal boyutu ve atmosfere bağlı olarak,  $750\text{--}1200^{\circ}\text{C}$  arasında  $\alpha$ -alüminaya dönüşür.  $1600^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerinde yapılan ısıtma bu dönüşümü hızlandırır.

Alüminadan, gözenekli ve yoğun ürünler yapılır. Gözenekli ürünler genellikle ergimiş alüminadan yapılır ve bunlar  $1900^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar çıkan, yüksek sıcaklık fırınlarının astarı olarak kullanılır. Ergimiş alümina % 99,8  $\text{Al}_2\text{O}_3$  içerir. Safiyet yükseldikçe, sıcak mukavemet, elektrik ve aşınma direncinde artış kaydedilir. Alümina ürünler, slip-dökümle, ekstrüzyonla, enjeksiyon kalıbı, soğuk ve sıcak presle şekillendirilebilir. Şekillendirmede un, polivinil alkol mum, lastik lateks, doğal reçine gibi organik bağlayıcılar ve yağlayıcılar kullanılmaktadır. Çok ince toz boyutuna sahip, tamamen saf alümina ancak Sol-Jel yöntemi ile üretilmektedir (Değerli vd. 2002).

## 2.6 Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler, iki veya daha fazla malzemenin kullanım yerindeki aranan özellikleri verebilecek daha uygun bir malzeme için makro seviyede birleştirilmesi sonucu elde edilen malzemelerdir (Hiçyılmaz 1999).

Makro yapısal düzeyde yapılan tanımlamaya göre kompozit malzemelerin iki temel karakteristiği vardır. Kompozit malzemeyi meydana getiren bileşenlerin her biri kimyasal olarak çoğu zaman farklıdır.

Esas olarak kompozit malzemeleri oluşturan bileşenler birbiri içinde çözülemez. Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenler yapı içerisinde kendi özelliklerini korurlar, öyle ki fiziksel olarak belirlenebilir ve bileşenler arasındaki ara yüzey kolaylıkla gözlemlenebilir (Şahin 1999).

## 2.7 Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Kompozit malzemeler çoğunlukla, matris ve güçlendirici olmak üzere iki bileşenden meydana gelmektedir. Kompozit malzeme üretimi ile malzemelerin şu özellikleri geliştirilebilmektedir:

- |                     |                              |
|---------------------|------------------------------|
| a- Dayanım          | f- Yorulma ömrü              |
| b- Korozyon direnci | g- Sıcaklığa bağlı davranışı |
| c- Aşınma direnci   | h- Isı yalıtımı              |
| d- Estetik özelliği | ı- Isıl iletkenlik           |
| e- Ağırlık          | j- Ses yalıtımı              |

Bu avantajların hepsini aynı anda gerçekleştirmek imkânsızdır (Hiçyılmaz 1999). Uygun matris/takviye elemanı seçiminin, sistemin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine etkisi büyüktür. Çünkü kompozit içerisinde matris tarafından yükün takviye

elemanına aktarılmasında matris ile takviye elemanı arasındaki ara yüzey bağının da kuvvetli olması gerekmektedir. Ara yüzey bağının kuvvetli olması ise çiftlerin uyumuna ve matrisin ıslatabilirlik özelliğine bağlıdır. Bunun yanında üretim tekniği seçimi dışında takviye elemanlarının matris içerisinde homojen dağılımının da matris alaşımı ve takviye elemanı çiftlerinin uygun seçimine bağlıdır. Bu avantajlarının yanında bazı dezavantajları da mevcuttur bunlar:

a-Üretim güçlüğü,

b-Pahalı olması,

c-İşlenme problemi ve gerekli yüzey pürüzlülüğünün eldesinin güçlüğü,

d-Diğer malzemeler gibi geri dönüşümün olmayışı,

e-Kırılma uzayışının az oluşu (Çıtak, 1998).

## **2.8 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması**

Kompozit malzemelerin yapılarının açıklanmasıyla bu malzemeler üzerinde işlerliğini koruyan sınıflandırmalar yapılmaktadır. Malzeme kombinasyonları (örneğin metal-organik veya metal-inorganik), bileşen fazların karakteristikleri (Örneğin matris sistemleri veya tabaka yapılar), bileşenlerin dağılımları (örneğin sürekli, süreksiz), fonksiyonları (örneğin elektriksel veya yapısal) ve özellikleri göz önüne alınarak kompozit malzemelerin çok değişik sınıflandırılmaları yapılmıştır Yapısal bileşenlerin şekline göre yapılan bir sınıflandırma işlemi aşağıdaki gibidir:

- Fiber kompozitler,
- Levhasal kompozitler,
- Partikül kompozitler,
- Doldurulmuş (iskelet) kompozitler,
- Tabakalı kompozitler,

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

- Polimer matrisli kompozit malzemeler
- Seramik matrisli kompozit malzemeler
- Metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler olmak üzere.

### **2.8.1 Polimer matrisli kompozitler**

Polimerler, metal ve seramiklere göre çok daha karmaşık yapıdaki malzemelerdir. Matris olarak kullanılan polimerler ucuz ve kolaylıkla çalışılabilir malzemelerdir. Diğer taraftan düşük elastik modüle ve düşük kullanım sıcaklığına sahiptirler. Termoset ve termoplastikler olarak iki gruba ayrılan polimer matrisler genelde sürekli fiberlerle kullanılır. Bunlardan en önemli olanları sürekli fiberlerle takviye edilen polyester ve epoksi reçine matrislerdir. Epoksi reçine matrisli kompozitlerin en önemli uygulamalarından biri havacılık uygulamalarıdır. Polimer matrisli kompozit malzemelerin kullanıldığı ortamlarda göz önüne alınması gereken en önemli faktörler sıcaklık ve nemdir. Özellikle bu iki faktörün beraber etkin olduğu şartlarda polimer matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinde hidrotermal etkilerden dolayı düşüşler meydana gelmektedir. Polimer matrisli kompozitlerin üretilmesinde en çok bilinen ve en fazla kullanılan metotlardan bazıları; elle sıvama, telle sarma, kese kalıplama işlemi, sıvı akış tekniği, takviyeli reaksiyon enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon ve ısıl oluşturma yöntemleridir. Polimerlerde kullanılan – takviye malzemelerinden en önemli olanları; cam fiber, kevlar fiber, bor fiber ve karbon fiberlerdir.

### **2.8.2 Metal matrisli kompozitler (MMK)**

MMK malzemelerin yerlerine kullandıkları metal ve diğer bazı malzemelere göre küçümsenmeyecek üstünlükleri mevcuttur. MMK'ler ;



- Yüksek elastik modüle sahiptirler,
- Yüksek mukavemet (çekme, basma, aşınma, sürünme dayanımı) gösterirler,
- Daha yüksek sıcaklıklarda çalışırlar,
- Metallerin süneklik ve tokluk, seramiklerin yüksek mukavemet ve yüksek modül özelliklerini birleştirirler,
- Tekrar üretilebilir özelliklere sahiptirler,
- Düşük yoğunluk değerleri verirler,
- Sıcaklık değişiklikleri veya ısıl şoklara karşı düşük hassasiyet gösterirler,
- Yüksek yüzey dayanıklılığı ve yüzeydeki dalgalanmalara karşı düşük hassasiyete sahiptirler,
- Yüksek elektrik ve ısıl iletkenlik özellikleri mevcuttur.

Metal matrisli kompozit malzemeler takviye elemanı olarak sürekli fiberler, süreksiz (kısa) fiberler, partiküller vb. kullanılmaktadır. Kompozit malzemeler takviye elemanının ismiyle anılırlar. Örnek olarak sürekli fiber ile güçlendirilmiş ise; sürekli fiber takviyeli MMK veya kısa fiberler ile güçlendirilmiş ise kısa fiber takviyeli MMK malzemeler olarak adlandırılmaktadır (Zhou *et al.* 1997).

Kompoziti oluşturan diğer önemli eleman matristir. Matris kompozitin birçok özelliğini üzerinde taşır. Kompoziti oluşturan en önemli malzeme olan matrisin takviye elemanlarını bir arada tutmanın dışında daha birçok kritik görevleri vardır. Birçok takviye elemanı gevrek veya kırılmandır. Matrisin bunların yüzeylerini kazıma aşınması vb. dış ve çevresel etkilere (bu etkiler ilerde çatlaklara neden olmaktadır) karşı koruyup dirençlerini arttırmakta, kompozit üzerine gelen yükü takviye elemanı homojen olarak dağıtmakta ve kompozit içerisindeki hata ihtimalini azaltmaktadır (Da Silva *et al.* 1991).

Metal matrisli kompozitler genelde iki bileşenden meydana gelmektedir. Bunlardan biri metal matris (genelde bir metal alaşımıdır) diğeri ise takviye malzemesidir (genel olarak bir metaller arası bileşik bir oksit, bir karbür veya bir nitrür). Kompozitin üretilmesinde

matris ve takviye malzemesi beraber olarak karıştırılırlar. Bir kompoziti elde etmek için başlangıçta farklı elemanlar seçilir. Örneğin; metal matris ve takviye malzemesi. Tüm durumlar için matris, bir metaldir. Ancak saf metallerin matris olarak kullanılmasına çok nadir rastlanır. Genelde matris olarak metal alaşımları tercih edilir (Akbulut vd. 1995).

Metal matrisli kompozitler yüksek elastik modüle, yüksek çekme-basma ve kayma mukavemetine, yüksek servis sıcaklığına sahip olmaları ayrıca, metallerin süneklik ve tokluğunu, seramiklerin yüksek mukavemet ve yüksek elastik modül özelliklerini birleştirmelerinden dolayı son derece önemli bir mühendislik malzemeleri olmuşlardır. Bu üstünlüklerinin yanında tekrar üretilebilir mikroyapı, mekanik özellikler ve düşük yoğunluk değerleri vermeleri açısından daha da önem kazanmışlardır.

MMK üretiminde kullanılan takviye malzemeleri temelde;

- Sürekli fiberler,
- Süreksiz fiberler,
- Viskerler,
- Teller,
- Partiküllerdir.

Bu malzemeler tipik olarak oksit, nitrür ve karbürler olarak sınıflandırılabilirler. Takviye edilen seramik malzemeler yüksek elastik modüle, düşük yoğunluğa, yüksek ergime sıcaklığına, düşük ısıl genleşme katsayısına sahip olmalıdır. MMK malzemelerin en önemli özelliklerinden birisi de matris alaşımlarına göre daha yüksek sıcaklıklarda kullanılabilirlerdir. Seramik takviye malzemesi ilavesinin matris alaşımının yüksek sıcaklık mukavemetini artırdığı tespit edilmiştir. MMK malzemelerin bir başka avantajı matris alaşımına göre kullanılan seramik takviye malzemesinin düşük yoğunluğundan dolayı kompozitinde yoğunluğunun düşmesidir (Hiçyılmaz 1999).

## **2.9 Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Teknikleri**

Fiber takviyeli metal matrisli kompozitler çok çeşitli şekillerde üretilir. Bu üretim teknikleri iki ana grupta toplanır. Birincisi sıvı halde üretim, ikincisi ise katı halde üretim tekniğidir.

### **2.9.1 Sıvı halde üretim tekniği**

Sıvı halindeki üretim metodu kolay ve hızlı olmasından dolayı metal matrisli kompozitlerin üretiminde sıkça kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılan sıvı halde üretim metotları, ergimiş metal emdirme, eriyik içerisinde takviye elemanı karıştırma, plazma püskürtme vb. dir.

### **2.9.2 Katı halde üretim tekniği**

Metal matrisli kompozitlerde katı üretim tekniği değişik yöntemlerle yapılmaktadır. Bunlardan en yaygın olanları toz metalurjisi ile üretim, haddelenerek difüzyon bağı oluşturma, sıcak presleme metodu vb. gibi üretim metotlarıdır.

