

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ALÜMİNYUM METAL MATRİSLİ MALZEMELERDE  
DARBE DAYANIMI ARAŞTIRMALARININ İNCELENMESİ**

**TEZSİZ YÜKSEK LİSANS  
DÖNEM PROJESİ**

**BURAK AKTAŞ**

**DENİZLİ, OCAK - 2018**

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**ALÜMİNYUM METAL MATRİSLİ MALZEMELERDE  
DARBE DAYANIMI ARAŞTIRMALARININ İNCELENMESİ**

**TEZSİZ YÜKSEK LİSANS  
DÖNEM PROJESİ**

**BURAK AKTAŞ**

**DENİZLİ, OCAK - 2018**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

**Burak AKTAŞ** tarafından hazırlanan “Alüminyum Metal Matrisli Malzemelerde Darbe Dayanımı Araştırmalarının İncelenmesi” adlı tezsiz yüksek lisans dönem projesi danışmanlığında hazırlanmış olup 18.01.2018 tarihinde son kontrolü yapılarak Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı tezsiz yüksek lisans dönem projesi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman  
Prof. Dr. Hasan ÇALLIOĞLU

.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Bu dönem projesinin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.**

**Burak AKTAŞ**

## ÖZET

### ALÜMİNYUM METAL MATRİSLİ MALZEMELERDE DARBE DAYANIMI ARAŞTIRMALARININ İNÇELENMESİ

TEZSİZ YÜKSEK LİSANS

BURAK AKTAŞ

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(DANIŞMANI: PROF. DR. HASAN ÇALLIOĞLU)

DENİZLİ, OCAK - 2018

Genel olarak metal matrisli kompozitler en çok kullanılan kompozitlerdendir. Bu kompozitlerde matris malzemesi olarak hafif metaller ve alaşımları tercih edilmektedir. Yüksek dayanım/yoğunluk oranı ile tercih sebebi olan alüminyum, en önemli matris malzemelerinden birisidir. Takviye malzemeleri ise matris malzemesi ile girebileceği reaksiyonlar, yük taşıyıcılığı ve dayanıklılığı göz önüne alınarak seçilir. Kompozit malzeme, bileşenlerinin en iyi özelliklerinin bir araya getirilmesi sonucu oluşturulan bir malzemedir. Alüminyum ve alaşımları düşük yoğunlukları ve yüksek dayanım/ağırlık özelliklerinden dolayı, birçok uygulama alanında başarı ile kullanılan vazgeçilmez bir malzeme haline gelmiştir.

Alüminyum ve alaşımları, aşınma davranışını ve mekaniksel dayanımı geliştirmek için seramiklerle takviye edilirler. Alüminyum ve alaşımlarının, seramik partiküllerinin iyi mekanik ve fiziksel özellikleri ile birleştirilmesi ile elde edilen alüminyum matrisli kompozitlerin kullanımı, gösterdikleri üstün özelliklerinden dolayı hızla artmaktadır (Hiçyılmaz ve diğ. 1999). Parçacık takviye elemanının hacim oranındaki artış genellikle MMK malzemelerin dayanımını arttırırken parçacık boyutunun artmasıyla dayanımları düşmektedir (İbrahim ve diğ. 1991).

**ANAHTAR KELİMELEER:** Metal Matrisli Kompozit, Darbe Dayanımı, alüminyum

## **ABSTRACT**

### **ALUMINUM METAL MATRIX OF METARIALS IN STUDY OF IMPACT RESİSTANCE INVESTIGATION**

**NON-THESIS MASTER'S DEGREE PROGRAM**

**BURAK AKTAŞ**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
MECHANICAL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR:PROF. DR. HASAN ÇALLIOĞLU)**

**DENİZLİ, JANUARY 2018**

Generally metal matrix composites are the most commonly used composites. In these composites, light metals and alloys are preferred as matrix materials. Aluminum is one of the most important matrix materials because of its high strength / density ratio. Reinforcing materials are chosen by taking into consideration the reactions that the matrix material can enter, the load bearing capacity and the strength. Composite material, a combination of the best properties of its components, is the resultant material. Due to its low densities and high strength / weight properties, aluminum and its alloys have become an indispensable material used successfully in many applications.

Aluminum and its alloys are reinforced with ceramics to improve wear behavior and mechanical strength. The use of aluminum matrix composites, obtained by combining aluminum and its alloys with good mechanical and physical properties of ceramic particles, is rapidly increasing due to their superior properties (Hiçyılmaz ve oth. 1999). The increase in the volume ratio of the particulate reinforcement element generally increases the strength of the MMK materials, while the strength decreases as the particle size increases (Ibrahim ve oth. 1991).

**KEYWORDS: Metal Matrix Composite, Impact Resistance, Aluminum**

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
SEMBOL LİSTESİ .....	v
ÖNSÖZ.....	vii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1    Metal Matrisli Kompozit Malzemeler .....	2
1.1.1.1    Alüminyum ve Alaşımları.....	3
1.1.1.2    Magnezyum ve Alaşımları .....	4
1.1.1.3    Titanyum ve Alaşımları.....	4
1.1.1.4    Bakır ve Alaşımları .....	5
1.1.2    Metal Matrisli Kompozit Malzemelerde Takviye Malzemeleri ....	5
1.1.2.1    Alümina ( Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) .....	6
1.1.2.2    Silisyum Karbür ( SiC ) .....	7
1.1.2.3    Bor.....	7
1.1.2.4    Karbon.....	8
1.1.2.5    Titanyum Karbür (TiC).....	8
<b>2. METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ..</b>	<b>9</b>
2.1    Katı Faz Yöntemleri .....	9
2.2    Katı Faz Yöntemleri .....	9
2.3    Toz Metalurjisi .....	9
2.3.1    Mekanik Yöntemler .....	11
2.3.1.1    Talaşlı Üretim.....	11
2.3.1.2    Öğütme.....	12
2.3.1.3    Mekanik Alaşımlama .....	13
2.3.2    Elektroliz Yöntemi.....	14
2.3.3    Atomizasyon Yöntemi .....	15
2.3.4    Tozların Karıştırılması.....	19
2.3.5    Tozların Preslenmesi.....	19
2.3.6    Sinterleme .....	20
<b>3. METALİK MALZEMELERİN DARBE DENEYİ .....</b>	<b>22</b>
3.1    Amaç .....	22
3.2    Teorik Bilgi .....	22
3.3    Deneyin Yapılışı.....	23
<b>4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....</b>	<b>26</b>
<b>5. SONUÇ .....</b>	<b>31</b>
<b>6. KAYNAKLAR.....</b>	<b>32</b>
<b>7. ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>34</b>

# ŞEKİL LİSTESİ

## Sayfa

Şekil 1.1: Takviye malzemesinin geometrisine göre metal matrisli kompozitler, a) Parçacık Takviyeli b) Kısa Fiber Takviyeli c) Sürekli Fiber Takviyeli Metal Matrisli Kompozit Malzemelerde Matris Malzemeleri.....	3
Şekil 2.2:T/M İmalat Basamakları .....	10
Şekil 2.3: Bilyalı Öğütme.....	12
Şekil 2.4: Mekanik alaşımlama yöntemi .....	13
Şekil 2.5: Kimyasal yöntemle demir tozu üretimi. ....	14
Şekil 2.6: Elektroliz ile toz üretimi .....	14
Şekil 2.7: Düşey gaz atomizasyon ünitesi.....	16
Şekil 2.8: Su atomizasyon işlemi .....	17
Şekil 2.9: Döner elektrot atomizasyon yöntemi .....	17
Şekil 2.10: Vakum atomizasyon yöntemi .....	18
Şekil 2.11: Ultrasonik gaz atomizasyonu yöntemi.....	18
Şekil 2.12: Karıştırıcı .....	19
Şekil 2.13: Presleme işleminin basamakları; 1. İşlem başlangıcı, 2. Toz doldurma, 3. Presleme başlangıcı, 4. Preslemenin bitişi, 5. Preslenmiş parçanın çıkarılması.....	20
Şekil 2.14: Çift-küre sinterleme modeli .....	21
Şekil 3.15: Darbe deneyi cihazının çalışma prensibi ve standart numuneler....	24
Şekil 4.16: Basınçlı infiltrasyon tekniği ile üretilmiş saf Al matrisli (a) 13 µm (b) 23 µm ve (c) 37 µm boyutlarında SiC takviyeli kompozitlerin mikroyapıları.....	30



## SEMBOL LİSTESİ

**$\mu\text{m}$**  : Mikrometre

**B<sub>4</sub>C** : Bor karbür

**Al** : Alüminyum

**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** : Alümina

**SiC** : Silisyum karbür

**TiC** : Titanyum karbür

**Ti** : Titanyum

**Mg** : Magnezyum

**Ni** : Nikel

**C** : Karbon

**Pb** : Kurşun

**Fe** : Demir

**Sn** : Kalay

**Ag** : Gümüş

**Si** : Silisyum

**TiO<sub>2</sub>** : Titanyum dioksit

**H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** : Sülfürik asit

**HNO<sub>3</sub>** : Nitrik asit

**Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>** : Manyetit

**Mo** : Molibden

**Cu** : Bakır

**$\rho$**  : Yoğunluk

**AA6061**: 6061 Alüminyum alaşımı

**CBN** : Kübik Bor nitür

**MA** : Mekanik alaşımlama

**TM** : Toz metalurjisi

**MPa** : Megapascal

**GPa** : Gigapascal

**AIMMK** : Alüminyum metal matrisli kompozit

**MMK** : Metal matrisli kompozit

## ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Hasan ÇALLIOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca beni yetiştiren annem Ayşe AKTAŞ ve babam Halil AKTAŞ'a minnettarım. Çalışmalarımda bana yardımcı olan abim Emre AKTAŞ'a teşekkür ediyorum.

# 1. GİRİŞ

İleri malzemeler grubunda yer alan kompozit malzemeler; uçaklarda, uydularda, uzay araçlarında, otomobillerde, deniz araçlarında, inşaat yapılarında, elektronikte, sportif amaçlı eşyalarda, tıpta (Ortopedi gibi), savunma sanayinde ve daha pek çok sahada oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Literatürde kompozit malzemeler ve kompozit yapılar üzerine pek çok çalışma mevcuttur. Bu malzemelerin dinamik yükler karşısındaki davranışı günümüzün en önemli araştırma konularından biri haline gelmiştir. Çünkü yapıların dinamik davranışları statik yükleme durumuna göre çok çeşitli farklılıklar gösterebilmekte, hasar mekanizmaları çok daha karmaşık olabilmektedir.

Örneğin; Metal matrisli kompozitlerde yüksek deformasyon hızı arttıkça deformasyon bölgesinde oluşan ısının yayınması ve dağılması için gerekli zaman yeterli olmamaktadır. Lokal olarak gerçekleşen bu adiyabatik ısınma ve neden olduğu termal yumuşama malzemede yavaş çekme hızlarına oranla daha ani kırılmalara ve hasara yol açmaktadır. Yani, yüksek şekil değiştirme hızlarında veya dinamik darbe durumunda hasarlar adiyabatik kayma bantlarında gerçekleşmektedir.

