

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALUMİNA-SİC PARTİKÜL DESTEKLİ T/M AL-
MATRİKSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİLMESİ VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Feyzullah Alpaslan EKERER

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Adem DEMİR

Nisan 2007

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALUMİNA-SİC PARTİKÜL DESTEKLİ T/M AL-
MATRİKSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİLMESİ VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Feyzullah Alpaslan EKERER

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Bu tez 27 / 04 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Adem DEMİR
Jüri Başkanı

Prof. Dr. Fehim FINDIK
Üye

Y. Doç. DR. Necat ALTINKÖK
Üye

ÖNSÖZ

Günümüzde birçok işletme rekabet üstünlüğünü elde etmede işletmeler arası ilişkilerin önemini anlamış ve gerek tedarikçileri gerekse müşterileriyle olan ilişkilerini karşılıklı işbirliği ve menfaat esasına bağlı olarak yeniden yapılandırmaya başlamışlardır. Özellikle tedarikçilerle geliştirilen sıkı işbirliğinin ürün kalitesinin arttırılması, satın alınan ürünlerin maliyetinin düşürülmesi, üretim ve dağıtım esnekliğinin geliştirilmesi, müşteri memnuniyetinin arttırılması gibi konularda son derece olumlu katkılar sağladığı görülmektedir.

“Alümina-SiC Partikül Destekli Toz Metal Alüminyum Matriksli Kompozitlerin üretilmesi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi” konulu bu tezimin hazırlanmasında ve yürütülmesinde beni fikirleriyle aydınlatan hocalarımdan tez danışmanım sayın Doç. Dr. Adem DEMİR’e ve Yrd. Doç.Dr. Uğur ÖZSARAÇ’a, Arş. Gör. Fatih ÇALIŞKAN’a ve Arş. Gör. Hüseyin ŞEVİK’e teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bu günlere gelmemi sağlayan aileme de sevgilerimi sunarım.

Feyzullah Alparslan EKERER

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY.....	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI	3
2.1. Tanım.....	3
2.2. Alüminyum Alaşimleri	5
2.2.1. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması.....	5
2.2.2. Alüminyum-mangan alaşımları.....	8
2.2.3. Alüminyum-magnezyum alaşımları.....	8
2.2.4. Alüminyum-bakır alaşımları.....	10
2.2.5. Alüminyum bakır magnezyum alaşımları.....	11
2.2.6. Alüminyum magnezyum silisyum alaşımları.....	11
2.2.7. Alüminyum döküm alaşımları.....	12
2.2.8. Alüminyum-lityum alaşımları.....	15
BÖLÜM 3.	
TOZ METALURJİSİ.....	16
3.1. Giriş.....	16

3.2. Toz Metalürjisinin Avantaj ve Dezavantajları.....	17
3.3. Toz Metalurjisi Yöntemiyle Parça Üretimi.....	18
3.4. Sinterleme ve Aşamaları.....	22
BÖLÜM 4.	
KOMPOZİT MALZEMELER.....	27
4.1. Tanım.....	27
4.2. Metal Matriksli Kompozitler.....	28
4.3. Polimer Matriksli Kompozitler	32
4.4. Seramik Matriksli Kompozitler	33
4.5. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri	33
4.5.1. Sıvı metal emdirmesi (İnfiltrasyon).....	34
4.5.2. Sıkıştırılmalı veya sıvı dövme döküm tekniği.....	34
4.5.3. Basınçlı ve basınçsız infiltrasyon.....	35
4.5.4. Sıvı metal karıştırması.....	38
4.5.5. Yarı katı karıştırma.....	39
4.5.6. Toz metalurjisi tekniği.....	39
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	41
5.1. Malzeme	41
5.2. Presleme ve Sinterleme.....	41
5.3. Sertlik Ölçümü.....	42
5.4. Yoğunluk Ölçümü.....	42
5.5. Optik Görüntüleme.....	43
5.6. Çekme Deneyi.....	43
5.7. Eğme Deneyi.....	44
BÖLÜM 6.	
DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME	46
6.1. Giriş.....	46
6.2. Al ₂ O ₃ Takviyeli T/M Al Metal Matriks Kompozitlerinin Yoğunlaşma Davranışları.....	46