## **2.10 Yerinde Reaksiyonlarla Üretilen Metal Matrisli Kompozitler**

Günümüzde yaygın olarak kullanılmakta olan ve kuvvetlendirici partiküllerin dışarıdan matris içerisine katılması (ex-situ) ilkesine dayanan geleneksel metal matrisli kompozit (MMK) üretiminde yukarıda anlatılan olumsuzluklara sıkça rastlanmaktadır (Ji 2000; Jose 2002; Gao 2002). Özellikle, seramik-matris arayüzeyi bu olumsuzlukların kaynağını teşkil etmektedir. Buda, AMMK malzemelerin mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanımını sınırlandırmaktadır. Tüm bu problemlerin üstesinden gelebilecek ve arayüzey özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılan en etkili yöntem ise kuvvetlendirici partiküllerin sıvıya sonradan ilavesi yerine (ex-situ), sıvı eriyik

içerisinde yerinde (in-situ) reaksiyonlarla oluşturulmasıdır (Jose 2001; Kuznetsov 1996).

### **2.10.1 Yerinde reaksiyonlarla üretilen metal matrisli kompozitlerin avantajları**

Yerinde reaksiyonlarla üretilen metal matrisli kompozitlerin diğer malzemelere alternatif hale gelmelerinin en önemli nedeni aynı bileşendeki kompozitlere göre matris/kuvvetlendirici arayüzey eksik ıslatmalarının ortadan kalkmasıdır. Bu tip malzemeler kompozitin hem mekanik hem de korozif özelliklerini aynı anda iyileştirilmede de kullanılmaktadırlar. Bunlara ek olarak;

- Mukavemetlerinin çok daha yüksek olması,
- Sıcaklık değişikliklerine ve termal şoklara karşı düşük hassasiyet göstermeleri,
- Spesifik mukavemetlerinin çok yüksek olması,
- Ede edilen takviye fazlarının termodinamik açıdan kararlı olması,
- Takviye fazının matris içerisinde homojen bir şekilde dağılması,
- Aşınmaya karşı yüksek direnç göstermeleri,
- Yüksek elastik modüle sahip olmaları,
- Yeni tasarım esneklikleri sunmaları diğer ilgi çeken başlıca özellikleridir (Feng and Froyen 1999; Zhang *et al.* 2001; Greil 2002).

### **2.10.2 Yerinde reaksiyonlarla üretilen metal matrisli kompozitlerin dezavantajları**

Kompozit malzemeler, mantığı gereği çeşitli malzemelerin iyi özelliklerinin bir araya getirilmesi sonucunda, daha iyi özelliklere sahip malzemeler elde edilmeye çalışılır. Şayet her türlü bileşenin olumsuz özellikleri mevcutsa bu özellikler nihai kompozit malzemeye de yansır. Örneğin kompoziti oluşturan matris organik çözücülere karşı dayanıksızsa, bu olumsuzluk onun oluşturduğu kompozite de yansır. Dolayısı ile bu kompozit malzemenin organik çözücülerin bol miktarda bulunduğu ortamlarda

kullanılmaması gerekir. Aynı mantık sıcaklık, nem vb. gibi diğer etkenler açısından da yürütülebilir. Buna ek olarak;

- Üretimde kullanılan partiküllerin yüksek fiyatı,
- Sinterleme boyunca tane büyümesinin engellenememesi,
- Üretim esnasında istenmeyen reaksiyon ürünlerinin oluşabilmesi,
- Genellikle yüksek üretim sıcaklıklarına ihtiyaç duyulması,
- Henüz çok iyi tanımlanmış üretim parametrelerinin olmaması gibi dezavantajları da mevcuttur (Cui *et al.* 2000; Yu *et al.* 2003).

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1 Materyal

Bu çalışmada, yerinde reaksiyonlar ile üretilen metal matrisli kompozit malzemelerin üretimi için, fiziksel özellikleri aşağıda verilen Al–TiO<sub>2</sub> ikili ve Al–TiO<sub>2</sub>–C üçlü toz karışımları kullanıldı. Bu ikili ve üçlü toz karışımlarının seçimindeki amaç; yer değiştirme reaksiyonlarından yararlanarak, Al, Ti, (O<sub>2</sub>) ve C arasında belirli bir reaksiyon sıcaklığına ulaşıldıktan sonra seramik partiküller sentezleyebilmektir. Al matrisinde yüksek mukavemet/yoğunluk oranı elde edilebilmesi için matris içerisinde seramik fazların kullanılması kaçınılmazdır. Tüm karışımlar toplam 30 gr.'lık numuneler elde edilecek şekilde hazırlandı (Çizelge 3.1). Her iki toz sisteminde de ağırlıkça %10 TiO<sub>2</sub>, üçlü toz sisteminde ek olarak %1,5 C (grafit) kullanıldı.

**Çizelge 3.1.** Kompozit malzeme bileşenlerinin fiziksel özellikleri

Seramik Fazlar	Bileşenler	Safılık (%)	Boyut (µm)	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve TiC	Al	99	1-5	2,699
	TiO <sub>2</sub>	94	0,3-1	4,507
	C	99	1-2	1,900

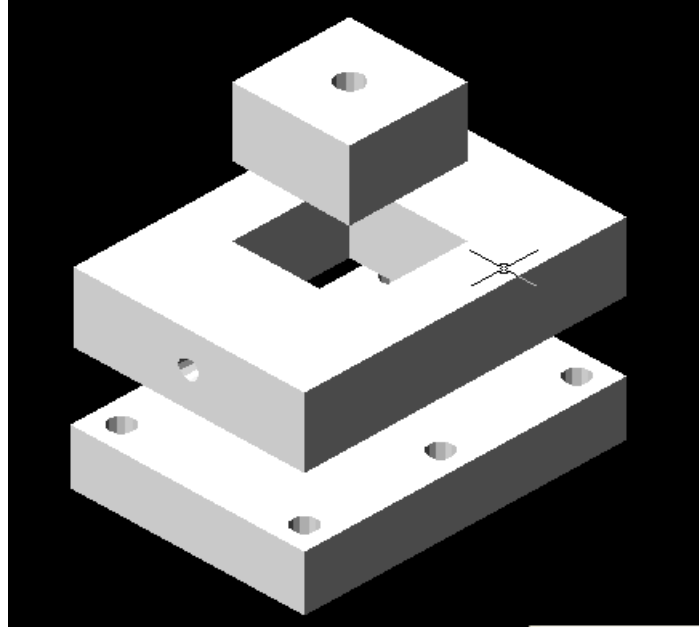
#### 3.2 Metal Matrisli Kompozitlerin Üretimi

MMK malzemelerin üretimi konvansiyonel reaktif sıcak presleme yöntemi ile gerçekleştirildi (Bedir ve Ögel 2002, Bedir vd. 2005). Çizelge 3.1 de fiziksel özellikleri verilen tozlar, seramik bir havan içerisinde elle karıştırıldı. Tozların homojen karışımını kolaylaştırmak ve çok küçük boyutlu olmalarından dolayı havaya karışmalarını önlemek amacı ile bir miktar izopropil alkol ilave edildi. Karıştırma işlemi bittikten sonra toz karışımları, nem gidermek maksadıyla kurutma fırınında 100°C'de iki saat süreyle

bekletildi. Tozlar, homojen bir karışım elde etmek için bir karıştırıcı içerisinde bir saat boyunca karıştırıldı (Şekil 3.1). Hazırlanan toz karışımları tek eksenli basmalı kare bir kalıp içerisine yerleştirildikten sonra küçük boyutlu toz partiküllerinin daha büyük boyutlu olanlarının aralarına yerleşebilmelerini sağlamak amacıyla kalıbın çevresine titreşim uygulandı. Kalıplar H13 sıcak iş takım çeliğinden üretilmiş olup işlendikten sonra yüzeyleri nitrürlenmiştir (Şekil 3.2). Soğuk presleme işlemi 40 ton kapasiteli bir hidrolik pres (Hidroliksan) yardımıyla 3 MPa basınç altında 1 saat süreyle gerçekleştirildi (Şekil 3.3). Daha sonra kalıp, argon (Ar) atmosferi altında hazır tutulan ve kompozit üretimleri için özel olarak dizayn edilmiş 1200°C'e kadar çıkabilen elektrikli bir fırın içerisine yerleştirildi. Fırın, üretim sıcaklığına ulaştıktan sonra toz karışımları 30, 60 ve 120'şer dakikalık sürelerle sinterlendiler. Numuneler, yerinde reaksiyonların gerçekleşmesinin ardından, kalıp sıcaklığı, Al'un yarı-katı sıcaklık aralığına düşürülüp elde edilen üretimleri yoğunlaştırmak amacıyla sıcak olarak preslendiler. Sıcak presleme esnasında hem poroziteyi azaltmak hemde eriyiğin kalıp dışına kaçmasını engellemek için maksimum 2 MPa'lık bir basınç uygulandı. Ayrıca, karşılaştırma yapabilmek amacıyla saf Al matris üretimi de gerçekleştirildi.



**Şekil 3.1.** Toz karıştırmada kullanılan döner cihaz



**Şekil 3.2.** Toz karışımlarının içerisinde yerleştirildiği kare hazneli kalıp



**Şekil 3.3.** Hidrolik pres ve sinterleme fırını



Çizelge 3.2’de üretim işleminin gerçekleştirilmesinde baz alınan işlem parametreleri sunulmaktadır.

**Çizelge 3.2.** Toz karışımlarının sinterleme sıcaklıkları ve süreleri

<b>Materyal</b>	<b>Karışım (ağırlıkça)</b>	<b>Sinterleme Sıcaklığı (°C)</b>	<b>Sinterleme Süresi (dakika)</b>
<b>Al-TiO<sub>2</sub> ikili karışımı</b>	Al - % 10TiO <sub>2</sub>	1000	30, 60, 120
<b>Al-TiO<sub>2</sub>-C üçlü karışımı</b>	Al - % 10TiO <sub>2</sub> - % 1,5C	1000	30, 60, 120
<b>Saf Al</b>	Al	1000	30

### 3.3 Karakterizasyon

- DTA–Diferansiyel termal analiz (PerkinElmer-DIAMOND): Diferansiyel termal analizler esnasında, numune ve referans maddeye Ar atmosferi altında kontrollü bir sıcaklık programı uygulandı. Referans madde olarak Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pota kullanıldı. Amaç, numunedeki sıcaklık değişimlerinin yol açtığı fiziksel değişimler ve kimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşan süreçleri gözlemleyebilmektir. Termal analizler için soğuk preslenmiş kompaktların iç bölgesinden yaklaşık 16–17mg’lık örnekler alındı. Her iki toz karışımı için de 1000°C sıcaklık esas alındı. Analizlerde fırının ısıtma ve soğuma kabiliyeti gereğince 13°C/dak.’lık bir ısıtma ve 10°C/dak.’lık soğuma hızı seçildi.
- XRD–X-Işınları difraktometresi (BRUKER, AXS D8 ADVANCE): XRD cihazından, hazırlanan toz karışımlarının doğrulanmasında ve üretilen kompozitlerin faz analizlerinde yararlandı. Elde edilen kırınım pikleri maddenin literatürdeki kırınım deseni ile karşılaştırılarak (kırınım açıları karşılaştırılarak) kompozitlerin kimyasal yapısı belirlenmeye çalışıldı.

- SEM–Taramalı elektron mikroskobu (JEOL, JSM 7001F): SEM cihazından, üretilen kompozitlerin içyapı morfolojilerinin karakterizasyonunda yararlanıldı. Bu yöntemde, numune yüzeyi yüksek enerjili bir elektron demeti ile taranarak geri saçılan elektronlar ve ikincil elektronların açığa çıkardığı sinyaller yardımıyla kompozitlerin içyapı görüntüleri elde edilmeye çalışılmıştır.
- Optik mikroskop (METKON, IMM–901): Üretilen kompozitlerin ön mikroyapısal incelemelerinde kullanıldı.