Genel olarak metal matrisli kompozitler en çok kullanılan kompozitlerdendir. Bu kompozitlerde matris malzemesi olarak hafif metaller ve alaşımları tercih edilmektedir. Yüksek dayanım/yoğunluk oranı ile tercih sebebi olan alüminyum, en önemli matris malzemelerinden birisidir. Takviye malzemeleri ise matris malzemesi ile girebileceği reaksiyonlar, yük taşıyıcılığı ve dayanıklılığı göz önüne alınarak seçilir. Kompozit malzeme, bileşenlerinin en iyi özelliklerinin bir araya getirilmesi sonucu oluşturulan bir malzemedir.

Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin kullanımda olan geleneksel malzemelere oranla daha iyi olması sebebiyle bu malzemeler üzerine araştırmalar son senelerde oldukça hız kazanmıştır. Son yıllarda metal matris kompozitlerin (MMK) üretimi için sıkıştırılmış döküm, basınçlı döküm ve Toz Metalürjisi gibi çok çeşitli metotlar geliştirilmiştir (Bolay, 1998- Ibrahim ve diğ. 1991). Önemli bazı metal matris kompozit uygulamalarını şu şekilde sıralayabiliriz; alümina-alüminyum,

paslanmaz çelik-alüminyum, berilyum-alüminyum, boron-alüminyum, karbon-alüminyum, silikon karbit-alüminyum, boron-titanyum, tungsten-titanyum, boron-magnezyum, karbon-bakır gibi. MMK'ların üretiminde Toz Metalürjisi yöntemi en yeni tekniklerden birisidir. Bu yöntemle üretilen takviyeli MMK'lar düşük maliyetli ve üstün performanslı parçaların ve küçük parçaların seri üretiminde kullanılmaya daha çok elverişlidir.

## **1.1 Metal Matrisli Kompozit Malzemeler**

Metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler, istenen ve gerekli özellikleri sağlamak üzere en az biri metal olan iki veya daha fazla farklı malzemenin sistematik bileşimiyle elde edilen yeni malzemelerdir. Belli bir uygulama alanında kullanılmak üzere en uygun kompoziti elde edebilmek için metal matrisli kompozitin bileşenleri hakkında tam ve ayrıntılı bilgiye sahip olmak gerekmektedir. Takviye elemanının; cinsi, şekli, boyutu, dağılımı, yüzey özellikleri, kimyasal kompozisyonu, dağılım miktarı ve homojenliği gibi özgün ve yapısal özellikleri çok önemlidir. Bunun yanı sıra, metal matrisin de nitelikleri dikkate alınmalıdır. Matris, takviye fazını bir arada tutmaya yarayan bağlayıcı gibi davranır ve asıl işlevi katkı fazına yükü iletmektir. Takviye fazı ile matris alaşımının kimyasal olarak uyumluluğu da önemli bir konudur (Eker, 2008).

Günümüz şartlarında üretilen metal matrisli kompozit malzemeler üç gruba ayrılmaktadır .

Elastiklik modülünün, belli oranda da mukavemetin artmasıyla sonuçlanan, bağlayıcı matris içine partikül şeklindeki takviye malzemelerinin ilavesi ile oluşturulan partikül takviyeli metal matrisli kompozitler.

Partikül takviyeli metal matrisli kompozitlere göre daha büyük yük iletimi yeteneğine sahip, yüksek dayanımlı whisker veya kısa fiber takviye metal matrisli kompozitler.

Fiberin yüksek performanslı tüm özelliklerini taşıyan sürekli fiber esaslı metal matrisli kompozitler. (Eker, 2008).



**Şekil 1.1:** Takviye malzemesinin geometrisine göre metal matrisli kompozitler, a) Parçacık Takviyeli b) Kısa Fiber Takviyeli c) Sürekli Fiber Takviyeli Metal Matrisli Kompozit Malzemelerde Matris Malzemeleri

Metal matrisli kompozitler için matris malzemesi olarak genellikle hafif metaller tercih edilmektedir. Matris malzemesi olarak MMK malzemelerde, alüminyum ve alaşımları ilk sırayı almaktadırlar. Bu alaşımların tercih edilmesinin nedeni düşük yoğunluk, düşük ergime sıcaklığına sahip olmaları ve bir çok seramik takviye elemanını kolay ıslatabilmeleridir. Matrisin temel görevi bağlayıcılara yükü transfer etmek ve dağıtmaktır. Yükün transferi matris ve bağlayıcılar arasındaki ara yüzey bağına bağlıdır (Şahin, 2006). Genelde Al, Ti, Mg, Ni, Pb, Fe, Sn, Zn, Ag, ve Si matris malzemesi olarak kullanılır. Fakat genelde düşük yoğunluğa sahip Al, Mg, Ti gibi matrislerle en iyi özellikler elde edilir ve en sık kullanılanlardır (Clyne ve Withers, 1993).

#### 1.1.1.1 Alüminyum ve Alaşımları

Metal malzemeler içinde Al ve alaşımları, gerek saf olarak gerekse alaşımolarak en yaygın olarak kullanılan malzeme gruplarından birisidir.

Saf alüminyumun oksijene ilgisinden dolayı döküm kabiliyetinin kötü oluşu ve düşük mekanik özellikler göstermesi gibi istenmeyen özellikleri vardır. Alaşımlama yapılarak bu özelliklerde gelişme sağlanabilmektedir. Al alaşımlarının yaygın kullanılmasının sebebi; Dayanım / özgül ağırlık oranının yüksek olması, elektrik iletkenliği /özgül ağırlık oranının yüksek olması, atmosfere ve diğer

ortamlara karşı korozyon direncinin iyi olması plastik deformasyon kabiliyetinin iyi olmasından kaynaklanmaktadır (Eker, 2008).

Alüminyum alaşımları, üretim yöntemlerine göre dövme alaşımları ve döküm alaşımları olarak iki ana gruba ayrılırlar. Bu iki grupta kendi içinde sertleştirilebilen ve sertleştirilemeyen alaşımlar olarak gruplandırılabilir (Eker, 2008).

#### 1.1.1.2 Magnezyum ve Alaşımları

Ancak magnezyum alaşımları; Oksijene karşı ilgisinin fazla olması, Düşük elastik modülü ve yorulma direncine sahip olması, Yüksek sıcaklıkta sürünme dayanımı değerinin düşük olması vb. nedenlerle daha az tercih edilirler. En önemli alaşım elementleri alüminyum ve çinko olup, yaklaşık % 2.5-8 alüminyum ve % 0.5-4 çinko ilave edilir. Bu sayede dayanım artırılabilir. Magnezyum alaşımları iyi dökülebilir alaşımlardır, sertleşebilen ve sertleşmeyen türleri mevcuttur (Eker, 2008).

#### 1.1.1.3 Titanyum ve Alaşımları

Ti ve alaşımları, metal matrisli kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak yaygın kullanım alanına sahiptir. Titanyumun korozyona karşı dayanımı çok iyidir. Yüzeyinde ince bir TiO<sub>2</sub> tabakası oluşturarak, çok iyi korozyon direnci sağlar. Vücut içine konan parçalarda, proses kazanları vb. yerlerde bu özelliğinden dolayı titanyum ve alaşımları kullanılır. Ayrıca Ti metali, alüminyumdan daha rijit ve dayanıklıdır. Özellikle çok iyi mukavemet / özgül ağırlık oranına sahip olduğundan dolayı uçak ve uzay sanayiinde uygulama alanları bulmuştur. En önemli dezavantajı pahalı olmasıdır. Metaller arasında titanyumun ısıl genleşme katsayısı oldukça düşüktür. Özellikle yüksek sıcaklık uygulamalarında Ti alaşımları oldukça iyi performans gösterir (Eker, 2008).

#### 1.1.1.4 Bakır ve Alaşımları

Metal matrisli kompozit malzemeler içerisinde bakır ve alaşımlarının kullanımı özellikle elektronik sistemlerde uygulama alanı bulmuştur. Burada bakırın elektriği iyi iletebilme özelliği ön plana çıkmaktadır. Genellikle bakır matris içerisine grafit partiküller ilave edilerek, düşük termal genleşme katsayısına sahip, iyi iletken malzemeler elde edilebilir. Bu malzemeler elektrik kontaktörleri ve elektronik devre yapımında kullanılırlar. Bakırın en önemli dezavantajı ise, diğer bir iletken malzeme olan alüminyuma göre daha pahalı olmasıdır. Bakır alaşımı bir matrise, grafit partiküller katılarak sürtünme ve aşınma özellikleri iyileştirilebilir. Katı yağlayıcı olarak grafitin kullanıldığı metal matrisli kompozit malzemelerin, yatak malzemesi olarak kullanımı kurşun kullanımından kaynaklanan zehirleyici etkiyi ortadan kaldırır. Ayrıca Al ve Cu alaşımlarının sönümlenme kapasitesi içlerine grafit katıldığında önemli oranda artmaktadır. Japon Hitachi firması tarafından, dökme demirde dahil olmak üzere titreşimi sönümleyen alaşımlardan daha iyi sönümlenme yeteneği olan Gradia adı altında Al-grafit veya Cu-grafit metal matrisli kompozit malzemeler üretilmektedir (Eker, 2008).

#### 1.1.2 Metal Matrisli Kompozit Malzemelerde Takviye Malzemeleri

Metal matrisli kompozit malzemeler üretilirken; takviye elemanının seçimi, üretim tekniği, üretim esnasında takviye elemanının matris tarafından ıslatılabilmesi, takviye elemanlarının yapısal özellikleri, kompozit malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirler. Bu nedenle takviye elemanının doğru seçilmesi ve özelliklerinin iyi bilinmesi gerekir.

Kullanım yerine bağlı olmakla birlikte metal matrisli bir kompozitte, genel olarak takviye elemanından beklenen temel özellikler şunlardır; Yüksek modül ve dayanım, düşük yoğunluk, matris ile kimyasal uyumluluk, üretim kolaylığı, yüksek sıcaklıkta dayanımını muhafaza etmesi, ekonomik olması (Eker, 2008).

Üretilecek kompozitin yapısal bir uygulamada kullanımı durumunda düşük yoğunluğa, yüksek modül ve mukavemete sahip takviye elemanına gereksinimi vardır. Metal matrisli kompozit malzemelerde en çok kullanılan takviye elemanları



Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> , SiC, Bor , TiC ve karbondur (Şahin, 2000; ASM Composite Handbook, 2002).