6.3. Alüminyum Metal Matriks Kompozitlerin Sertlik Sonuçları.....	54
6.4. Alüminyum Kompozitlerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	55
6.5. Alüminyum Metal Matriks Kompozitlerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	61
BÖLÜM 7.	
GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	68

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Al_2O_3	:Alümina
MMK	:Metal Matriks Kompozit
SiC	:Silisyum Karbür
T/M	:Toz Metalurjisi
SiAlON	:Silisyum Alüminyum Oksi Nitrür
d	:Yoğunluk
R.D	:Relatif Yoğunluk
BSD	:Brinell Sertlik Değeri

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Yıllık primer alüminyum üretiminin ülkelere göre dağılımı.....	5
Şekil 2.2.	Alüminyum-Magnezyum faz diyagramının alüminyumca zengin ucu	9
Şekil 2.3.	Al-Cu faz diyagramının alüminyumca zengin ucu.....	10
Şekil 2.4.	Alüminyum silisyum faz diyagramı.....	14
Şekil 3.1.	Presleme aşamaları.....	20
Şekil 3.2.	Sinterleme Aşamaları.....	23
Şekil 4.1	Fiber takviyeli kompozitlerin enine kesitinde Arafaz ve Ara- yüzeylerin görünümü	27
Şekil 4.2.	Fiber takviye fazlarının yaygın çeşitleri.....	29
Şekil 4.3.	Sıkıştırma döküm yöntemi.....	35
Şekil 4.4.	Basınçlı infiltrasyon metodu.....	36
Şekil 5.1.	Toz sıkıştırma kalıbı.....	41
Şekil 5.2.	Toz metal matriks kompozitler için sinterleme, gözenekli SiAlON için reaksiyon fırını.....	42
Şekil 5.3.	Silindirik kesitli çekme deney numunesi ve ölçüleri.....	44
Şekil 5.4.	Kare kesitli eğme deney numunesi ve düzeneği.....	45
Şekil 6.1.	Al ₂ O ₃ /Al kompozitlerin partikül artışına göre yoğunluk değişimi.....	49
Şekil 6.2.	Al ₂ O ₃ /Al kompozitlerin partikül artışına göre relatif yoğunluk değişimi	49
Şekil 6.3.	600 MPa basınçta sıkıştırılmış ve 640°C de %8 H içeren Argon gazı altında sinterlenmiş numunelerin ağırlıkça farklı partikül oranlarındaki optik mikroskop görüntüleri.....	50
Şekil 6.4.	Sıkıştırma basıncı artışına göre Al kompozitlerin yoğunluk değişimi	52
Şekil 6.5.	Sıkıştırma basıncına göre Al kompozitlerin relatif yoğunluk değişimi.	53
Şekil 6.6.	640°C de %8 H içeren Argon gazı altında sinterlenmiş %15 Al ₂ O ₃ /Al kompozitlerinde sıkıştırma basıncının mikro yapıya etkisi.....	53