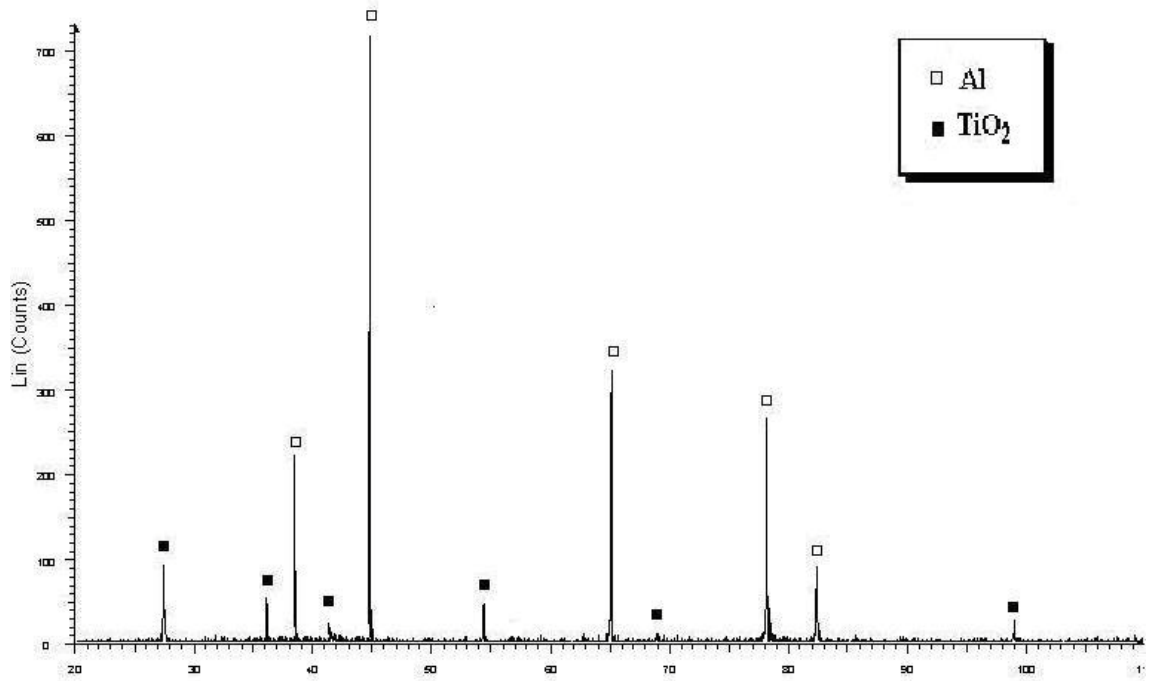
### **3.4 Mekanik Özellikler**

Kompozit malzemelerin makro sertlik ölçümleri, hazırlanan numunelerden 10 farklı ölçüm alınarak yapıldı. Makro sertlik ölçümleri EMCOTEST marka M1C010 model Brinell sertlik cihazı ile 31,25 kg yük altında alındı.

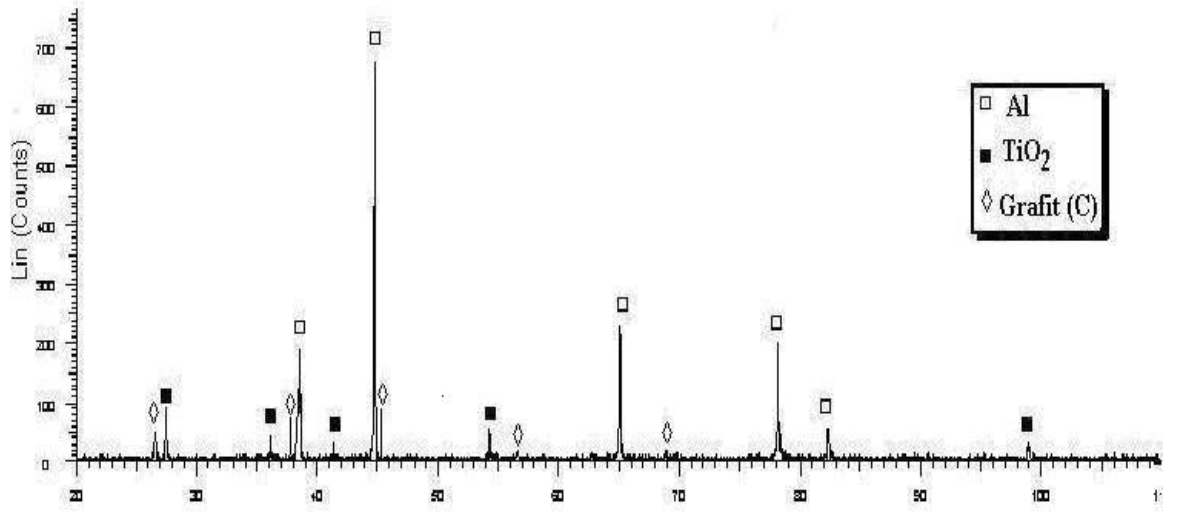
## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1 Toz Karışımların İçeriği

İkili ve üçlü toz karışımlarının sinterleme öncesi ve sonrası içerikleri XRD analizi vasıtasıyla tespit edilmeye çalışıldı. XRD analizlerinde, Al-TiO<sub>2</sub> ve C partiküllerine ait kırınım pikleri, bu elementler ve bileşiklere ait veri dosyaları ile karşılaştırılmış ve kullanılan bileşenlerin tam olarak uyduğu kanıtlanmıştır. İkili ve üçlü toz karışımlarının sinterleme öncesi içerikleri Şekil 4.1 ve 4.2’de görülmektedir.



Şekil 4.1. Al - %10 TiO<sub>2</sub> ikili karışımının sinterleme öncesi XRD analizi

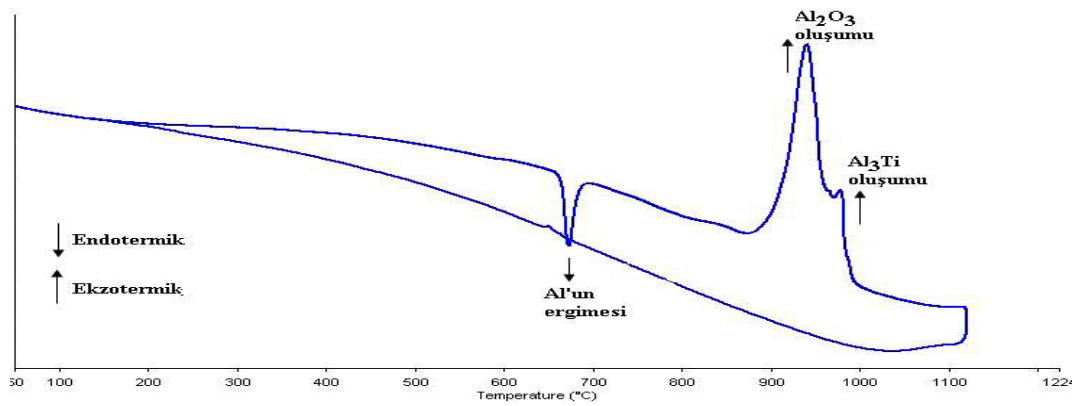


**Şekil 4.2.** Al - % 10 TiO<sub>2</sub> - %1,5 C üçlü karışımının sinterleme öncesi XRD analizi

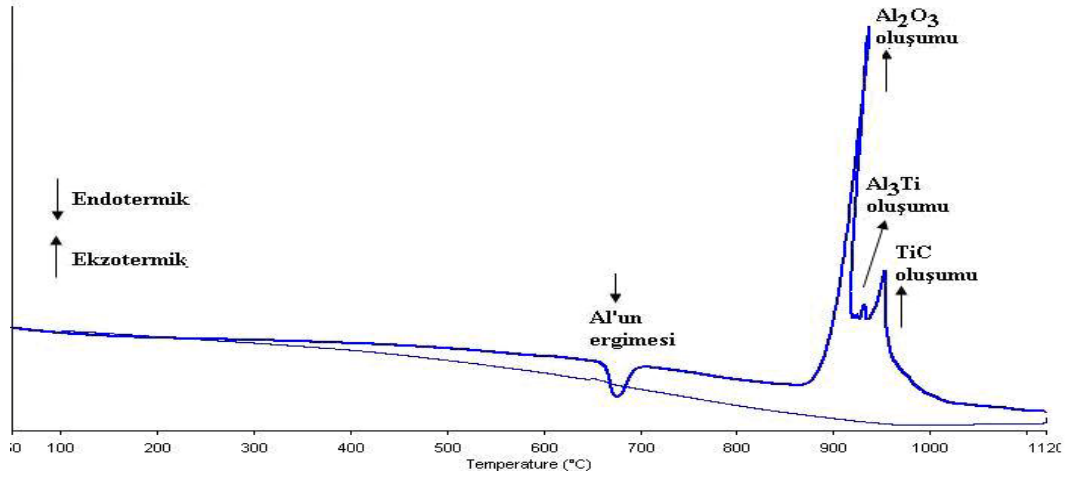
Şekil 4.1'deki ikili toz karışımının içeriği yalnızca Al ve TiO<sub>2</sub>'den oluşmaktadır. Şekil 4.2'deki üçlü karışıma ise C'un ilave edilmesi ile yapıda Al ve TiO<sub>2</sub>'in yoğunluklarının bir önceki karışıma göre daha da azaldığı görülmektedir.

#### 4.2 DTA Analizleri

İkili ve üçlü toz karışımlarının hangi sıcaklıkta reaksiyona girdiklerini tespit edebilmek amacıyla yapılan DTA analizlerine ait eğriler Şekil 4.3 ve 4.4'de görülmektedir.