Doğada bir çok seramik parçacık halinde bulunduğundan, bunlar partikül takviyeli kompozitler için geniş bir aralıkta takviye potansiyeline sahiptir. Partikül takviyeli kompozitlerin avantajları şunlardır :

- Sürekli veya kısa fiberlilere göre, partikül takviyeli kompozitler daha ucuzdurlar.
- Toz metalurjisi ve döküm gibi üretim teknikleri ve bunu takiben haddeleme, dövme ekstrüzyon gibi geleneksel ikincil işlemler uygulanabilir.
- İzotropik özellikler gösterirler.
- Rijitlikleri ve aşınma dayanımları iyidir.

Uygulamalarda mukavemetin yüksek olması gerektiği durumlarda, kısa fiberler veya whisker katkılı kompozit malzemeler kullanılır. Rijitlik ve mukavemetin en kombinasyonunu ise anizotropik özelliklere ve en önemlisi de yüksek maliyete sahip sürekli fiber katkılı metal matrisli kompozitler verir. Metal matrislerde kullanılan en pahalı takviye elemanı bordur. Ardından sırasıyla SiC, karbon ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gelmektedir (Eker, 2008).

#### 1.1.2.1 Alümina ( Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> )

Metal matrisli kompozitlerde ana hedef, düşük yoğunluklu ve yüksek dayanımlı malzemeler elde etmektir. Bu özellikler genelde yapı içine katılan seramik faz ile sağlanır. Alüminanın sahip olduğu yüksek sıcaklık dayanımı, yüksek modül ve rijitlik, takviye elemanı olarak kullanılmasının en önemli nedenlerindedir. Alüminanın takviye elemanı olarak en yaygın kullanıldığı matris malzemesi alüminyum ve alaşımlarıdır. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> , SiC ile karşılaştırıldığında daha düşük modül ve dayanıma, daha yüksek yoğunluğa sahiptir. Fakat Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> maliyet açısından, SiC'e göre daha avantajlıdır (Eker, 2008).

### 1.1.2.2 Silisyum Karbür ( SiC )

Metal matrisli kompozit malzemelerde kullanılan diğ er bir seramik takviye elemanı SiC'dür. SiC malzemede kovalent bağ lar mevcuttur. Bu özellik, SiC fibere yüksek elastiklik modülü değ eri vermektedir (Eker, 2008).

SiC fiberler genel olarak CVD yöntemi ile karbon veya tungsten altlık üzerine, kaplama yolu ile üretilirler. Yaklaş ık 1400 °C civarında maksimum kullanım sıcaklığı na sahiptirler. SiC'ün en önemli avantajı, maruz kaldığı yüksek sıcaklık şartları altında özelliklerini muhafaza edebilmesidir. Bu takviye malzemesinin oksidasyon direnci, yüksek sıcaklıkta rijitlik ve mukavemet özelliklerini koruması ve ergimiş alüminyum içindeki etkisi bakımından bor fiberlerden daha iyidir. Diğ er bir üstünlüğü de bor fiberden daha ekonomik olmasıdır. Ayrıca SiC fiberlerin termal genişleme katsayısı da alümina ile kıyaslandığında daha düş üktür. SiC'ün partikül ve whisker türleri de üretilmektedir. Partikül ve whisker tipinde SiC takviyeleri ile üretilen metal matrisli kompozit malzemelere, ekstrüzyon, haddeleme gibi plastik şek il verme iş lemleri yapılabilmesi de önemli bir avantaj teş kil eder (Eker, 2008).

### 1.1.2.3 Bor

Bor fiber, borun genelde CVD yöntemi ile karbon veya tungsten altlık (çekirdek) üzerine kaplanması ile üretilir. Uygulanan ısıl iş lem ile hibrit yapı üzerindeki kalıntı gerilmeler giderilir. Fiberin dayanımını azaltacak aş ırı tane büyümesini önlemek için, sıcaklık dikkatlice kontrol edilmelidir. Bor fiberler çok yüksek elastiklik modülü değ erine sahiptir, fakat oldukça pahalıdırlar. Avantajlarına rağmen metal matrisli kompozit üretimi sırasında bor fiberin, Al ve Ti gibi metallerle hızla reaksiyona girmesi, tungsten tel ile bor kaplama sırasında reaksiyon oluş ması, difüzyonla tungsten boridik'e dönüş mesi ve dolayısıyla bor'un dış yüzeyine yakın yerde eksenine dik şek ilde basma gerilmesi oluşturur ve bu da bor fiberi kırılğan yapar. Bunu önlemek için borun üzerine kimyasal buharlaş tırma (CVD) metoduyla SiC veya B4C kaplanır ve kaplama kalınlığı 25-45 µm kadardır (Eker, 2008).

#### 1.1.2.4 Karbon

1950'lı yılların ikinci yarısından itibaren kullanılmaya başlamış olan karbon fiberlerin yoğunluğu düşük, çekme dayanımı ve elastiklik modülü yüksektir. Bu da spesifik dayanım ve spesifik modül değerlerinin çok yüksek olması anlamına gelir. Yüksek sıcaklıklara dayanabilen karbon fiberlerin özellikleri, üretimindeki son işlemin sıcaklığına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Karbon fiberlerde ham madde olarak poliakronitril (PAN), Selüloz (Rayon) ve Zift (Pitch) kullanılır. Isıl genleşme katsayısı oldukça düşük olan karbon fiberler, yaklaşık 1500 °C 'ye kadar mekanik özelliklerini korurlar. 2000 °C'den sonra karbon fiberde sürünme başlar. Karbon fiberler azot atmosferinde kararlı olmasına rağmen 450 °C üzerinde havada artan oranda oksitlenirler. Oldukça fazla türde karbon fiber olduğu göz önüne alınırsa, değişik fiber tiplerine bağlı olarak oksidasyona uğrama oranının da farklılık gösterdiği söylenebilir. SiC ve B4C kaplamalar karbon fiberlerin oksidasyona karşı direncini artırır. (Eker, 2008).

#### 1.1.2.5 Titanyum Karbür (TiC)

TiC, yüksek sıcaklıkta mekanik özelliklerini muhafaza edebilmesi nedeniyle kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklık uygulamalarında, yüksek modül, yüksek mukavemet ve iyi sürünme dayanımı gibi özelliklerini koruyan TiC'ün, diğer takviye malzemelerine göre en büyük dezavantajı yoğunluğunun fazla olmasıdır ( $\rho = 4.93 \text{ gr/cm}^3$ ). Bu özelliği, TiC takviye malzemesinin yaygın kullanımını engellemiştir. Titanyum ve nikel bazlı alaşımlarda, TiC partikül takviyesi yapılması ile kullanım sıcaklığı 1100 °C'nin üzerine kadar çıkarılmıştır. Ayrıca alüminyum matris, TiC partiküller ile takviye edilerek, piston ve biyel kolları imal edilmiştir. Bu şekilde aşınmaya karşı dayanımın arttığı belirlenmiştir. (Eker, 2008).

## **2. METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ**

Metal matrisli bir kompozit malzemenin üretim tekniği; üretilecek parçanın şekline, istenilen mekanik ve fiziksel özelliklere, matrise, takviye elemanı şekli ve türüne göre belirlenir.

### **2.1 Katı Faz Yöntemleri**

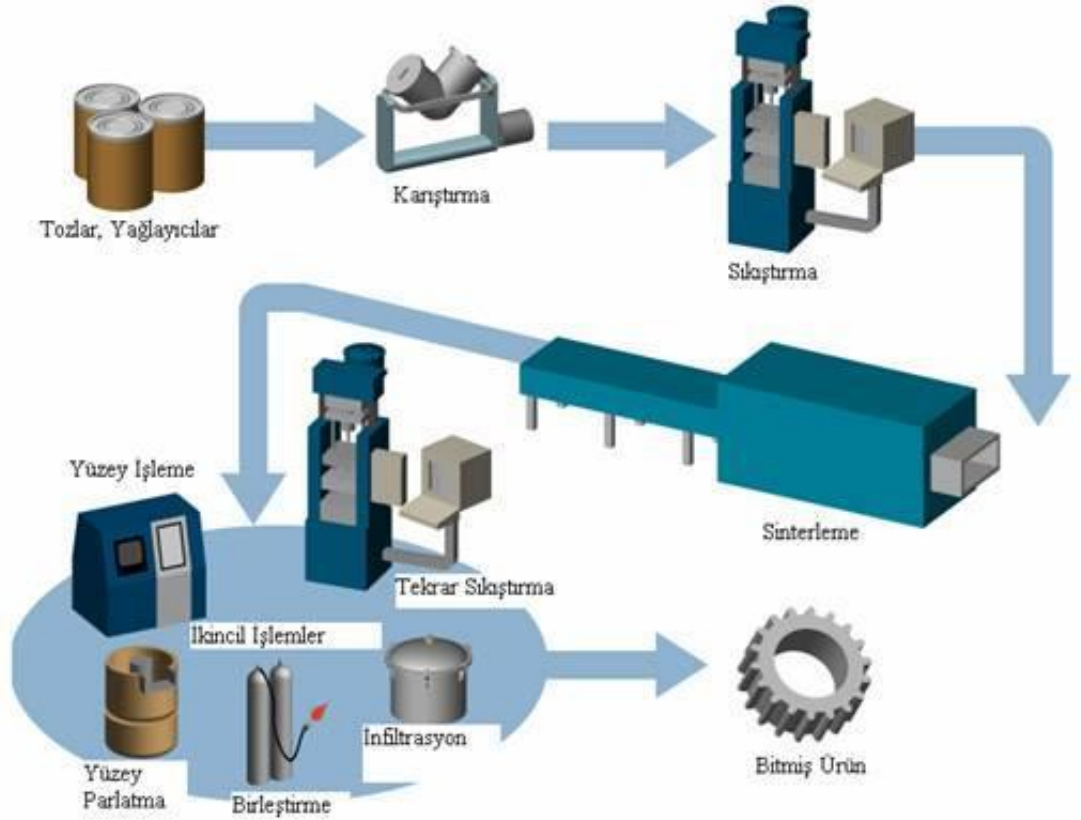
- Toz Metalurjisi Teknikleri
- Difüzyon Bağı Yöntemi

### **2.2 Katı Faz Yöntemleri**

- Sıvı Metal İnfiltrasyon
- Sıkıştırma Döküm
- Sıvı Metal Karıştırma
- Plazma Püskürtme

### **2.3 Toz Metalurjisi**

T/M üretim yöntemi metal tozlarının üretimi ve üretilen bu tozların imalatı istenilen parçaların şekline dönüştürülmesi işlemidir. Bu yöntem toz üretimi, üretilen tozların karıştırılması, tozların preslenmesi, sinterleme ve isteğe bağlı işlemler (infiltrasyon, yağ emdirme, çapak alma, vb..) olmak üzere belirli aşamalardan oluşur. Bu yönetime ait imalat basamakları şekil 2.2'de gösterilmiştir (Ünal, 2007).