Şekil 6.7.	Sıkıştırma basıncı ile brinell sertlik değeri arasındaki ilişki.....	55
Şekil 6.8.	Matriks içindeki yüzde alümina oranı ile brinell sertlik değeri arasındaki ilişki.....	55
Şekil 6.9.	Saf Al matriksli numune ile yapılan çekme deneyine ait çizilen gerilme(σ) -%e grafiği. Soldaki eğri “gerçek σ -gerçek e” grafiğidir.	56
Şekil 6.10.	Al matriksli numune + %5 SiC katkılı numunelerle yapılan çekme deneyine ait çizilen gerilme(σ) -%e grafiği. Soldaki eğri “gerçek σ -gerçek e” grafiğidir.....	56
Şekil 6.11.	Al matriksli numune + % 10 SiC katkılı numunelerle yapılan çekme deneyine ait çizilen gerilme(σ) -%e grafiği. Soldaki eğri “gerçek σ -gerçek e” grafiğidir.....	57
Şekil 6.12.	Al matriksli numune + % 15 SiC katkılı numunelerle yapılan çekme deneyine ait çizilen gerilme(σ) -%e grafiği. Soldaki eğri “gerçek σ -gerçek e” grafiğidir.....	57
Şekil 6.13.	Al matriksli numune + % 20 SiC katkılı numunelerle yapılan çekme deneyine ait çizilen gerilme(σ) -%e grafiği. Soldaki eğri “gerçek σ -gerçek e” grafiğidir.....	58
Şekil 6.14.	Al matriksli numune + % 25 SiC katkılı numunelerle yapılan çekme deneyine ait çizilen gerilme(σ) -%e grafiği. Soldaki eğri “gerçek σ -gerçek e” grafiğidir.....	58
Şekil 6.15.	Farklı katkı miktarlarında bulunan σ_{UTS} değerleri.....	60
Şekil 6.16.	Farklı katkı miktarlarında bulunan $\delta_{eğme}$ değerleri.....	61

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Önemli metallerin yer kabuğundaki oranı.....	3
Tablo 2.2.	Alüminyum metalinin mekanik özellikleri.....	4
Tablo 2.3.	Dövme alüminyum alaşım grupları.....	6
Tablo 2.4.	Döküm alüminyum alaşım grupları.....	7
Tablo 2.5.	Alüminyum-Mangan alaşımlarının kimyasal kompozisyonu ve uygulamaları.....	8
Tablo 2.6.	Al-Mg alaşımlarının kimyasal kompozisyon ve uygulamaları.....	9
Tablo 2.7.	Alüminyum-bakır-magnezyum alaşımlarının mekanik özellikleri	11
Tablo 2.8.	Alüminyum döküm alaşımları için kimyasal kompozisyon ve tipik uygulamaları.....	12
Tablo 2.9.	Yaygın olarak kullanılan Alüminyum-Silisyum alaşımlarının kimyasal kompozisyonu.....	15
Tablo 3.1.	Metal tozun etki ettiği faktörler.....	21
Tablo 3.2.	Toz metalurjisi genel uygulamaları.....	25
Tablo 4.1.	Alüminyum metal matriksli kompozit endüstrisinin hedefleri.....	30
Tablo 6.1.	Al ₂ O ₃ /Al T/M kompozitlerin yoğunluk basınca ve bileşime bağlı değişimleri.....	48
Tablo 6.2.	Çekme deneyinde kullanılan numuneler ve elde edilen sonuçlar .	59
Tablo 6.3.	Üç-Nokta eğme deneyinde kullanılan numuneler ve elde edilen sonuçlar.....	61

ÖZET

Anahtar kelimeler: Kompozit, Metal Matriks, Mekanik özellik, Toz metalürjisi

Bilim ve teknoloji alanındaki gelişmeler sonucunda kompozit malzemelerin önemi gittikçe artmaktadır. Artık tek yönlü malzemeler teknolojinin ihtiyacını karşılamamaktadır. Bu nedenle bir çok araştırmacı kompozitlerin üretim yöntemleri ve özelliklerinin geliştirilmesi konusunda yoğun çabalar sarfetmektedirler. Metal matriks kompozitler, yüksek akma mukavemeti, yüksek elastiklik modülü, yüksek basma gerilmesi, yüksek aşınma direnci, düşük termal genleşme katsayısı ve yüksek sıcaklık mukavemeti gibi özelliklere sahip olduklarından oldukça önemlidir.

Bu çalışmada, Metal matriks kompozit malzeme üretimi için, matriks malzemesi olarak Alüminyum (%99,9 saflık da) ve takviye malzemesi olarak da toz halinde Alümina (Al_2O_3) kullanılmıştır. Toz halindeki alüminyum ve alümina malzemeleri çeşitli kompozisyonlarda karıştırılarak toz metalürjisi tekniği ile kompozit olarak üretilmiş ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

PRODUCTION OF ALUMINUM-SiC PARTICLE REINFORCED ALUMINUM METAL MATRIX COMPOSITES AND MECHANICAL PROPERTIES INVESTIGATION

SUMMARY

Keywords: Composite, Metal Matrix, Mechanical Property, Powder Metallurgy

The importance of composite materials has been increased in the light of developments observed in science and technology. Today, technology needs multi-functional materials. Therefore, researchers try to find new composite production methods to develop more qualified and functional composite materials. MMCs (Metal Matrix Composites) have an important role due to their high yield strength, high Young Modulus, high compression strength, high wear resistant, low thermal expansion coefficient and high temperature resistant.