**Şekil 4.3.** İkili karışıma ait DTA analizi eğrisi

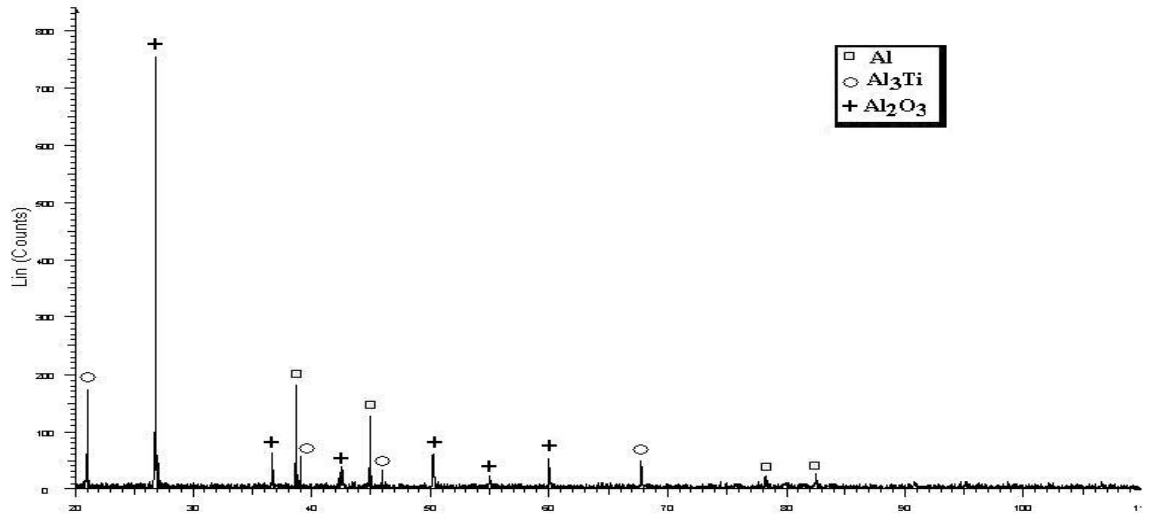


**Şekil 4.4.** Üçlü karışıma ait DTA analizi eğrisi

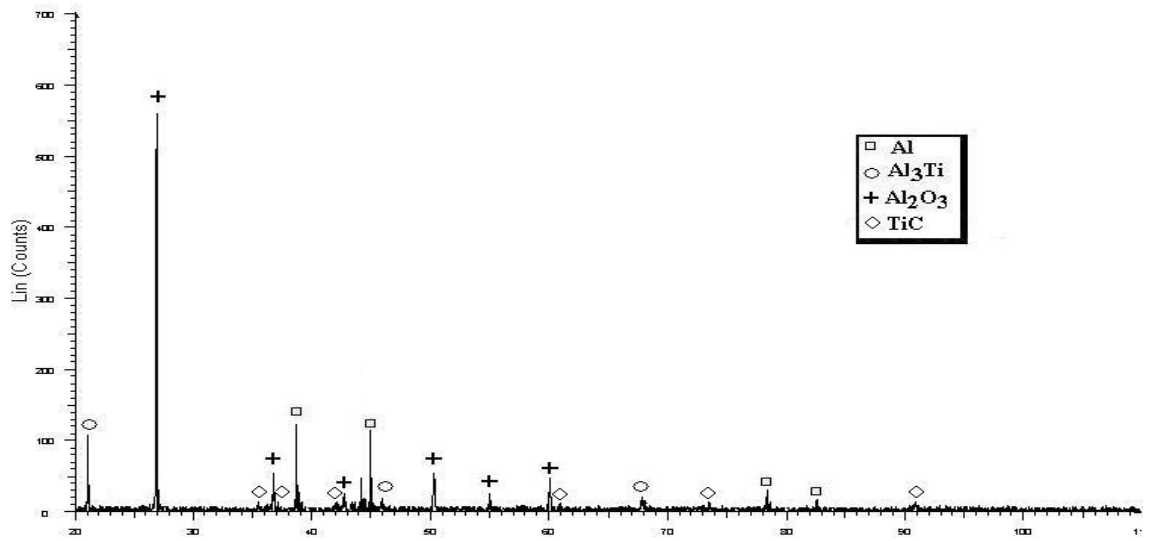
DTA analizlerinden her iki toz karışımının da endotermik ve ekzotermik piklere sahip olduğu görülmektedir. Analizlerde endotermik pikler Al'un ergimesine tekabül etmektedir ve her ikisinin de ergime derecesi yaklaşık olarak aynıdır ( $670^{\circ}\text{C}$ ). Al'un ergimesinden sonra alümina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) bileşiğinin, hemen ardından ise  $\text{Al}_3\text{Ti}$  intermetalik (metallerarası) geçiş fazının oluşacağı gözlenmektedir. Üçlü karışımda son olarak TiC bileşiğinin elde edileceği yapılan DTA analizlerinde belirlenmiştir.

### 4.3 Kompozitlerin XRD Analizleri

Toz karışımları 30, 60 ve 120'şer dakikalık süreyle sinterlenip hızlı bir şekilde soğutulduktan sonra elde edilen kompozit numuneler kalıptan çıkarılarak zımparalanıp parlatıldılar. Numunelerden uygun ölçülerde kesitler alınıp içeriklerinin belirlenmesi amacıyla XRD analizine tabi tutuldular. Üretimlerde, optimum yapının 60'ar dakikalık süreyle sinterlenen kompozit numunelerde oluştuğu gözlenmiştir. Şekil 4.5'de ikili kompozitin, Şekil 4.6'da ise üçlü kompozitin 60 dakikalık sürelerle sinterlenmesinden elde edilen XRD analizleri verilmiştir.



**Şekil 4.5.** 60 dakika süreyle sinterlenen ikili kompozitin XRD analizi



**Şekil 4.6.** 60 dakika süreyle sinterlenen üçlü kompozitin XRD analizi

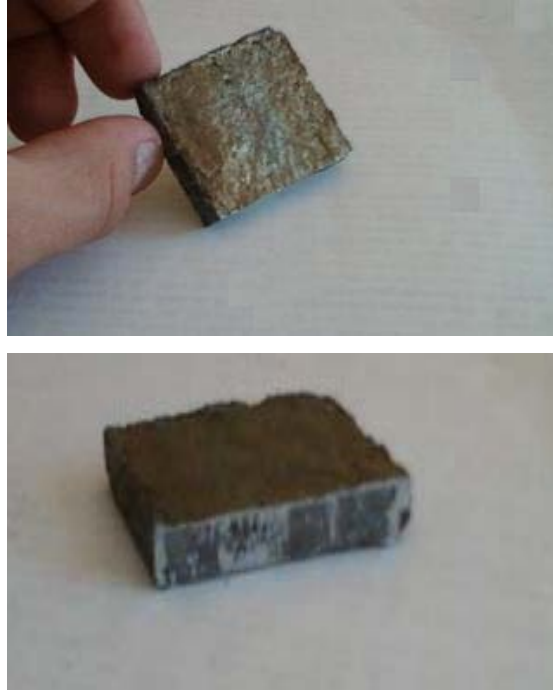
Kompozit numunelerin XRD analizlerinden, ikili kompozitin yapısında, sentezlenmesi beklenen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seramik fazı ile Al<sub>3</sub>Ti intermetalik bulunmaktadır. Bunun yanında matris durumunda olan reaksiyona girmemiş Al (alüminyum) da gözlenmektedir.

Üçlü kompozit numunede ise DTA analizlerini doğrular şekilde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiC seramik fazları mevcuttur. Bunun yanında Al<sub>3</sub>Ti metallererarası bileşiğinin ve Al'un yapıda halen

mevcut olduğu görülmektedir. Yapıdaki artık Al (alüminyum) ile  $Al_3Ti$ 'nin yoğunluklarında düşüş gözlenmektedir.

#### 4.4 Kompozitlerin Makroyapıları

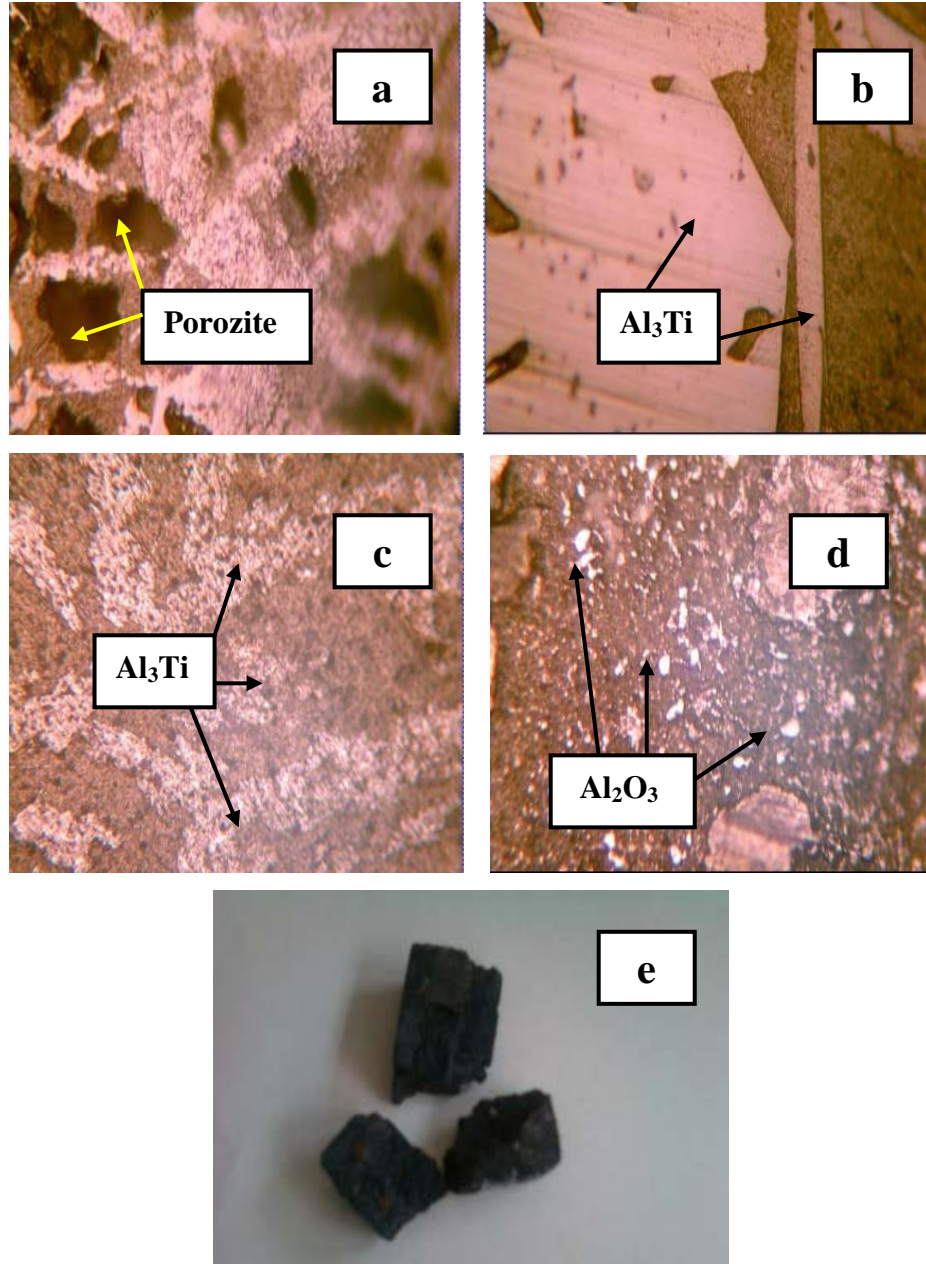
Sıcak presleme yöntemi ile üretilen kompozitlerin üretim sonrası makroyapı görüntüsü Şekil 4.7'de verilmiştir. Alüminyum matrisli kompozit malzemelerin göz ile yapılan makroskobik muayenesi neticesinde numunelerde herhangi bir üretim hatası ve makro porozite gözlenmemiştir. Üretilen numunelerin tümü kalıbın şeklinde ve bütün halde çıkarılmıştır.



Şekil 4.7. Üretim sonrası kompozitlerin makroyapısı

#### 4.5 Kompozitlerin Mikroyapıları

1000°C de yapılan üretimlerin ardından kompozit numunelerin mikro yapıları Şekil 4.8'de görülmektedir.

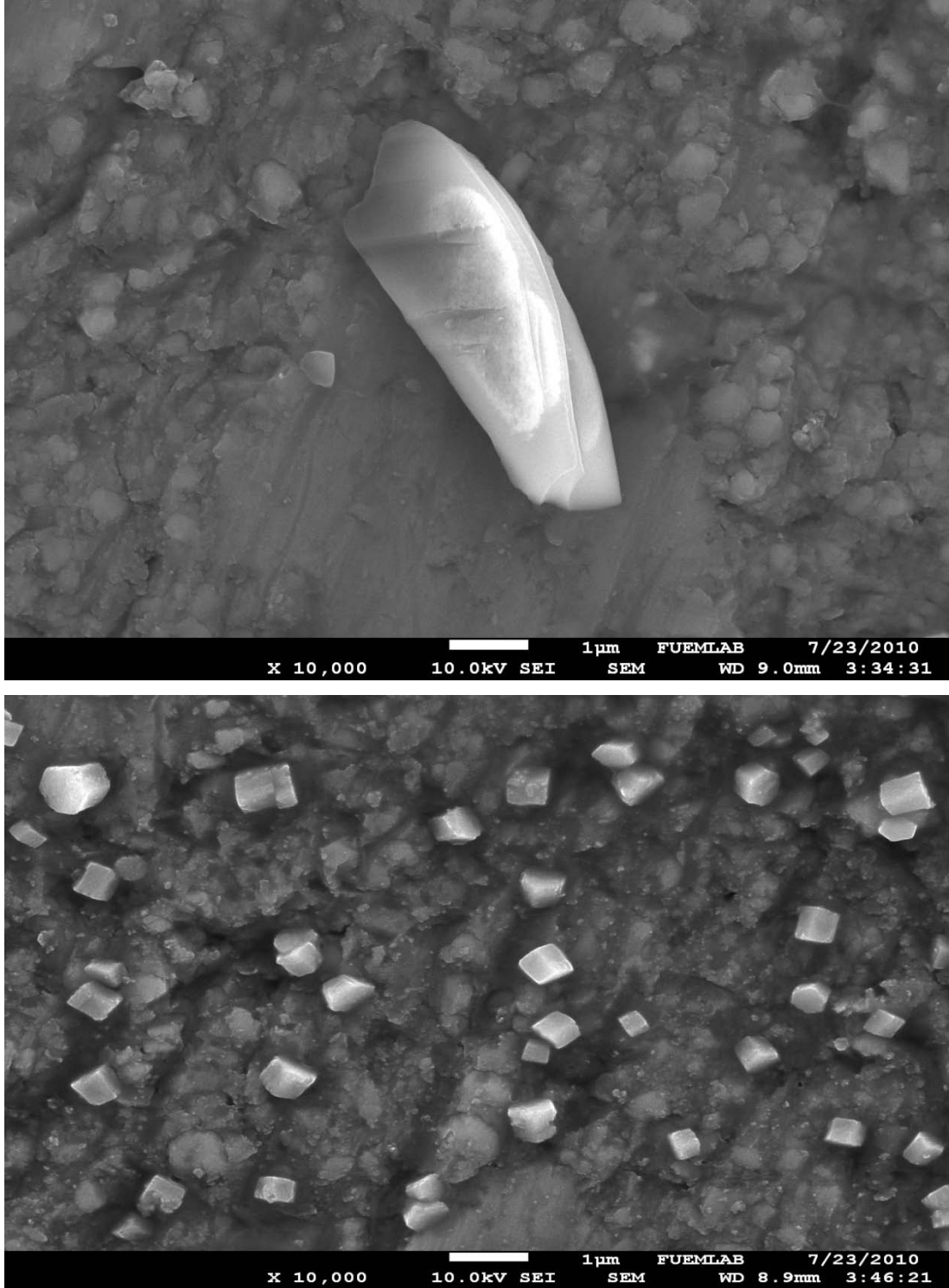


**Şekil 4.8.** Kompozitlerin mikroyapıları (x400) a) 30 dakika süreyle sinterlenen kompozit numunelerdeki poroziteler b) Her iki kompozitte de gözlemlenen Al<sub>3</sub>Ti intermetalik bileşiği c) Üçlü kompozitte çözünmeye başlayan ve boyutları küçülen Al<sub>3</sub>Ti bileşiği d) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seramik fazı e) 120 dakika süreyle sinterlenen kompozit numuneler