**Şekil 2.2:**T/M İmalat Basamakları

Toz, boyutu 1 mm'den daha küçük, ince olarak bölünmüş katı parçacıklardır. Tozlar genel olarak metaliktir. Bir tozun en önemli karakteristiği yüzey alanının hacmine göre yüksek olmasıdır. Toz metalurjisi yöntemi demir ve demir dışı metallere parça üretiminde kullanılan gelişmiş bir üretim yöntemidir. Toz metal parça üretiminde genellikle tozlar öncelikle soğuk sıkıştırma ile şekillendirilir ve sinterleme işleminden sonra bitirme işlemleri uygulanır (Ünal, 2007).

T/M yöntemi ile tozların soğuk şekillendirilmesi ve kalıptan çıkarılması sırasında metal tozları ile kalıp yüzeyi arasındaki sürtünmeyi azaltarak kalıp ömrünü artırmak amacıyla yağlayıcılar kullanılır. Malzemeye uygun yağlayıcılar ağırlık olarak % 0.5-2 oranlarında ilave edilerek karıştırılırlar. Bu süreçte tozların başarılı bir şekilde sıkıştırılarak şekillendirilmesi birinci basamaktır. Karışımı hazırlanan tozlar istenilen geometrideki kalıplarda preslenir. Presleme işlemi esnasında dağınık halde bulunan tozlar kalıp içerisinde parçanın şeklini alır. Bu aşamada elde edilen parçalar düşük mukavemet değerine sahiptir. Bu mukavemet değerine ham

mukavemet (green strength) denir. Ham mukavemet değeri parçanın kalıptan çıkartılıp sinterleme ortamına yerleştirilmesine olanak verecek değerlerde olmalıdır fakat bu değer parça üzerine uygulanacak yüksek değerlerdeki kuvvetleri taşımak için yeterli değildir. Kalıptan çıkartılan parçaların mukavemet değerlerini artırmak için parçalara sinterleme işlemi uygulanır (Ünal, 2007).

Sinterleme genellikle atomik ölçekte gerçekleşen, kütle taşınımı yoluyla katı parçacıkları birbirine yoğun bir yapı oluşturacak şekilde bağlayan ısı işlem veya süreçtir. Sinterlenecek malzeme tek çeşit saf metal veya seramik gibi bir malzemedir oluşuyorsa tek bileşenli sistem, birden çok malzemedir oluşuyorsa çok bileşenli sistem adını alır. Tek bileşenli sistemlerde sinterleme sıcaklığı malzemenin ergime sıcaklığının 0,8 katıdır. Çok bileşenli sistemlerde ise sinterleme sıcaklığı bileşimde en düşük ergime sıcaklığına sahip malzemenin ergime sıcaklığının hemen altındadır. Ergime sıcaklığının altında yapılan sinterlemeye katı faz sinterlemesi, çok bileşenli sistemlerde ise bileşenlerden en az birinin ergime sıcaklığının üzerinde yapılan sinterlemeye ise sıvı faz sinterlemesi denir. Sinterleme sonrasında parçalar isteğe bağlı olarak bazı işlemlerden geçerek (infiltrasyon, birleştirme, tekrar sıkıştırma.) kullanıma hazır hale getirilirler (Ünal, 2007).

### **2.3.1 Mekanik Yöntemler**

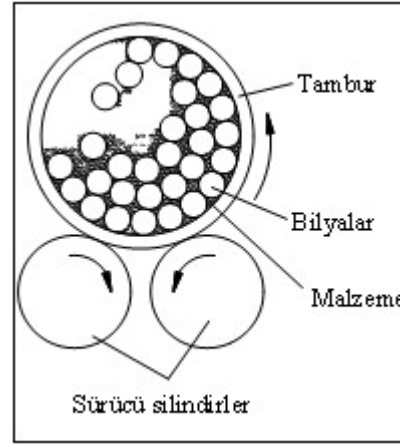
Mekanik yöntemler talaşlı üretim, öğütme ve mekanik alaşımlama olmak üzere üç grupta incelenebilir.

#### **2.3.1.1 Talaşlı Üretim**

Bu yöntemle tornalama, frezeleme ve taşlama gibi talaş kaldırma teknikleri kullanılarak çok iri ve karmaşık tozlar üretilir. Üretilen tozlar, öğütülerek ince tozlar haline getirilebilir. Toz özelliklerinin kontrolündeki zorluk, oksitlenme, yağlanma, kir tutma ve diğer malzeme hurdaları ile karışarak kirlenme problemleri olabilir. Yüksek karbonlu çelik tozları bu yöntemle üretilir (Ünal, 2007).

### 2.3.1.2 Öğütme

Bir metal tozu üretim tekniği olmakla birlikte, diğer tekniklerle üretilmiş tozların kırılması için de kullanılan öğütme, en çok bilyalı değirmenlerde yapılmaktadır. Kırılgan malzeme tozlarının üretiminin yapıldığı bu yöntemde, temel prensip parçalanacak malzeme ile sert bir cisim arasında bir darbe meydana gelmesini sağlamaktır. Öğütülecek metal, içinde büyük çaplı sert ve aşınmaya karşı dayanıklı bilyaların bulunduğu kaba, önceden kaba bir biçimde kırılmış olarak yerleştirilir. İri taneli öğütülecek malzeme öğütücü kap içinde büyük çaplı, sert ve aşınmaya karşı dayanıklı bilyalar ile birlikte döndürülerek veya titreştirilerek darbe etkisiyle çok küçük tozlara bölünür (Şekil 2.3) (Ünal, 2007).

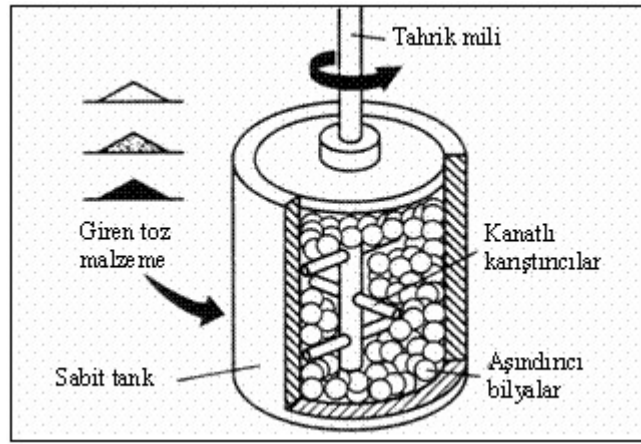


Şekil 2.3: Bilyalı Öğütme

Eğer öğütülen malzeme gevrek ise, bilyalarla çarpışmanın etkisiyle çok küçük tozlara bölünür. Öğütülen malzeme sünek parçacıklardan oluşuyor ise, çarpışma sonucunda şekil değiştirerek yassılaşırlar. Homojen bir karışım için kaba konulacak bilyaların hacmi ve öğütülecek malzeme miktarı çok önemlidir. Bilyaların hacmi kap hacminin yaklaşık yarısı ve öğütülecek malzeme miktarı kap hacminin yaklaşık % 25'i oranında olmalıdır. Demir alaşımları, demir-krom, demir-silisyum v.b. kırılmal malzemeler mekanik olarak bilyalı değirmenlerde öğütülürler (Ünal, 2007).

### 2.3.1.3 Mekanik Alaşımlama

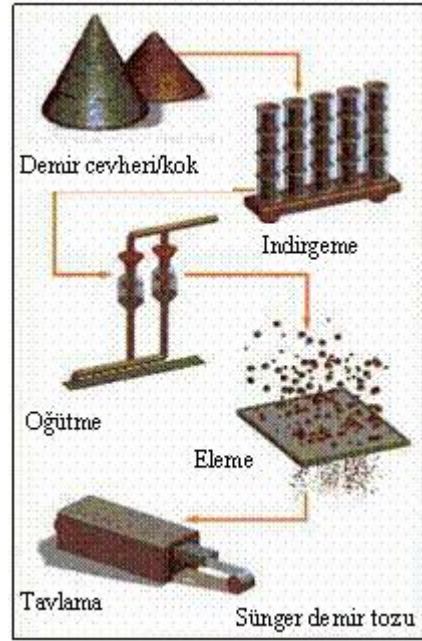
Mekanik alaşımlama (M.A.) yöntemi, kuru ve katı haldeki tozların birbirlerine periyodik olarak kaynaklanmasını ve tekrar bu kaynakların kırılmasını sağlayarak daha ince ve homojen bir mikroyapıya sahip yüksek dayanımlı kompozit malzemelerin üretilmesinde kullanılır. M.A. yönteminde tozlar kapalı bir kap içerisine konular ve şaft döndürülür (Şekil 2.4). Tozlar, şaft kolları ve bilyalar yardımı ile deforme edilir ve bu tozlarda kırılma ve soğuk kaynaklaşmalar meydana gelir (Ünal, 2007).



Şekil 2.4: Mekanik alaşımlama yöntemi

Metal tozlarının kimyasal yöntemle üretimi, metal oksitlerin (demir, bakır, tungsten, molibden, nikel ve kobalt) CO veya hidrojen gibi indirgeyici gazlarla oksitlerinden kimyasal olarak indirgenmesidir. Kimyasal yöntemle üretilen sünger demir tozu bu yöntemin önemli bir uygulama örneğidir. Sünger demir, demir oksit cevherinin uygun nitelikte indirgeyici elemanlara indirgenerek süngerimsi bir kütleyle dönüştürülmesiyle elde edilir. Magnetit ( $Fe_3O_4$ ), kok ve kireç taşı ile karıştırılır ve seramik kaplara doldurulur. Karışım seramik kaplar içerisinde  $1260\text{ }^{\circ}C$  sıcaklıktaki fırınlarda 68 saat bekletilir. İndirgenmenin tamamlanması ile sünger demir elde edilir. Şekil 2.5’de kimyasal yöntemle demir tozu imalatı görülmektedir. Elde edilen sünger demir külçeleri yüksek sıcaklıkta ( $1260\text{ }^{\circ}C$ ) birbirine kaynak olmuş tozlardan oluştuğundan öğütülerek istenilen tane büyüklüğüne getirilir. Hidrojen gazı altında  $870^{\circ}C$ ’de tavlanarak oksijen ve karbondan mümkün olduğu kadar arıtılır ve son olarak elekten geçirilir (Ünal, 2007).

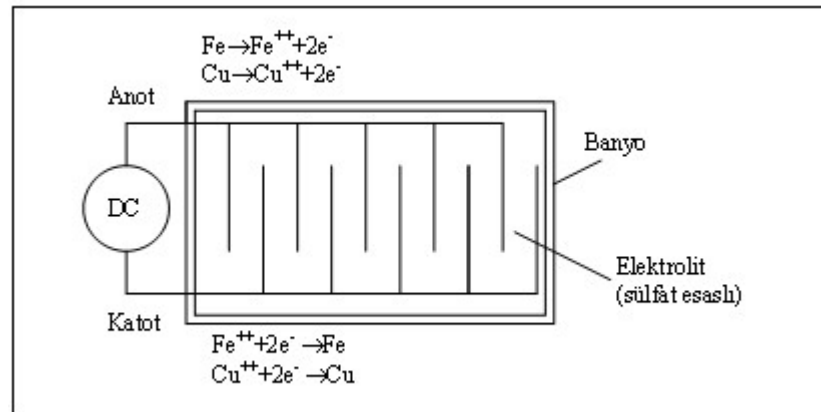




Şekil 2.5: Kimyasal yöntemle demir tozu üretimi.