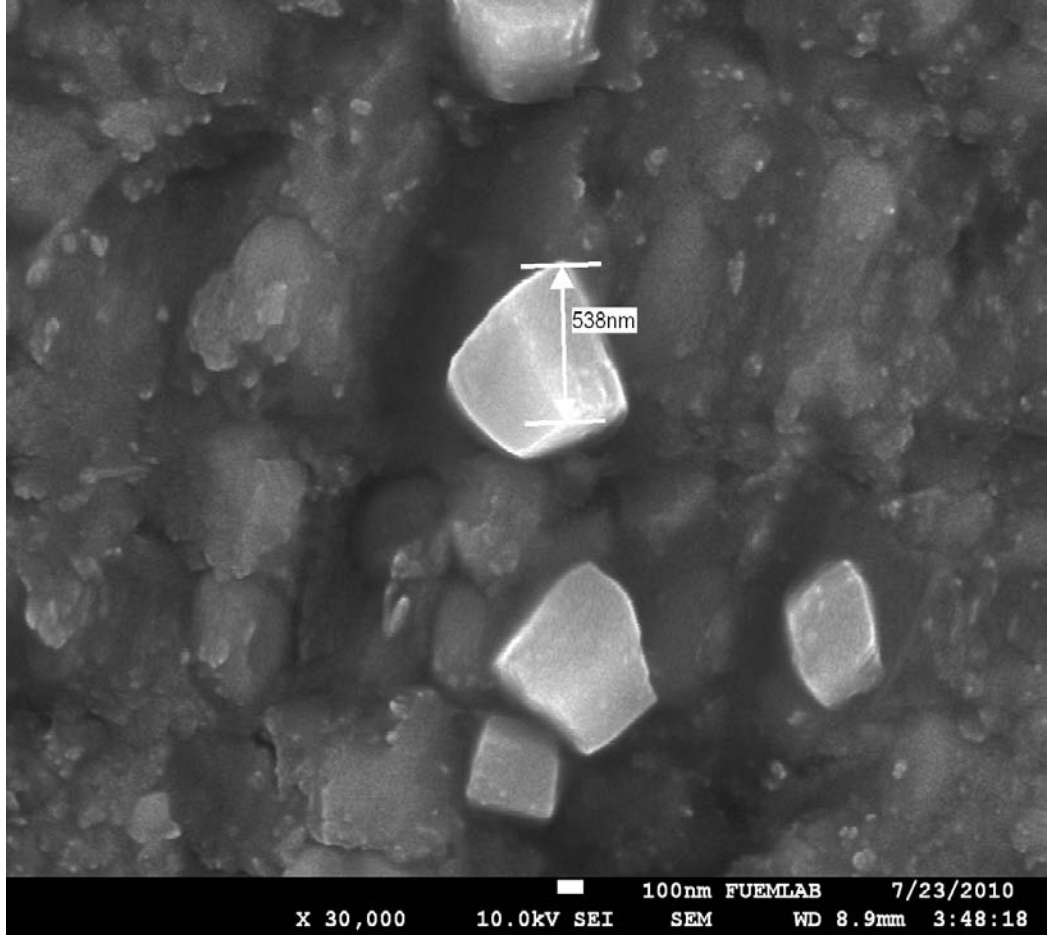
Şekil 4.8.'de kompozit numunelerin mikroskop altında 400 büyütmedeki görüntüleri verilmektedir. 30 dakikalık sinterleme sonucunda mikro yapıda bazı fazların oluşmaya



başladığı fakat bunun yanında yapıda porozitelerin var olduğu görülmektedir (Şekil 4.8.a). İkili kompozitte çok daha yoğun ve belirgin olarak gözlenen  $Al_3Ti$  geçiş fazının (Şekil 4.8.b), üçlü karışıma grafitin katılması ile birlikte çözünmeye başlayıp daha da incelmesi ve boyutlarının küçüldüğü gözlenmektedir (Şekil 4.8.c).  $Al_3Ti$  geçiş fazının daha uzun sinterleme sürelerinde veya daha yüksek sıcaklıklarda tamamen eriyip başka fazlara dönüşeceği açıktır. Şekil 4.8.d'de ise her iki kompozitte de oluşması beklenen beyaz renkteki  $Al_2O_3$  seramik fazının varlığı görülmektedir. Şekil 4.8.e'de 120 dakika boyunca sinterlenen kompozitlerin genel bir görünümü verilmektedir. Kompozitlerde bütün bir yapının oluşamadığı gözlenmiştir. Üçlü kompozitte yerinde reaksiyonlarla sentezlenmesi beklenen  $TiC$  seramik fazının boyutlarının mikron altı olmasından dolayı mikroskop altındaki görüntüsünden ziyade SEM görüntüleri daha net olarak Şekil 4.9'da görülmektedir.

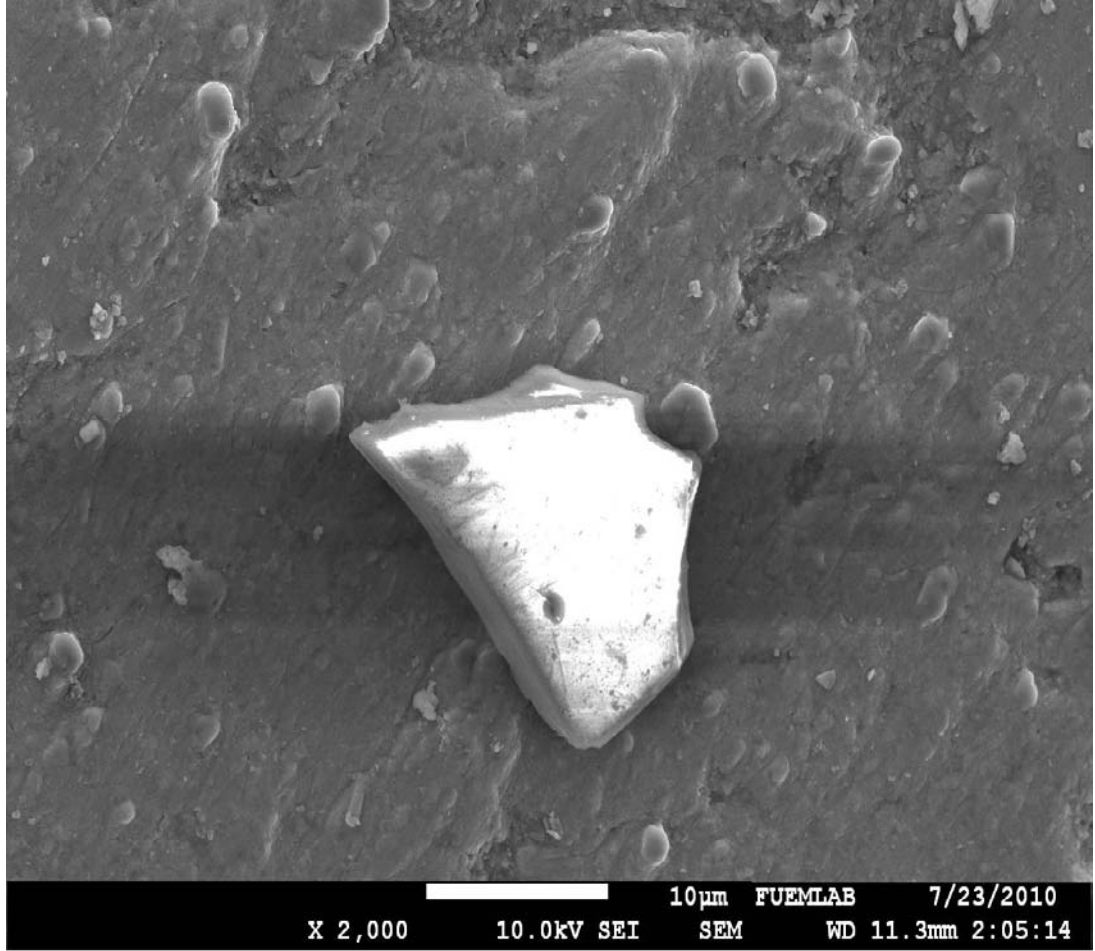


Şekil 4.9. Üçlü kompozitte sentezlenen farklı formlardaki TiC partikülleri



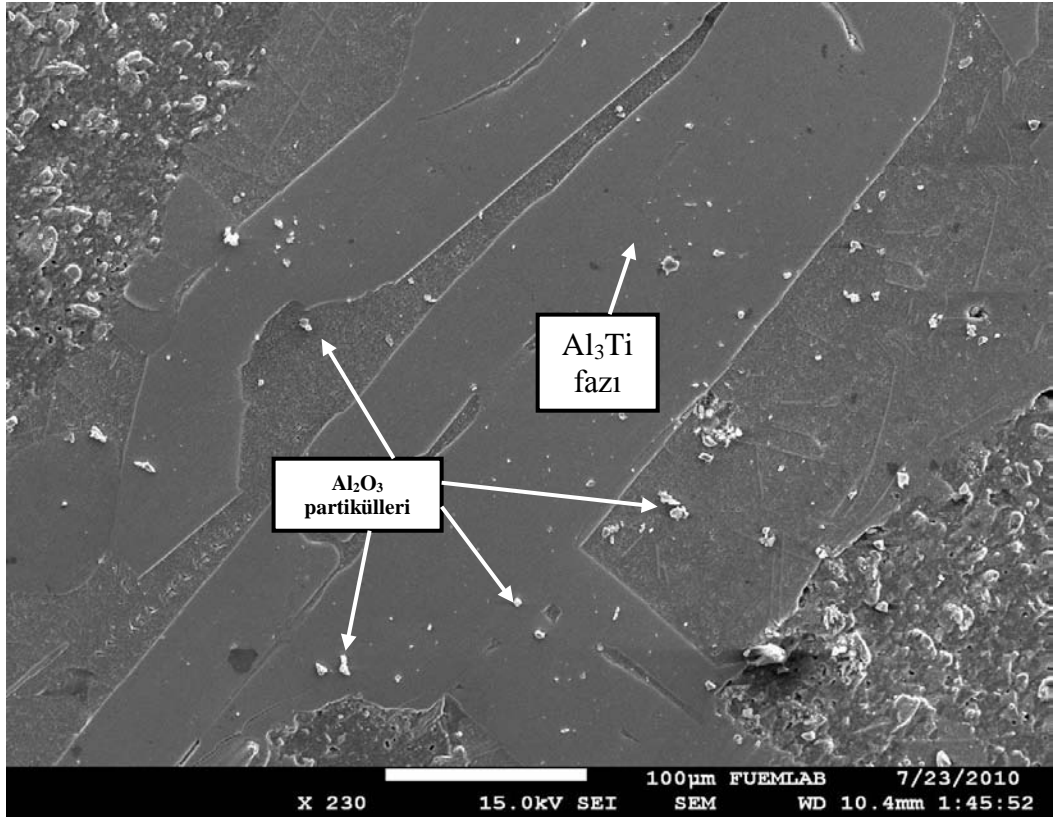
**Şekil 4.10.** Üçlü kompozitte sentezlenen mikronaltı büyüklükteki TiC partikülü

Her iki kompozitte de sentezlenmesi beklenen  $Al_2O_3$  partiküllerinin SEM görüntüsü Şekil 4.11’da görülmektedir.