### 2.3.2 Elektroliz Yöntemi

Elektroliz yöntemiyle, oksitlerden oluşan tozlar katoda akım vermek suretiyle elektrolitik banyoda çökertilir ya da iyi kırılabilme özelliğinde katot da toplanır (Şekil 2.6). Banyo teknesi kurşun kaplıdır. Elektrolitik olarak bakır sülfat ve sülfirik asit kullanılır. Anot bakır katod ise antimuanlı kurşundur. Elektroliz yöntemi ile genel olarak bakır tozları imal edilir (Ünal, 2007).



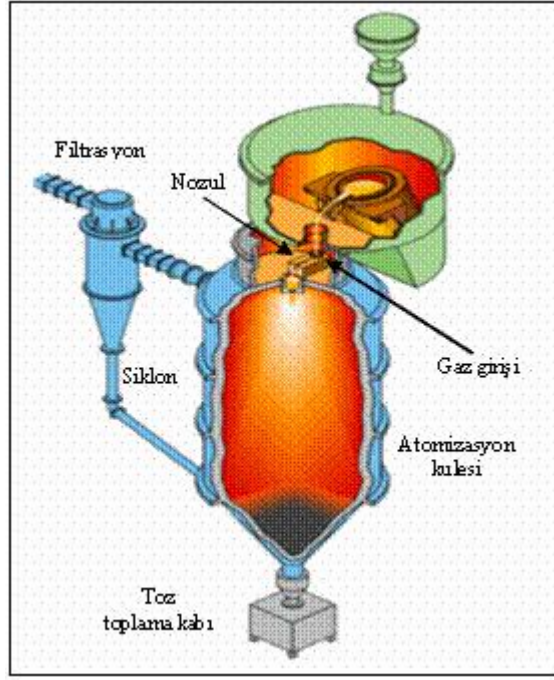
Şekil 2.6: Elektroliz ile tozu üretimi

Elektroliz yönteminde, elektrolitik banyoda çökertilen veya katotta toplanan metal kolaylıkla öğütülerek ince toz haline getirilir ve üretilen tozlar yıkanarak elektrolitten iyice temizlenir. Kurutma asal gazlar altında yapılarak oksitlenme önlenir . Elektroliz sırasında oluşan parçacıklar dendritik bir yapı gösterirlerse de daha sonraki işlemlerle bu yapı kaybolur. Elektrolitik tozların en büyük avantajı yüksek safiyetleri, dolayısıyla iyi sıkıştırabilme özelliklerine sahip olmalarıdır (Ünal, 2007).

### **2.3.3 Atomizasyon Yöntemi**

Atomizasyon, bir sıvı demetinin farklı boyutlardaki çok sayıda damlacıklara ayrılmasıdır. Temel prensip, bir potanın dibindeki delikten akmakta olan ergimiş metalin üzerine yüksek basınçlı gaz veya sıvı püskürtülmesidir (Şekil 2.7). Hava, azot ve argon sıklıkla kullanılan gazlardandır ve su ise çok sık tercih edilen sıvıdır. Burada gaz veya sıvı, ergiyik haldeki metal demetini farklı boyutlarda çok sayıda damlacıklara ayırır. Damlacıklar daha sonra katılarak metal tozlarını oluştururlar. Bu üretim yöntemi üç ana bölüme ayrılır:

- Ergitme
- Atomizasyon
- Katılma ve soğuma



**Şekil 2.7:** Düşey gaz atomizasyon ünitesi

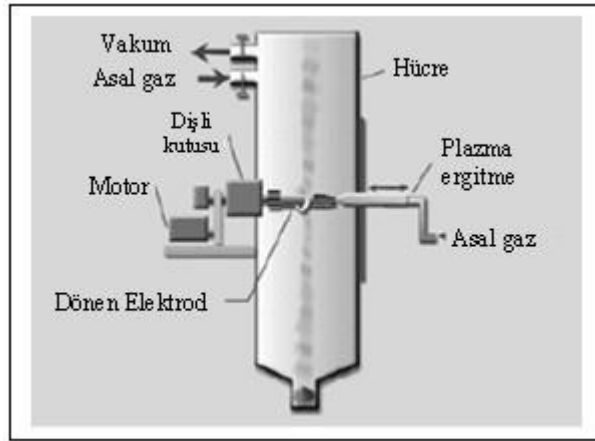
Bu işlemlerden sonra çoğu zaman yüzey oksitlerinin azaltılması, gazlardan uzaklaştırma ve toz boyutu dağılımı gibi ürünün istenen niteliklere getirilmesi için ek işlemler yapılmaktadır. Metal tozlarının üretiminde yaygın olarak kullanılan atomizasyon yöntemleri paslanmaz çelik, pirinç, demir, alüminyum, çinko, kalay ve kurşun gibi metal ve alaşımları için oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Ayrıca atomizasyon yöntemleri, alüminyum ve alaşımlarının tozlarının üretiminde en yaygın ve en ekonomik olan yöntemlerdir. Atomizasyon yöntemlerinden su atomizasyonu, sıvı metalin su jeti ile parçalanması, gaz atomizasyonu ise gaz jeti ile parçalanması olarak tanımlanır. Tipik bir suyla atomizasyon tankı Şekil 2.8’ de verilmiştir. Çevresel olarak yerleştirilmiş olan memelerde oluşan basınçlı su jetleri sıvı metali keserek parçalar. Oluşan damlacıklar tankın dibine doğru hareket ederken soğuyarak katılaşırlar ve dibe çökelirler. Su çok iyi bir soğutucu olduğundan, suyla atomizasyon tankları kısadır (1m civarında). Gazla atomizasyonda benzeri şekilde oluşur. Ancak gazlar iyi soğutucu olmadıklarından gazla atomizasyon tankları 6 m den uzundur. Gaz atomize tozlar küresel veya küresele yakın şekillidirler. Bu yöntemle üretilen tozların tane boyutu 20 – 300 mm arasındadır. Su atomize tozlar genel olarak karmaşık şekilli olup, bu tozların sıkıştırılabilirlikleri ve sıkıştırılma sonrası ham

mukavemetleri yüksektir. Su atomizasyon yöntemiyle elde edilen tozların ortalama tane boyutu 30 – 1000 nm arasındadır (Ünal, 2007).



**Şekil 2.8:** Su atomizasyon işlemi

Ergiyik metalden toz üretimi için merkezkaç kuvvetinin kullanılması olarak bilinen döner disk santrifüj atomizasyon yönteminde, sıvı metal dönen bir disk üzerine akıtılır. Disk üzerindeki set ve yarıklara çarpan sıvı metal parçalanarak şekildeki gibi saçılır. Saçılan metal parçacıklar soğutularak katılaşımları sağlanır (Ünal, 2007).

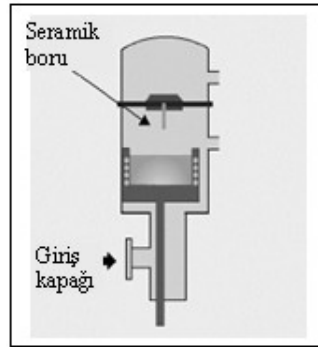


**Şekil 2.9:** Döner elektrot atomizasyon yöntemi

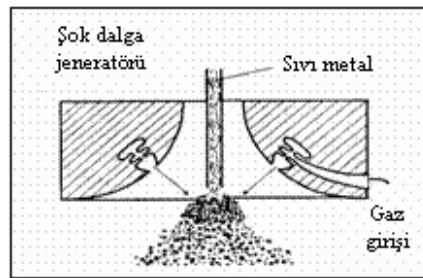
Döner elektrot kullanılarak yapılan santrifüj atomizasyon yöntemi ise, dönmekte olan elektrotun ergiyen ucundaki sıvı metal damlaların atomize olması esasına dayanır (Şekil 2.9).

Döner elektrot kullanılarak yapılan santrifüj atomizasyon yönteminde tozu elde edilecek metalden yapılmış elektrot ile ergimeyen tungsten elektrot arasında ark oluşturulur. Ergiyen elektrotun döndürülmesiyle, elektrik arkı altında oluşan damlacıklar savrulur ve tankta toplanır. Oksidasyonu önlemek için toz toplama tankı helyum, argon gibi asal gazlarla doldurulur. Döner elektrot yöntemiyle, kobalt, krom ve titanyum alaşım tozları üretilmektedir (Ünal, 2007).

Vakum atomizasyonu yöntemi, basınçlı gaz altındaki sıvı metale ani olarak vakum uygulanması sonucu gazın genleşmesi ve metalin atomize olmasıyla gerçekleştirilen bir yöntemdir. Bu yöntemde, Şekil 2.10'da görüldüğü gibi silindirik bir tankın alt kısmında sıvı metal potası, üst kısmında da vakum atomizasyon odası bulunmaktadır. Vakum altındaki sıvı metal önce belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılır, bundan sonra bu bölüme hidrojen gazı doldurulur. Potadaki sıvı metalde hidrojen gazı çözüldükten sonra potayı yukarı taşıyan mil potayı yukarı iterek seramik boruyu potaya daldırır. Üst kısımda vakum olduğu için sıvı metal memeden geçerek parçalanır. Böylece metal ve alaşımlarından ince küresel tozlar üretilir (Ünal, 2007).



Şekil 2.10: Vakum atomizasyon yöntemi



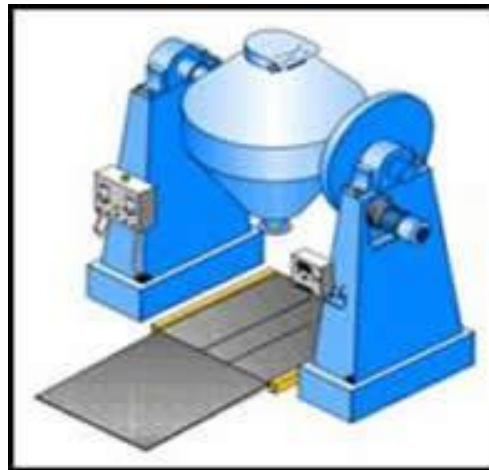
Şekil 2.11: Ultrasonik gaz atomizasyonu yöntemi

Ultrasonik gaz atomizasyon yönteminde ise, yüksek basınçlı gaz rezonans boşluklarının birinden diğerine ivmelendirilerek ultrasonik ses dalgaları oluşturulur

(Şekil 2.11) ve yüksek katlılaşma hızına bağlı olarak çok ince ve küresel şekilli tozlar üretilir. Atomizasyon yöntemleriyle bir tozun ortalama boyutu, toz boyutu dağılımı, toz şekli, yüzey kompozisyonu da dahil olmak üzere kimyasal bileşimi ve mikroyapısı kontrol edilebilir. Bu temel özellikler, tozların ve bitmiş parçaların görünür yoğunluk, sıkıştırılabilirlik ve tokluk gibi özelliklerini belirler. Bunların yanı sıra, atomizasyon yöntemlerindeki yüksek toz üretim hızı, ekonomik olarak bir üstünlüktür. Her atomize partikül bir ön alaşım veya küçük bir kütük gibidir ve her partikülde bileşim aynıdır (Ünal, 2007).