**Şekil 4.11.** Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partikülünün SEM görüntüsü

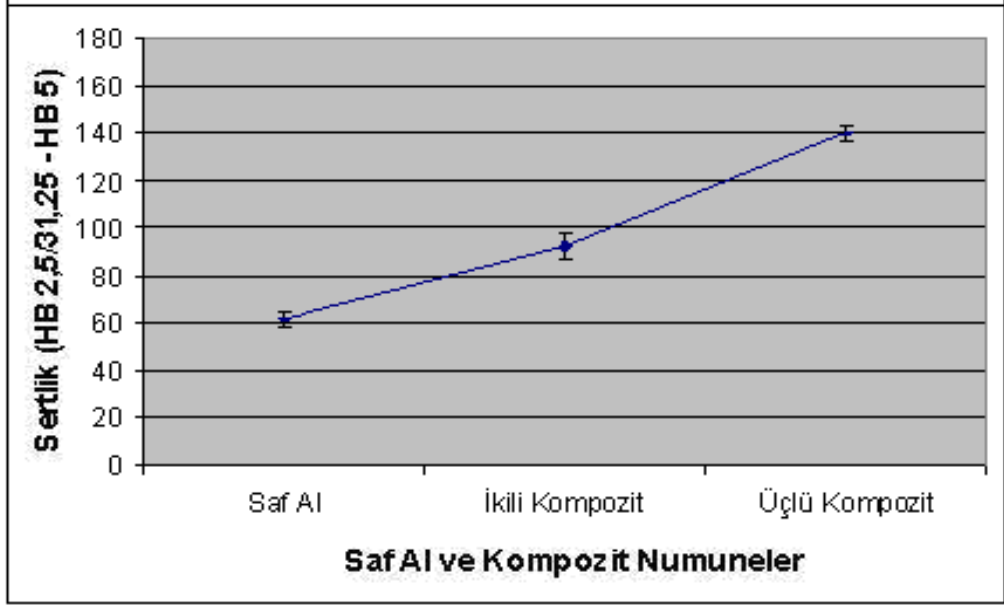
Al<sub>3</sub>Ti intermetalik bileşğinin ve bu bileşğın üzerinde yer alan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seramik partiküllerinin SEM görüntüsü ise Şekil 4.12’de verilmektedir.



**Şekil 4.12.** Al<sub>3</sub>Ti intermetalik bileşiği ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partikülleri

#### 4.6 Mekanik Özellikler

Üretilen kompozitlerin makro Brinell sertlik ölçümleri 2,5 mm çaplı bilya ile 31,25 kg yük altında 5 saniye süreyle yapıldı. Ölçümler neticesinde Saf Al'un sertlik değeri 62 HB, ikili kompozitin sertlik değeri 92 HB ve son olarak üçlü kompozitin sertlik değeri ise 140 HB olarak ölçülmüştür. Kompozitlerin standart sapma değerleri ise sırasıyla saf Al için 2,66 - ikili kompozit için 3,36 ve üçlü kompozit için 2,62 olarak hesaplanmıştır. Üretilen numunelerin sertlik ölçümleri Şekil 4.13 deki grafikte gösterilmektedir.



Şekil 4.13 Kompozitlerin makro sertlik ölçümleri ve standart sapma değerleri

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

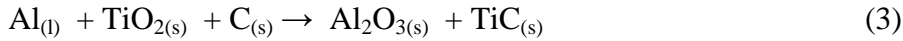
MMK malzemelerin mukavemet ve korozif özelliklerini iyileştirmenin ve istenmeyen matris/kuvvetlendirici arayüzey reaksiyon ürünlerini engellemenin en etkili yöntemlerinden biri kuvvetlendirici partiküllerin matris içerisine dışarıdan (ex-situ) direkt katılması yerine, yerinde reaksiyonlarla (in-situ) üretilmesidir. Bu amaçla, bu çalışma kapsamında  $Al_2O_3$  ve TiC partiküller konvansiyonel sıcak presleme yöntemiyle saf Al matris içerisinde başarılı bir şekilde sentezlenmiştir.

Hazırlanan ikili ve üçlü karışımlarının belirli sürelerle sinterlenmesi neticesinde saf Al'un içerisinde oluşması beklenen fazlar şöyledir (Eşitlik 1 ve 3):

### İkili karışım için:

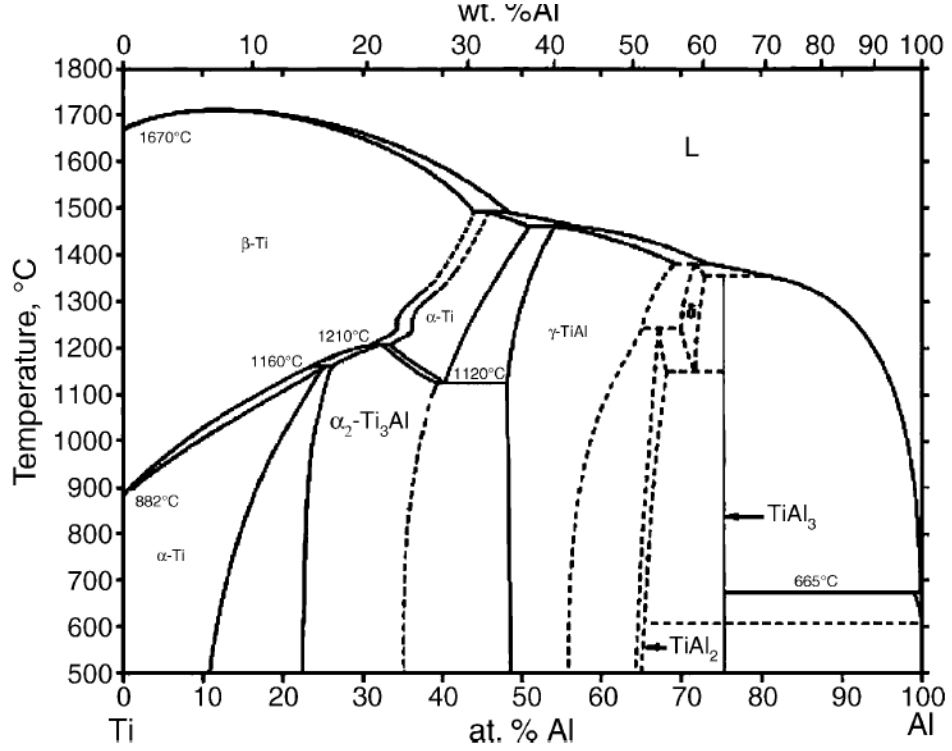


### Üçlü karışım için:



İkili karışımda; Eşitlik-1 ve Şekil 4.3.'de yeralan ikili karışıma ait DTA analizine göre yaklaşık olarak  $670^\circ C$ 'de ergiyen Al (Şekil 4.3.'deki endotermik pik) ile bu sıcaklıkta katı halde bulunan  $TiO_2$ , aralarında ( $O_2$ ) transferini gerçekleştirerek  $Al_2O_3$  seramik fazının sentezlenmesine yardımcı olmaktadır (Şekil 4.3, ilk ekzotermik pik- $950^\circ C$ ). Hemen ardından geriye kalan Ti (titanyum) ile matris durumundaki Al (alüminyum), Şekil 5.1.'deki Al-Ti ikili faz diyagramına göre Eşitlik-2 gereğince yaklaşık olarak  $970^\circ C$ 'de bir araya gelerek  $Al_3Ti$  olarak adlandırılan intermetalik geçiş fazını

oluşturmaktadırlar. 970°C; Şekil 4.3’de verilen ikili karışıma ait DTA analizinde yer alan ikinci ekzotermik pik değerine karşılık gelen sıcaklıktır.



Şekil 5.1. Al-Ti ikili faz diyagramı

Üçlü karışımdaki reaksiyonların gerçekleşme sırası ise yine ikili sistemdekine benzemektedir. Dolayısıyla önce Eşitlik-1’deki reaksiyon; Şekil 4.4’deki ilk ekzotermik pike karşılık gelen sıcaklığa göre 920°C’de, hemen ardından Eşitlik-2 deki reaksiyon yani  $\text{Al}_3\text{Ti}$  oluşumu ise yaklaşık olarak 930°C’de gerçekleşmektedir. Üçüncü ekzotermik pik ise Eşitlik-4 gereği TiC’e aittir. TiC’ün oluşabilmesi için  $\text{Al}_3\text{Ti}$  bileşiği ile C(grafit), yaklaşık olarak 950°C’de bir araya gelerek TiC seramik fazını oluşturmaktadırlar (Şekil 4.4). Bu reaksiyondan yine matris durumundaki Al (alüminyum) açığa çıkmaktadır. Hu *et al.* (2007)’de Al’un artan miktarları için yaptıkları çalışmada TiC fazının bu çalışmaya paralel olarak aynı şekilde sentezlendiğini gözlemlemişlerdir.



Üretilen kompozit numunelerde, 60 dakikalık bir sinterleme süresi sonunda ve 1000°C’de yapılan üretimler neticesinde optimum yapının elde edilebildiği ve TiC un oluştuğu gözlenmiştir. Oysaki Jiang *et al.* (1997)’de Al–Ti–C üçlü sistemi ile yerinde reaksiyonlarla TiC kompozitlerin tam olarak sentezlenebilmesi için 1050°C’den daha yüksek sıcaklıklara ihtiyaç olduğunu gözlemlemişlerdir. Ancak, bu çalışmada 1000°C’de yapılan üretimlerde kompozit malzeme içerisinde 950°C’de sentezlenen TiC’ün varlığı tespit edilmiştir. Bu durumun muhtemel sebebi; sinterleme süresidir. Çünkü Jiang *et al.* (1997) yaptıkları çalışmada sadece 10 dak.’lık bir sinterleme süresini kullanmışlardır oysa bu çalışmada 60 dakikalık bir reaksiyon süresinde TiC’ün oluştuğu gözlenmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkarak yerinde reaksiyonlarla elde edilen TiC oluşumunun hem sıcaklık hem de sinterleme süresinin bir fonksiyonu olduğunu söyleyebiliriz.

Şekil 4.8.c’de Al<sub>3</sub>Ti bileşiğinin ikili kompozitle aynı şartlar altında iken yapıda bulunan C ile reaksiyona girmek üzere artık giderek çözünmeye başladığını ve yapıdaki yoğunluğunu azalttığı gözlenmektedir. Bu bulgular, Al<sub>3</sub>Ti fazının çözünebilir bir bileşik olduğunu (Bırol 2006) ve TiC oluşmadan önce Al<sub>3</sub>Ti metallararası bileşiğinin oluştuğunu göstermektedir.

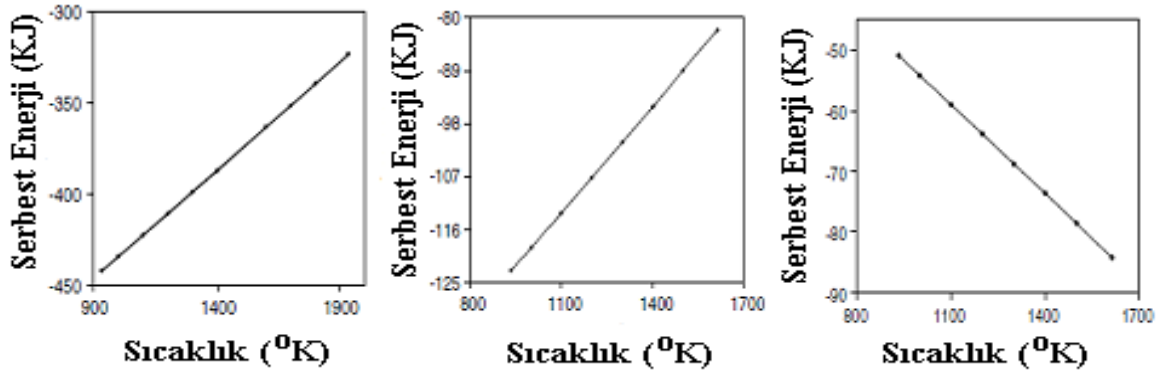
Bu çalışmada TiC seramik fazı; Al<sub>3</sub>Ti intermetalik bileşiği ile C (grafit)’un bir araya gelmesi neticesinde oluşmuştur. İkili ve üçlü kompozitlerin XRD ve DTA analizlerine bakıldığı zaman alüminyumun ergimesinden önce veya sonra başka herhangi bir fazın oluşmadığı görülmektedir. Oysaki Dikici (2008)’de Al-Ti-C üçlü karışım sisteminde TiC fazının oluşabilmesi için Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> (alüminyum karbür) bileşiği ile Al<sub>3</sub>Ti intermetalik fazının bir araya gelip yer değiştirme reaksiyonları sayesinde TiC’ün sentezlenebileceğini bildirmiştir. Nitekim DTA analizlerinde de, daha Al (alüminyum) ergirmeden C (grafit) ile tepkimeye girip Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> bileşiğinin oluştuğunu gözlemlemiştir. Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>; kompozit malzemelerin kullanılabilirliği ve mekanik özellikleri üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir, oldukça gevrek (kırılgan) bir fazdır ve su ile reaktif olarak kompozitin korozyona karşı duyarlı hale gelmesine neden olmaktadır (Yaghmaee 2001).

Fakat bu çalışmada, kompozit numunelerin yapısında adı geçen  $Al_4C_3$  bileşiğine rastlanmamıştır. Bunun nedeni, ısıtma hızı olabilir. Çünkü, Dikici (2008)'de numunelere  $10^{\circ}C/dak$ 'lık bir ısıtma hızı uygulamıştır. Bu çalışmada ise teknik imkanlar gereğince  $13^{\circ}C/dak$ 'lık bir ısıtma hızı uygulanmıştır. Dolayısıyla Al ile C'un reaksiyona girememiş olma ihtimali bulunmaktadır.

Şekil 4.12'de  $Al_3Ti$  fazının SEM görüntülerinde bu fazın üzerinde, bazı partiküllerin yer aldığı görülmektedir. Muhtemelen  $Al_2O_3$  (alümina) olan bu partiküllerin  $Al_3Ti$  fazının üzerinde veya kenarlarında olabileceğini Peng *et al.* (1997)'de yaptıkları çalışmada da gözlemlemişlerdir. Çünkü,  $Al_2O_3$  seramik partikülleri ile sıvı Al matris arasındaki ıslanabilirliğin oldukça düşük olduğu iyi bilinmektedir (Şahin, 1999). Bu yüzden bu partiküllerin arayüzey enerjilerini azaltmak amacıyla  $Al_3Ti$  fazının yüzeyine doğru hareket ettikleri ve  $Al_3Ti$  blokları tarafından sarılmış oldukları açıktır.

Son zamanlarda alüminyum esaslı kompozitler üzerinde yapılan çalışmalarda, kimyasal formülleri  $Ti_3AlC$  ve  $Ti_2AlC$  olan iki fazın varlığından da bahsedilmektedir (Song *et al.* 2004). Yapılan araştırmalarda; bu iki fazın,  $1273K$ 'de,  $Al_4C_3$ ,  $TiC$  karbürleri veya  $TiAl_3$ ,  $TiAl$ ,  $Ti_3Al$  gibi alüminaların aralarındaki reaksiyonlar sonucunda meydana geldiği bildirilmiştir ve sadece birer geçiş ürünleridir. Bu çalışmada üretilen kompozitlerin hiçbirinde bu fazlara rastlanmamıştır. Ayrıca, bu fazların oluşum mekanizmaları ve geçerlilikleri henüz tam olarak doğrulanabilmiş değildir (Song *et al.* 2004).

Yukarıda verilen eşitliklerde sentezlenmesi beklenen  $Al_2O_3$ ,  $Al_3Ti$  ve  $TiC$  fazlarının serbest enerji değişimlerini gösteren grafikler Şekil 5.2'de verilmektedir.



Şekil 5.2. Eşitlik 1, 2 ve 4'ün serbest enerji değişimleri, Sheibani *et al.* (2006)

Buna göre; Al ile  $TiO_2$  arasında yerinde reaksiyonlar ile oluşacak ilk partiküller,  $Al_2O_3$  partikülleridir. Serbest enerji değişimlerine bakıldığı zaman  $1273^\circ K$  sıcaklıkta, oluşum için, en düşük enerjiye alümina partiküllerinin sahip olduğu görülmektedir. Yine aynı sıcaklıkta  $Al_3Ti$  fazının oluşması için gerekli enerji değerinin  $Al_2O_3$  ile  $TiC$  arasında olduğu grafiklerden okunmaktadır. Son olarak Eşitlik 4'deki  $TiC$ 'ün oluşum enerjisinin ise diğerlerine göre daha fazla olduğu görülmektedir. Sheibani *et al.* (2006)'da alüminyum metal matrisli kompozit üretmek üzere yaptıkları çalışmada  $TiC$ 'ün oluşum mekanizmasını bu şekilde açıklamışlardır. Bu çalışmada da sentezlenen fazların oluşumu adı geçen çalışmadaki ile paralellik göstermektedir.

Literatürde, özellikle alüminyum esaslı kompozitler üretmek amacıyla hazırlanan toz karışımlarının, soğuk olarak preslenmesi sırasında matris bileşeninin yumuşak bir toz olmasından dolayı yüksek basınç altında (örneğin 5-7 Mpa) (Peng *et al.* 2005) bekletilmesi gerektiği belirtilmektedir. Oysaki, alüminyum ve benzeri yumuşak tozlar, sıkıştırılmaları esnasında önce şekil değiştirirler ve bu şekil değiştirmeden dolayı toz parçacıklarının sertliği artar. Sıkıştırmayı devam ettirebilmek için daha yüksek basınç uygulamak gerekir. Neticede malzeme, geri dönüşü olmayan bir noktaya kadar sertleşir. Dolayısıyla çok sert ve çok yumuşak tozlar daha düşük basınçlarda sıkıştırılırlar (German 2005). Alüminyum için tavsiye edilen soğuk presleme basıncı; 1,5-3 MPa arasındadır. Bu çalışmada üst sınır olan 3 MPa'lık sıkıştırma basıncı uygulanmıştır.

Bu çalışmada ikili ve üçlü toz karışımları 30, 60 ve 120 dakika sürelerle 1000°C’de sinterlenmişlerdir. 30 dakika boyunca sinterlenen numunelerin makro yapılarında herhangi bir bozukluk gözlenmemesine rağmen Şekil 4.8.a’da görüldüğü gibi mikroyapılarında porozitelere rastlanmıştır. Bunun nedeni, yer değiştirme reaksiyonları sırasında difüzyonun tamamlanabilmesi için yeterli zamanın verilmemiş olması olabilir. Çünkü, üretim esnasında, kalıbın koç kısmının azalan sıcaklıkla (enerjiyle) birlikte halen daha hareketli olduğu gözlenmiştir. Yani yarı-katı eriyik üzerine uygulanan basınç yeterli olmamaktadır. Dolayısıyla difüzyonun tamamlanmadan ve reaksiyonların gerçekleşmeden numunelerin soğutulmasından dolayı kompozit numunelerin mikroyapılarında poroziteler oluşmuştur. Durai *et al.* (2006)’de yaptıkları çalışmada alüminyum içerisine atomik olarak %10 ve %20 oranında ZnO katıp tutma (sinterleme) süresini parametre olarak kabul etmişlerdir. Elde ettikleri veriler vasıtasıyla matris içerisindeki takviye partiküllerinin oranının arttıkça kompozitin sertliğinin de artacağını, takviye partiküllerinin oranının ise tutma süresinin artırılması ile bağıntılı olduğunu ve dolayısıyla mikroyapıdaki porozitelerin azalacağını ortaya koymuşlardır. 120 dakikalık üretimlerde ise kompozit malzemelerin makro yapılarında bütünlük sağlanamadığı görülmüştür. Bunun nedeninin ise tane sınırlarında yanma olayının meydana gelmesinden dolayı olduğu düşünülmektedir (Şekil 4.8.e).

Bu çalışmada, konvansiyonel sıcak presleme yöntemi kullanılarak yerinde reaksiyonlarla Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiC kompozitler üretilmiştir. Üretim işleminde uygulanan basınç, sinterleme süresi, sıcaklık, ısıtma ve soğutma hızları üretim parametreleri olarak alınmıştır. Buradan elde edilen sonuçlara dayanarak üretilen kompozit malzemelerin içyapı ve oluşum mekanizmaları incelenmiştir. Ayrıca, Al esaslı kompozitlere sertlik testleri yapılarak kompozitlerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen bulgulardan aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Üretilen kompozitler ve yapılan analizler göz önüne alındığında sıcak presleme yöntemiyle seramik fazların sentezlenmesinin birçok üretim faktörüne bağlı olduğunu ve en iyi sonuçlara bu parametrelerin optimize edilerek ulaşılabileceği görülmüştür.

- Bu tekniğin en önemli başarılarından birisi yerinde reaksiyonlarla üretim için belki de kolay ve nispeten daha ucuz bir yöntem olmasıdır.
- Bu çalışma sonucunda  $Al_2O_3$  ve TiC seramik fazları başarılı bir şekilde sentezlenmişlerdir. Bu bileşikler takviye partikülleridir ve kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini artırmaktadırlar.
- Yerinde reaksiyonlar sayesinde termodinamik olarak kararlı takviye partikülleri, temiz matris/takviye arayüzeyleri oluşturulabilmişlerdir.

Üretim işlemini etkileyen başlıca faktörleri şu şekilde sıralamak mümkündür;

- **Matris:** Matrisin kompozisyonu, ergime sıcaklığı ve kalıp üzerine yapışması gibi fiziksel özellikler kalıp ömrünü ve nihai kompozitin kalitesini doğrudan etkilemektedir.
- **Sinterleme sıcaklığı:** Ergimiş metalin kalıp bileşenleri ile temas eden yüzeylerinde meydana gelen hasarlar. Bunlar hem katılaştırma kalitesi hem de kalıp ömrünü açısından son derece önemlidir. Geleneksel karıştırma şekillerine göre, sıcak pres yönteminde eriyiğin akışkanlığı yüksek olmasına karşın, uygulanan basınç sayesinde kalıbın eriyik ile istenilen biçimde dolması sağlanır. Diğer taraftan, çok yüksek üretim sıcaklığı sıvı metalin erkek-dişi kalıp birleştirme ara yüzeylerinin içine doğru nüfuz ederek kalıbın sıkışmasına sebep olabilmektedir.
- **Kalıp şekli:** Kalıp cidar kalınlığı, ısı transfer hızlarını ve buna bağlı olarak malzemenin soğuma davranışını etkilediğinden önemlidir. Kalıp, metalin hızlı katılaşmasına olanak sağlayacak yeterlilikte ancak numune yüzeyinde hızlı soğuma nedeniyle büzülmelere meydan vermeyecek şekilde tasarlanmalıdır.

– **Soğuma hızı:** Soğuma hızı arttıkça matrisin tane boyutu azalacaktır ve yerinde reaksiyonlarla üretilen TiC partiküller tam olarak Al taneleri içerisinde mikron altı boyutta sentezlenebilmektedir.