### 2.3.4 Tozların Karıştırılması

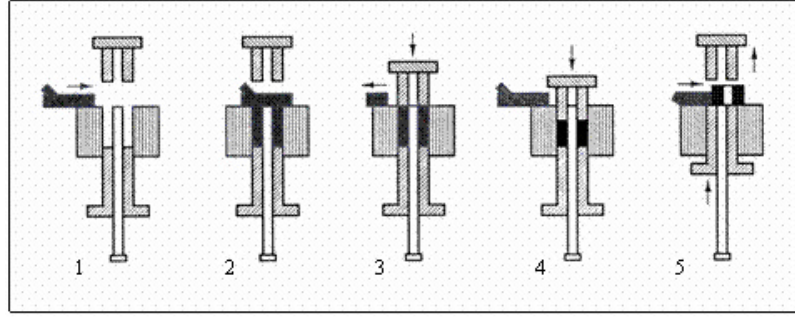
Tozların karıştırılması V veya Y tipi karıştırıcılar adıyla bilinen çift borulu ve çift-koni karıştırıcılarda yapılmaktadır (Şekil 2.12). Karıştırma işlemi, tozların tane boyutuna ve şekline göre yığılmasını önlerken, akma hızını ve görünür yoğunluğunu da değiştirir. Karıştırma işleminin uzun tutulması taneciklerin kırılarak küreselleşmesine ve önemli ölçüde plastik deformasyona uğramasına sebep olabilir. Buda tozun sıkıştırılabilme özelliğini azaltıp, şekillendirme sırasında gerekenden fazla soğuk işlem gerektirir. Sinterleme dahil bütün işlem kademelerinin değerlendirilmesi yapılmadan yeterli derecede karıştırma yapılıp yapılmadığına karar vermek oldukça güçtür (Ünal, 2007).



Şekil 2.12: Karıştırıcı

### 2.3.5 Tozların Preslenmesi

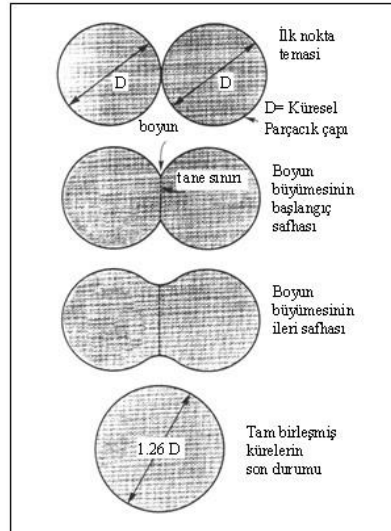
Bir çok halde preslemeden önce tozlar 400 – 800 °C arasında bir ısıtmaya tabi tutulur. Böylece oksitler, rutubet, karbon, kükürt ve fosfor mümkün mertebe ortamdan uzaklaştırılmış olur. Ayrıca ısıl işlem tozların sertliklerini de azaltır. Böylece tozların sıkıştırılabilme imkanı artar. Sıkıştırılabilme tavlama sıcaklığı arttıkça, oksijen azaldıkça artar. Presleme sıcak veya soğuk yapılabilir. Şekil 2.13’de tipik bir aksenal presleme işleminin basamakları görülmektedir (Ünal, 2007).



**Şekil 2.13:** Presleme işleminin basamakları; 1. İşlem başlangıcı, 2. Toz doldurma, 3. Presleme başlangıcı, 4. Preslemenin bitişi, 5. Preslenmiş parçanın çıkarılması

### 2.3.6 Sinterleme

Sinterleme, gözenekli yapıda bir form kazandırılmış tozların yüzey alanının küçülmesi, partikül temas noktalarının büyümesi ve buna bağlı olarak gözenek şeklinin değişmesine ve gözenek hacminin küçülmesine neden olan ısıl olarak aktive edilmiş malzeme taşınımı olarak tanımlanabilir. Sıkıştırılmış toz parçaları arasındaki bağlantı yapışma, mekanik kitlenme ve benzeri türden zayıf bağlar olup kristal kafes içerisindeki bağ dayanımına kıyasla çok zayıf kalmaktadır. Bu sebeple; sıkıştırılmış ham yoğunluktaki TM parçalarına mukavemet ve yüksek yoğunluk kazandırmak amacıyla ergime noktasının altındaki sıcaklıkta ısıl işlem uygulanır. Sinterlemenin başlaması noktasal olarak temas halinde bulunan toz parçacıklarının katı-hal bağına dönüşümü ile olur. Sinterleme işlemi sırasında, nokta teması ile başlayan, ara parçacık bağının gelişmesi ile devam eden mekanizmaya çift- küre sinterleme modeli denilmektedir (Şekil 2.14). Bu modelde, parçacık temasının sonucunda oluşan boyun büyümesiyle yeni bir tane sınırı oluşur ve iki parçacık tek bir parçacık oluşturacak şekilde birleşir (Ünal, 2007).



**Şekil 2.14:** Çift-küre sinterleme modeli



### **3. METALİK MALZEMELERİN DARBE DENEYİ**

#### **3.1 Amaç**

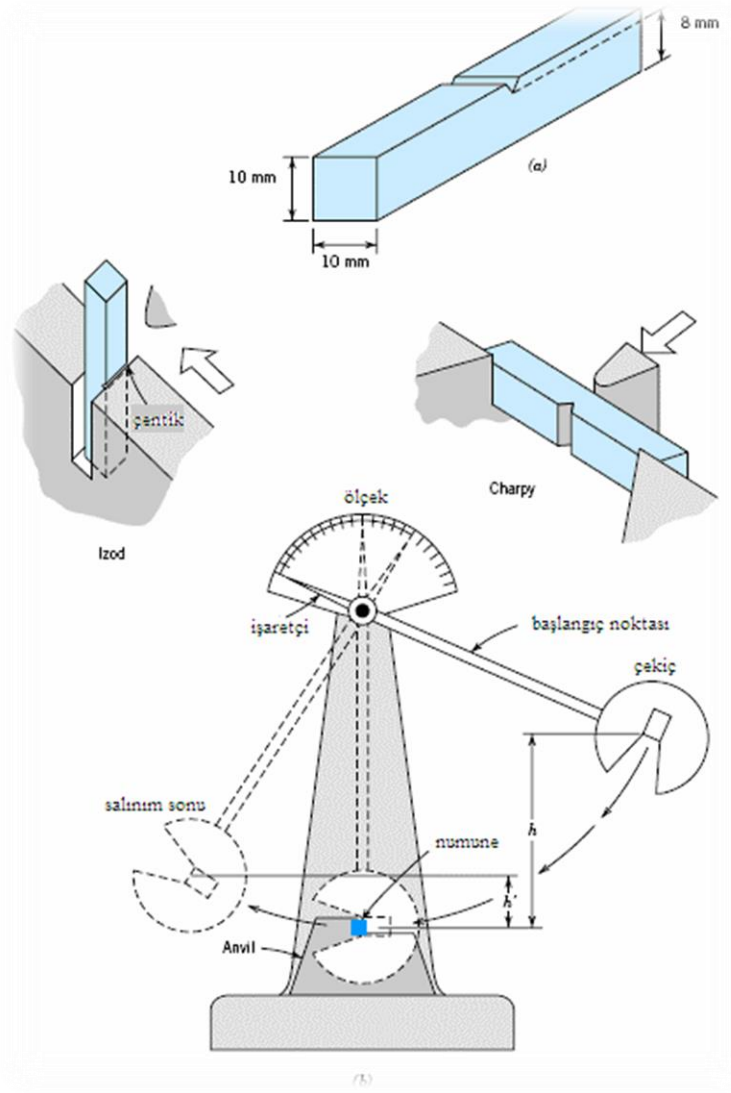
Metallerin özellikle gevrek kırılmaya uygun şartlardaki mekanik özellikleri hakkında bilgi edinmek ve numunenin dinamik bir zorlama altında kırılması için gerekli enerji miktarını (darbe direncini) belirlemek amacı ile yapılır.

#### **3.2 Teorik Bilgi**

Çekme deneyi ile elde edilen gerilme-genleme diyagramından bir malzemenin sünekliliği hakkında bilgi edinilebilir. İyi bir uzama gösteren metalin sünek olacağı, yani statik ve dinamik yüklemelere plastik şekil değiştirme ile karşı koyacağı tahmin edilebilir. Bu tahmin yüzey merkezli kübik veya hegzagonal sistemdeki metaller (demir dışı metallerin çoğu ve östenitik paslanmaz çelik) için genellikle doğrudur. Oysa hacim merkezli kübik sistemdeki metallerde (ferritik çelikler) bazen çekme deneyi sonuçları ile darbe deneyi sonuçları arasında uyumsuzluk görülür. Çekme deneyinde sünek bir davranış gösteren malzeme çentikli darbe deneyinde gevrek bir hal gösterebilir. Özellikle oda sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda bu olaya daha çok rastlanır. Darbe deneyinden elde edilen sonuçlar, o numune için bir kıyaslama değeridir. Çekme deneyi sonuçları gibi mühendislik hesaplamalarında kullanılamazlar. Çentikli darbe deneyleri genellikle Charpy ve İzod darbe deneyi olarak iki türde yapılmaktadır. Bu deney arasındaki temel fark ise: Charpy darbe deneyinde numune yatay olarak mesnetler arasına yerleştirilirken, İzod darbe deneyinde numune dikey ve konsol kiriş halinde bir kavrama çenesine sıkıştırılır. Malzemenin mekanik özellikleri hakkında bilgi edinmek için yapılan darbe deneyinin sonuçlarını çentik açısı, sıcaklık, malzemenin bileşimi, haddeleme yönü, malzemenin üretim yöntemi ve mikroyapısı etkilemektedir.

### 3.3 Deneyin Yapılışı

Darbe deneyinde kullanılan numune boyutları ve darbe deney cihazının şematik gösterimi Şekil 3.15' de verilmiştir. Şekil 3.15'den de görüldüğü üzere darbe deney numunesinin ortasında V şeklinde çentik açılmaktadır. Çentik açılmasının amacı, malzeme bünyesinde bulunabilecek olası bir gerilim konsantrasyonunu çentik tabanında yapay olarak oluşturup, malzemenin bünyesindeki böyle bir gerilim konsantrasyonuna karşı göstereceği davranışı belirlemektir. Deneyde Şekil 3.15'de şematik olarak gösterilen sarkaç tipi cihazdan faydalanılır. Deney öncesinde sarkaç, daha önce tespit edilen potansiyel enerjiye sahip olabileceği bir yüksekliğe çıkarılır. Daha sonra numune çekicinin salınım düzlemi ile çentiğin simetri düzlemi 0,5 mm içinde birbirleriyle çakışacak şekilde yerleştirilir. Numune uygun şekilde yerleştirildikten sonra okumaların yapıldığı kadranın göstergesi başlangıç konumuna getirilir ve sarkaç düzgün bir şekilde serbest bırakılır. Sonuç deneyden sonra kadrandan doğrudan okunur. Bulunan değer malzemenin darbe direnci (darbe mukavemeti) olarak tanımlanır.



**Şekil 3.15:** Darbe deneyi cihazının çalışma prensibi ve standart numuneler

Ağırlığı  $G$  olan sarkaç,  $h$  yüksekliğine çıkarılır. Bu durumda potansiyel enerjisi  $G \times h$  olur. Sarkaç bu yükseklikten serbest bırakıldığında düşey bir düzlem içinde hareket ederek numuneyi kırar ve aksi yönde  $h_1$  yüksekliğine kadar çıkar. Böylece numunenin kırılmasından sonra sarkacın potansiyel enerjisi  $G \times h_1$  olur. Buna göre sarkacın başlangıçtaki potansiyel enerjisi ile numune kırıldıktan sonraki potansiyel enerjilerinin farkı numuneyi kırmak için harcanmış, başka bir deyişle bu potansiyel enerji farkı kırılma anında numune tarafından absorbe edilmiştir.

Numunenin kırılma anında absorbe ettiği enerji şu şekilde gösterilebilir:

$$\text{Kırılma Enerjisi} = G.(h - h_1)$$

$G =$  Sarkacın ağırlığı (kg)

$L =$  Sarkacın ağırlık merkezinin, sarkacın salınım merkezine olan uzaklığı  
(m)

$h =$  Sarkacın ağırlık merkezinin düşme yüksekliği (m)

$h_1 =$  Sarkacın ağırlık merkezinin çıkış yüksekliği (m)

Buradan çentik darbe dayanımı; absorbe edilen enerjinin numune kesit alanına bölünmesiyle hesaplanır.

## 4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Parçacık takviyeli MMK malzemelerin üretiminde en yaygın olarak kullanılan yöntem toz metalürjisi (TM) yöntemidir. Parçacık takviyeli MMK malzemelerin üretiminde dikkat edilmesi gereken konular; homojen parçacık dağılımı, parçacık/takviye elemanı arasında iyi bir bağın oluşması ve özellikleri kötüleştiren ara yüzey reaksiyonlarının en aza indirgenebilmesidir. TM esaslı kompozitlerin hazırlanmasında düşük sıcaklıklarda çalışılmasından dolayı matris ve takviye elemanı arasında daha az etkileşim meydana gelir. Buna ek olarak, takviye elemanı boyutu ne kadar küçük olursa üretilen malzemenin mekanik özellikleri de o kadar iyi olur. Bu yüzden TM yöntemi bu tür malzemelerin üretimi için uygun bir metottur (Bolay, 1998).

Parçacık takviye elemanının hacim oranındaki artış genellikle MMK malzemelerin dayanımını arttırırken parçacık boyutunun artmasıyla dayanımları düşmektedir (Ma, ve Tjong 1997). Bununla birlikte, SiC parçacık takviyeli, Al matrisli kompozitte dayanımın parçacık takviye elemanı ile artış hızının SiC'ün %30-40 dan sonra azaldığı görülmüştür (İbrahim ve diğ. 1991).

Hiçyılmaz ve diğ. (1999) TM ile üretilmiş alüminyum esaslı kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada, toz tane boyutuna göre sınıflandırılmış alüminyum tozları içerisinde değişik oranlarda SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seramik parçacıkları katılarak çeşitli alüminyum toz karışım kompozisyonları elde etmiş ve toz metalürjisi tekniklerini kullanarak katı sinterleme ile seramik parçacık takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemeler üretmişlerdir. Elde edilen bu kompozit numunelerin mikroyapı incelemesi sonucunda sert fazların homojen olarak dağılımlarının sağlandığı görülmüştür. Mikroyapı içerisinde sert faz dışında %10 oranında gözenek olduğu belirlenmiştir. Kompozit parçalar tornalanarak elde edilen mekanik test numunelerine çekme, çentik darbe, sertlik ve aşınma deneyleri uygulanmıştır. Mekanik özelliklerin matrisi oluşturan alüminyum tozunun boyutuna bağlı olduğu ve toz boyutu azaldıkça iyileştiği görülmüştür. Sert fazların ilavesi çentik darbe enerjisini, çekme mukavemetini ve sünekliliği azaltırken aşınma direncini arttırmıştır. Sert faz bulunmayan malzemelerin çekme ve çentik darbe

özellikleri sert faz bulunanlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Sert faz miktarı arttıkça kompozitlerin sertliği ve aşınma dayanımı artmıştır.

Parçacık takviyeli MMK malzemeler, genellikle düşük dayanımlı bir matrisle sert, kırılğan, yüksek dayanımlı seramik parçacıkların çeşitli yöntemlerle bir araya getirilmesiyle üretilen karma malzemelerdir. Bu malzemelerin özellikleri, kombinasyonu oluşturan bileşen özellikleriyle karşılaştırıldığında önemli derecede değişiklikler görülmektedir. Matris malzemesine göre akma, çekme ve bazı durumlarda yorulma dayanımı oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda önemli derecede artar. Hatta yüksek sıcaklıklarda mekanik özelliklerdeki iyileşme oranı oda sıcaklığındaki iyileşme oranından daha fazla olur. Parçacık takviyeli MMK malzemeler aynı zamanda matris malzemesine göre yüksek modül, düşük ısıl genişleme katsayısı, yüksek aşınma direnci ve yüksek sertlik gibi fiziksel özelliklere de sahiptir (Cole ve Sherman, 1995)

Alüminyum matrisli parçacık takviyeli kompozit malzemelerin yüksek özgül dayanımları ve modülleri, hafif olmaları ve maliyetlerinin uzun elyaf takviyeli kompozitlerden daha düşük olması çeşitli uygulamalar için bu malzemeleri cazip hale getirmiştir. Günümüze kadar yapılan çalışmalar,  $Al_2O_3$ , SiC ve  $TiB_2$  gibi çeşitli parçacık takviye elemanlarının katılmasıyla bu malzemelerin mekanik özelliklerinin arttığını göstermiştir (Lim ve diğ. 1999).

MMK malzemelerde ıslanabilirliği iyileştirmek için magnezyum gibi bazı alaşım elementlerinin bu malzemelerin üretimi sırasında katıldığı bilinmektedir. Böyle alaşım elementlerinin matris ve seramik parçacık arasındaki ara yüzey bağını iyileştirmede ve dolayısıyla mekanik özelliklerini geliştirmede önemli rolü vardır (Aghajanian ve diğ. 1989).

Brun ve diğerleri (1985) %40 SiC parçacık takviyeli 6061 alüminyum MMK malzemeyi seramik, sert metal, kübik bor nitrür (CBN) ve elmas kesiciler kullanarak işlemişler ve kesici takım performanslarını karşılaştırmışlardır. Yapılan tornalama işlemleri sonucunda SiC parçacık takviye elemanlarından daha sert bir takımın etkin bir şekilde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Şahin ve diğerleri (2002) SiC parçacık takviyeli Al esaslı kompozitleri TM yöntemi ile üretmişler ve bu kompozitlerin yoğunluk ve sertlik değişimleri ile aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Üretilen kompozitlerde SiC parçacık takviye oranları %5, %10, %15 ve %20 olarak seçilmiştir.

MMK malzemelerin tokluk değerleri, ölçüm tekniğine, üretim yöntemine, takviye elemanının hacim oranına, şekline, boyutuna ve matris alaşımının içeriğine bağlıdır. MMK malzemelerin tokluğunun belirlenmesi için hala standart bir metot belirlenmemiştir. Çentik darbe deneyi, tokluk ölçümü için kullanılan metotlardan birisidir. Bu deney vasıtasıyla, bir malzemenin hem kırılma enerjisi ve hem de dinamik kırılma tokluğu değerleri tespit edilebilir (Surappa ve diğ. 1993).

Genel olarak, darbeler düşük hızlı veya yüksek hızlı olarak sınıflandırılırlar, fakat bu kategoriler arasında açık bir geçiş yoktur. Yapılan araştırmalar bu geçişin belirlenmesinde henüz net bir sonucun elde edilemediğini göstermektedir. Bu konuda yapılmış çalışmalardan bir kısmı düşük hızlı darbeyi, ki bunlar statikmiş gibi düşünülebilir, hedefin rijitliğine, malzeme özelliklerine ve çarpan cismin kütle ve rijitliğine bağlı olarak 1 ila 10 m/s arasında değişen hızlar olarak değerlendirilmesi gerektiğini savunmaktadır (Sjoblem ve diğ. 1988- Shivakumar ve diğ. 1988)

Düşük hızlı darbeye en basit örnek olarak kompozit malzeme üzerine imalat veya bakım esnasında kaza sonucu bir parçanın düşmesi verilebilir. Düşük hızlı darbeler normal olarak çarpışma temas anında malzeme iç yapısında deformasyon oluşturan darbelerdir. Bazen düşük hızlı darbe, düşük enerjili darbe olarak da kullanılır. Düşük hızlı darbeye, malzemenin iç yapısında darbeye karşı cevap verebilmek için gerekli olan temas süresi yeterlidir ve sonuç olarak daha fazla enerji elastik olarak absorbe edilir. Bu nedenle hedefin dinamik yapısal cevabı çok büyük bir öneme sahiptir. Yüksek hızlı darbe cevabı malzeme boyunca yayılan gerilme dalgası tarafından hakim olunur ki bu durumda malzeme darbeye karşı cevap verebilme zamanına sahip olamaz ve çok küçük bir bölgede hasar oluşur. Cantwell ve Morton (1989), kompozit malzemenin darbe davranışını belirlemek için Charpy ve Izod gibi bilinen darbe deneylerini kullanmışlar ve düşük hızı 10 m/s' e kadar olan hızlar olarak sınıflandırmışlardır .