– **Basınç:** Basınç, sıcak preslemede en önemli parametrelerinden biridir. Uygulanan basınç, katılma sıcaklığı ve numune/kalıp arayüzündeki ısı transfer hızına ve dolayısıyla kompozitin katılma davranışını etkilemektedir. Bu da kompozit malzemenin mikroyapısal ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir.. Yapılan çalışmalar, üretimde optimum yapının, basıncın sıvı metalin yarı-katı sıcaklığında uygulanması ile elde edildiğini göstermektedir.

Bu çalışmada yapılan deneyler ve analizler neticesinde  $Al_2O_3$  ve TiC seramik partiküllerinin alüminyum matris içerisinde  $1000^{\circ}C$  sıcaklıkta ve 60 dakikalık bir sinterleme süresi sonunda sentezlenebildikleri görülmüştür. Bundan sonra yapılacak olan çalışmalarda, yine optimum yapının elde edilebileceği ve seramik partiküllerin sentezlenebileceği sıcaklık ve sinterleme sürelerinin, enerji maliyetlerini azaltabilmek amacıyla, optimize edilmesi üzerinde çalışılması faydalı olacaktır.

Çalışmanın en önemli amaçlarından birisi de; eş zamanlı olarak uygulanan basınç ve sıcaklığın neticesinde yoğunluğu artırılmış kompozit numuneler elde edebilmektir. Bu çalışmada porozitelerin önüne geçilerek kompozit numunelerin yoğunluğunun artırılabilceği gözlenmiştir. Dolayısıyla bundan sonra yapılacak olan çalışmalarda basınç, sıcaklık ve sinterleme sürelerinin bir fonksiyonu olan yoğunluğun nasıl daha da artırılabilceği ve ulaşılabilecek en yüksek yoğunluk miktarı üzerinde durulabilir.

Yerinde reaksiyonlar ile üretilen partiküllerin yapı içerisindeki hacim oranları ve homojen dağılımları, kompozit numunelerin mekanik özellikleri üzerinde önemli rol oynamaktadırlar. Dolayısıyla bundan sonra yapılacak olan çalışmalarda reaksiyona giren partikül miktarlarının nasıl artırılabilceği ve nasıl homojen olarak dağıtılabilcekleri üzerinde durulması faydalı olacaktır.

**KAYNAKLAR**

- Acılar, M., 2002. Al/SiC kompozitlerin vakum infiltrasyon yöntemi ile üretimi ve aşınma davranışlarının araştırılması. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 44-62.
- Akbulut, H., Durman, M., 1995. SiC partikül takviyeli Al-Si metal matrisli kompozitlerin santrifüj dökümü. 8. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, 687-692.
- Akgun, S., Sahin, S., 2006. Influence of age Hardening on Mechanical Properties at SiC/AA7075 Composites Produced by P/M. Proceedings of 11th International Materials Symposium, Denizli/Türkiye.
- Altinkok, N., Demir, A., Ozsert, I., Fındık, F., Soy, U., 2006. The Investigation of Mechanical Behaviour and Produced  $Al_2O_3/SiC_p$  Reinforced Al Metal Matrix Composites. Proceedings of 11th International Materials Symposium, Denizli/Türkiye.
- Arık, H., Türker, M., Sarıtaş, S., 2000. Investigation of the mechanical properties of in-situ  $Al_4C_3$  reinforced aluminium based composites by mechanical alloying technique. Powder Metallurgy World Congress and Exhibition, Kyoto/Tokyo, 543-549.
- Bedir, F., Varol, R., 2006. Production of Al-Cu/TiC Composites and Their Wear Characteristics. Proceedings of 11th International Materials Symposium, Denizli/Türkiye.
- Cui, C., Wu, R., Li, Y., Shen, Y., 2000. Fracture toughness of in situ  $TiC_p-AlN_p/Al$  composite. Journal of Materials Processing Technology, 100, 36-41.
- Çıtak, R., 1998. Metalik baryum-alüminyum başlangıç tozlarının düşük sıcaklıkta oksidasyonu ile alüminyum matrisli kompozit üretimi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 4-26.
- Chen, L., Kny, E., 2000, "Reaction hot-pressed sub-micro  $Al_2O_3 + TiC$  ceramic composite", International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, 18(2000), 163±167.
- Da Silva, R., Caldemaison, D., Bretheau, T., 1991. Interface strength effect on the mechanical properties of compocast aluminium alloys/SiCp composites. Mechanics and Mechanisms of Damage in Composites and Multi-Materials, London, 395-406.
- Değerli, S., 2002. Bayer Prosesinin Ara Atık Ürünü Olan Alüminyum Hidroksit Kabuğundan Aktif Alümina Eldesi. Y. Lisans Tezi, YTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 8-16.
- Dikici, B., Bedir, F., Gavgalı, M., 2009. Al/TiC In-Situ Nano Kompozitlerin Sıcak Presleme Yöntemiyle Üretilmesi. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Türkiye.
- Dikici, B., 2008. Al/TiC metal matrisli nano kompozitlerin sıcak pres yöntemiyle üretilmesi ve karakterizasyonu. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

- Durai, G.T., Das, K., Das, S., 2006. Synthesis and characterization of Al matrix composites reinforced by in situ alumina particulates. *Materials Science and Engineering A*, 445-446.
- Ekinci, Ş.V., 2007. Alümina Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozit Malzeme Üretimi Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- El-Gallab, M. and Sklad, M., 1998. Machining of Al/SiC particulate metal matrix composites, Part 1: Tool Performance. *Journal of Materials Processing Technology*, 83, 151-158.
- Feng, C.F., Froyen, L., 1999. In-situ P/M Al/(ZrB<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) MMCs: processing, microstructure and mechanical characterization. *Acta mater*, 47(18), 4571-4583.
- Furukawa, M., Nakano, O., Tasashima, Y., 1988. Fracture Toughness of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiC Ceramics. *International Journal of Refractory & Hard Metals*, Vol:7(1), pp:37-40.
- Gao, L., Wang, H., Kawaoka, H., Sekino, T., Niihara, K., 2002. Fabrication of YAG-SiC nanocomposites by spark plasma sintering. *Journal of the European Ceramic Society*, 22, 785-789.
- German, M. R., 2005. Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri.
- Haar, J.H., Duszczek, J., 1999. *Metal Trans. Materials Science and Engineering*, A135, 65-72
- Hu, Q., Lu, P., Yan, Y., 2007. Microstructures, densification and mechanical properties of TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al composite by field-activated combustion synthesis. *Materials Science and Engineering A* 486 (2008) 215-221.
- Hiçyılmaz, N., 1999. Toz metalurjisi yöntemleri ile elde edilen seramik tanecik destekli alüminyum esaslı kompozit malzemelerin aşınma özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2-4,134.
- Ibrahim, I.A., Mohamed, F.A., Lavernia, E.J., 1991. Metal Injection Molding of Mechanically Alloyed Advanced Materials. *Journal of Materials Science*, 26:1137-1156.
- Jiang, W.H., Song, G.H., Han, X.L., He, C.L., Ru, H.C., 1997. Synthesis of TiC/Al composites in liquid aluminium. *Materials Letters*, 32, 63-65.
- Jose, M.C.M., Yoshimura, M., 2001. Nanocomposites from melt in the system Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-YAG-ZrO<sub>2</sub>. *Scripta mater*, 44, 2153-2156.
- Kurt, A., 1992. Toz metal bronz yatak malzemelerin özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Mindivan, H., Baydogan, M., Kayalı, E.S., Cimenoglu, H., 2005, "Wear Behaviour of 7039 Aluminum Alloy", *Materials Characterization*, Vol:54, pp:263-269.
- Nofar, M., Hosseini, Madaah H.R., Kolagar-Daroonkolaie, N., 2008. Fabrication of high wear resistant Al/Al<sub>3</sub>Ti metal matrix composite by in situ hot press method. *Materials and Design*, doi:10.1016/j.matdes, 2008, 04.071.
- Orhan, A., Gür, Kaya A., Çalığülü, U., 2007. Al matrisli B<sub>4</sub>C takviyeli kompozitlerin sıcak presleme yöntemiyle üretimi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8-13.



- Ögel, B., Kaya G., 1992. Alüminyum-SiC kompozitlerin konvensiyonel sıcak presleme yöntemi ile üretimi. 2. National PM Conference Ankara, Turkey, 631-635.
- Önel, K., 1995. Süreksiz SiC katkılı alüminyum matrisli kompozitler (1bölüm). Metalurji Dergisi, Ankara, 46-53.
- Peng, H.X., Wang, D.Z., Geng, L., Yao, C.K., 1997. Evaluation of the microstructure of in-situ reaction processed  $Al_3Ti-Al_2O_3-Al$  composite. Scripta Materialia, 37 (2), 199-204.
- Sheibani, S., Najafabadi, F.M., 2006. In situ fabrication of Al-TiC metal matrix composites by reactive slag process. Materials and Design 28, 2373-2378.
- Şahin, Y., 1999. Kompozit Malzemelere Giriş. Gazi Kitabevi, Ankara, 43-55.
- Tulgar, E., 1987. Demirdışı Metaller Metalurjisi. İstanbul Teknik Üniversitesi Yayını, 352.
- Yılmaz, M., Durlu, N., Altintas, S., 1996. Alüminyum-SiC kompozitlerin üretimi. 1. National PM Conference, Ankara, Turkey, 277-285.
- Zhang, E., Yang, B., Zeng, S., Li, Q., Ma, M., 1998. Formation mechanism of TiC in Al/TiC composites prepared by direct reaction synthesis. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 8 (1), 92-96.
- Yaghmaee, M.S., and Kaptay, G., 2001. On the stability range of SiC in ternary liquid Al-Si-Mg alloy. Materials Worlds, Proceeding of Hungarian Materials Science Society, , e-journal: <http://materialworld.fw.hu>, 2(3).
- Yanmei, L., Ziyang, X., Gaohui, W., Longtao, J., Huasong, G., Guoqing, J., 2010. Microstructure Evolution of Ti-Al-C System Composite. Rare Metal Materials and Engineering, 39(7): 1152-1156.
- Yu, P., Mei, Z., Tjong, S.C., 2005. Structure, thermal and mechanical properties of in situ Al-based metal matrix composite reinforced with  $Al_2O_3$  and TiC submicron particles. Materials Chemistry and Physics 93 (2005) 109-116.
- Yu, P., Deng, C.J., Ma, N.G., Yau, M.Y., Dickon, H.L., 2003. Formation of nanostructured eutectic network in  $\alpha-Al_2O_3$  reinforced Al-Cu alloy matrix composite. Acta Materialia. 51, 3445-3454.
- Yu, P., Deng, C.J., Ma, N.G., Yau, M.Y., Dickon, H.L., 2003. Formation of nanostructured eutectic network in  $\alpha-Al_2O_3$  reinforced Al-Cu alloy matrix composite. Acta Materialia. 51, 3445-3454.
- Zhou, F., Suh, C.M., Kim, S.S., 2002. Interfacial reaction and joint strength of silicon nitride ceramic composites bonded with  $Y_2O_3-Al_2O_3-SiO_2-Si_3N_4$  mixture. Materials Letters, China, July, 55:55-60.
- Zhou, W. And Xu, Z.M., 1997. Casting of SiC reinforced metal matrix composites. Journal of Materials Processing Technology, 63:358-363.

## ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Erzurum’da doğdu. İlk, Orta ve Lise Öğrenimini Erzurum’da tamamladı. 2001 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden 2005 yılında mezun oldu. 2006 yılı Eylül ayında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Konstrüksiyon ve İmalat Bilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2005-2007 yılları arasında özel sektörde Doğalgaz İç Tesisat alanıyla ilgili yetkili mühendis olarak çalıştı. 2007 yılında 106M023 Nolu ‘Nano Partiküller İle Kuvvetlendirilmiş Alüminyum Metal Matris Kompozitlerin Üretilmesi, Mekanik, Tribolojik ve Korozif Özelliklerinin Belirlenmesi’ isimli Tübitak Projesinde Yardımcı Personel olarak görev aldı.

Ocak 2009’dan beri Yüzüncü Yıl Üniversitesi Erciş Meslek Yüksekokulu Elektrik ve Enerji Bölümü Gaz ve Tesisat Teknolojisi Programında Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.