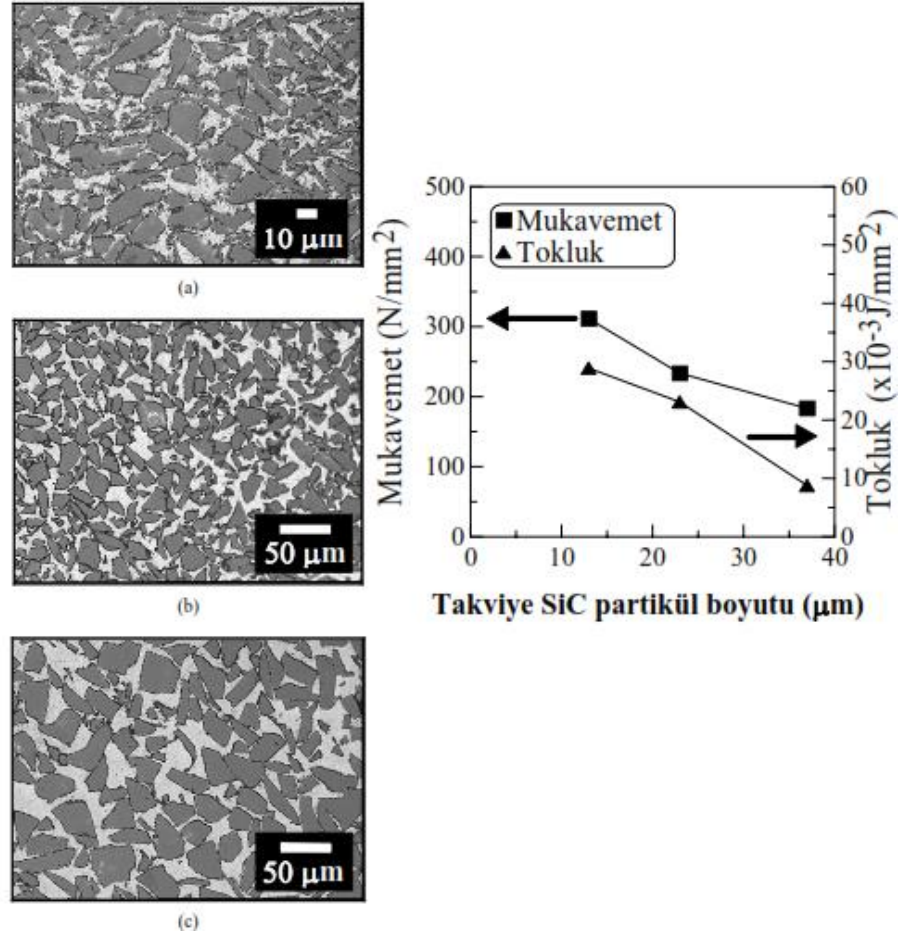
Bununla birlikte Abrate (1991), tabakalı kompozit malzemelerde darbe ile ilgili yapmış olduğu çalışmalarda düşük hızlı darbeleri, 100 m/s den düşük hızlarda oluşan darbeler olarak belirlemiştir . Sayer ve diğerleri (2010) aramit-cam elyaf/epoksi ve aramit-karbon elyaf/epoksi hibrit kompozit plakaların darbe davranışlarını farklı takviye durumları göz önüne alarak incelemişlerdir.

Literatürde toz metalden imal edilen bir plaka üzerine, ağırlık düşürme darbe deneyi kullanılarak yapılmış bir araştırmaya henüz rastlanılmamıştır. TM ile üretilmiş parçaların darbe testlerinde, genellikle çentik darbe veya izod deneyleri kullanılmaktadır. Bu deneylerden elde edilen verilere göre hazırlanmış bazı makaleler şunlardır.

Hasson ve arkadaşları (1985), ekstrüzyonla ürettikleri % 20 SiC ihtiva eden AA6061 matrisli kompozitin, çentik darbe dayanımına T6 (çözündürme uygulanmış ve yapay olarak yaşılandırılmış) ısıl işleminin etkisini incelemişler, ayrıca kompozitlerden elde edilen sonuçlarla takviyesiz AA6061 alaşımından elde edilen sonuçları karşılaştırmışlardır. Al6061/SiC-T6 kompozitin dayanımının AA6061-T6 alaşımından daha yüksek olduğu, kompozitin çentik darbe dayanımına ısıl işlemin önemli bir etkisinin olmadığı ve darbe dayanımının alaşımından daha düşük olduğu sonuçlarını bulmuşlardır.

Ahlatcı ve arkadaşları (2002), %60 SiC partikül ihtiva eden saf Al (%99.8) kompozitin çentik darbe davranışı üzerine tane boyutunun etkisini araştırmışlar ve SiC tane boyutu arttıkça kompozitin darbe dayanımının düştüğünü ifade etmişlerdir. Ahlatcı ve arkadaşları, bunu partikül boyutunun artışı ile partiküllerdeki kırılma hasarının artmasına bağlamışlardır.





**Şekil 4.16:** Basınçlı infiltrasyon tekniği ile üretilmiş saf Al matrisli (a) 13 μm (b) 23 μm ve (c) 37 μm boyutlarında SiC takviyeli kompozitlerin mikroyapıları

Alüminyum kompozitlerin ihtiva ettiği SiC ün darbe yüklemesi altında enerji absorbe etme kabiliyetini azalttığını belirten Ellis ve Lewandowski (1994), MB-85 Al (Al-Cu-Mg)/SiC partikül takviyeli kompozite takviyesiz Al bir tabaka ilave ederek sünekliğini arttırmışlar ve bu sayede çentik darbe direncini iyileştirmişlerdir.

## 5. SONUÇ

ALMMK'lerin aşınma, sertlik ve çentik darbe gibi mekanik davranışları çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmektedir. Takviyesiz alüminyuma göre arttırılmış mekanik özellikleri bu malzemelerin farklı mühendislik alanlarındaki uygulamalarının artmasını sağlamaktadır. Partikül takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin diğer kompozitlere göre bazı uygulamalardaki düşük maliyetleri, bu kompozitleri oldukça cazip malzemeler haline getirmektedir. Bu malzemelerin, yüksek sıcaklık uygulamalarında iyi mekanik davranış sergilemeleri, ticari başarıları açısından diğer önemli bir özelliğidir.

Literatür araştırmalarında da görüldüğü gibi ALMMK'lerin darbe dayanımı ALMMK'lerin üretim yöntemine, takviye elemanının hacim oranına, şekline, boyutuna ve matris alaşımının içeriğine bağlıdır. İmalat sektöründe ihtiyaca bağlı olarak mevcut deneyler çoğaltılarak ALMMK'lerin teknik özellikleri geliştirilerek imalat sektörünün ihtiyacı giderilebilir.

## 6. KAYNAKLAR

Abrate, S. Impact on Laminated Composite Materials. Appl. Mech. Rev. 1991, 44(4), 155-190.

Aghajanian, M. K., Burke, J. T., White, D. R. and Nagelberg, A.S., A New Infiltration Process for the Farbrication of Metal Matrix Composites, Sample Quarterly, 43-46, July (1989)

Bolay, K.,A Microstructural Study of Hot Pressed PM Aluminum-Copper and Aluminum-Copper-Siliconcarbide Composites, M.Sc.Thesis, METU, Ankara, (1998)

Brun, M. K., Lee, M. and Gorsler, F., Wear Characteristic of Various Hard Materials for Machining SiC-reinforced Alüminum Alloy, Wear , 104, 21-29, (1985)

Cantwell, W.J. and Morton, J. Geometrical effects in the Low velocity impact response of CFRP. Comp. Struct. 1989, 12, 39-59.

Clyne,T.W., Withers, 1993, “An Introduction to Metal Matrix Composites, Cambridge University pres, USA

Cole, G.S. and Sherman , A.M., Lightweigt Materials for Automotive Applications, Materials Characterisation , 35, 3-9, (1995)

Eker, A.A., 2008, Metal Matrisli Kompozit Malzemeler ve Üretim Yöntemleri, Yıldız Tenik Üniversitesi,

[http://www.yarbis.yildiz.edu.tr/web/userCourseMaterials/akdogan\\_81544a85d0e6510467de73b57b89f0fe.pdf](http://www.yarbis.yildiz.edu.tr/web/userCourseMaterials/akdogan_81544a85d0e6510467de73b57b89f0fe.pdf) [Ziyaret Tarihi: 11.11.2017].

Hasson, D. F., Hoover, S. M., Crowe, C.R., Effect of Thermal Treatment on the Mechanical and Toughness Properties of Extruded SiC/Aluminium 6061 Metal Matrix Composites, Journal of Materials Science, 20, 4147-4154, 1985.

Hiçyılmaz, N., Aydın, Ş. Ve Sarıtaş, S., Toz Metalürjisi ile Üretilmiş Alüminyum esaslı Tanecikli Kompozitlerin Mekanik Özellikleri, Uluslararası Katılımlı 2. Ulusal Toz Metalürjisi Konferansı, 621-629, ODTÜ, ANKARA, (1999)

Ibrahim, I. A., Mohamed, F. A. And Lavernia, E. J., Particulate Reinforced Metal Matrix Composites- a review, Journal of Materials Science, 26, 1137-1156, (1991)

Lim, S. C., Gupta, M., Ren, L. and Kwok, J.K. M., The Tribological Properties of Al-Cu/SiCp Metal Matrix Composites Fabricated Using The Rheocasting Technique, Journal of Materials Processing Technology, Journal of Materials Processing Technology, 89-90, 591-596, (1999)

Ma, Z. Y. and Tjong, S.C., In Situ Ceramic Particle Reinforced Al Matrix Composites Fabricated by Reaction Pressing in the TiO<sub>2</sub> (Ti)-Al-B(B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) Systems, Metalurgical and Materials Transactions A, 28A, 1931-1942, (1997)

Sayer, M., Bektaş, N.B., Çallioğlu, H., Impact Behavior of Hybrid Composite Plates, Journal of Applied Polymer Science, 2010, Vol. 118(1), 580–587.

Shivakumar, K.N., Elber, W. and Illg, W. Prediction of low-velocity impact damage in thin circular laminates, AIAA J. 1988, 23(3), 442-449.

Surappa, M. K., Sivakumar, P., Fracture Toughness Evaluation of 2024-Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Particulate Composites by Instrumented Impact, Composites Science and Technology, 46, 287-292, 1993.

Sjoblem, P.O., Hartness, J.T. and Cordell, T.M. On low-velocity impact testing of composite materials. J. Compos. Mater. 1988, 22, 30-52.

Şahin, S., Özdemir, I. Ve Ünlü, B. S., T/M yöntemiyle Üretilmiş Al-SiCp Kompozitlerde Üretim Parametrelerinin Aşınma Davranışına Etkisi, 3. Uluslararası Toz Metalürjisi Konferansı, Gazi üniversitesi, Ankara, (2002)

Şahin, Y., 2010, Kompozit Malzemelere Giriş, Ankara, 113-131.

Ünal, R., 2007, Toz Üretim [http://rahmiunal.net/toz/tozuretimi/powder\\_product.html](http://rahmiunal.net/toz/tozuretimi/powder_product.html), [Ziyaret Tarihi: 11.11.2017].

## 7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Burak AKTAŞ

Doğum Yeri ve Tarihi : ALTINDAĞ / 30.04.1987

Lisans Üniversite : PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ

Elektronik posta : burak\_akts@hotmail.com

İletişim Adresi : Hacıışak mah. 150 Sk. No:20 d:3  
AKHİSAR/MANİSA