In this study, Aluminum having 99,9 % purity was used as matrix material and alumina (Al_2O_3) powder as reinforcement material to produce Metal Matrix Composites (MMCs). These materials were mixed in powder form with different compositions and the mechanical properties of these products were investigated.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Metal matriksli kompozitler (MMK), metalin bir seramik, karbon veya metalik takviye ile sistematik karışımından elde edilen malzemelerdir. MMK' ler sürekli (fiber) veya süresiz (kısa fiber, whisker, partikül) takviye elemanı içerirler ve monolitik malzemelerde elde edilemeyen mükemmel özellikler gösterirler. Malzemeye bağlı olarak bu özellikler; şunlardır; yüksek elastik modülü, yüksek dayanım ve rijitlik, sönümlenme, işlenebilirlik, yüksek aşınma dayanımı ve düşük ısıl genişleme katsayısıdır ki bunlar otomotiv endüstrisinde oldukça arzu edilen özelliklerdir. Bundan dolayı MMK' ler araç üreticilerine, ağırlıkları ve performansı geliştirmek için iyi bir fırsat sunmaktadırlar.

Geleneksel metaller ve alaşımları düşük mekanik özellikleri, nedeniyle devam eden araştırma ve gelişmelerle oluşacak yeni sistemlerin gereksinimlerini karşılamakta zorlanacaklardır. Enerji, iletişim, ulaşım, havacılık, uzay gibi sivil ve askeri amaçlı sektörlerde halen çalışılan veya planlanan sistemlerdeki yeni teknolojiler, güvenilirlik ve ekonomik zorunluluklar nedeni ile, yeni malzemelere olan gereksinimi arttırmaktadırlar. Kompozit malzemelerin bilim ve teknoloji alanındaki gelişmeler sonucunda önemi gittikçe artmaktadır. Artık tek yönlü malzemeler teknolojinin ihtiyacını karşılamamaktadır. Bu nedenle bir çok araştırmacı kompozitlerin üretim yöntemleri ve özelliklerinin geliştirilmesi konusunda yoğun çabalar sarf etmektedirler. Kompozitler polimer matriks, metal matriks ve seramik matriks olmak üzere üç ana daldan oluşmaktadır. Polimer matriks kompozitler düşük sıcaklık uygulamaları için uygun olurken, seramik matriks kompozitler yüksek sıcaklık uygulamaları için tasarlanmıştır. Ancak seramik matriks kompozitlerle henüz yeterli seviyede kırılma tokluğu değerleri elde edilemediğinden metal matriks kompozitler (MMK), klasik malzemelerin yerini alabilecek en önemli kompozit dalıdır. MMK' ler, yüksek akma mukavemeti, yüksek elastik modülü, yüksek basma

gerilmesi, yüksek aşınma direnci, düşük termal genleşme katsayısı ve yüksek sıcaklık mukavemeti gibi pek çok özelliklere sahip olduklarından oldukça ilgi çekicidirler [1].

Seramik takviyeli metal matriks kompozit (MMK) malzemeler, metallerin yüksek süneklik ve tokluk, seramiklerin ise yüksek elastik modül ve mukavemetlerini birleştirdikleri için ileriki yılların vazgeçilmez malzemeleri olarak görülmektedirler. Metal ve alaşımlarının özellikleri hakkındaki detaylı bilgiler, bilim adamlarını ve malzeme mühendislerini bu malzemeler üzerinde çalışmaya zorlamaktadır.

Hafif, mukavim ve katı (rijit) malzemelere olan gereksinim metal matriksli kompozitlere (MMK) olan ilgiyi arttırmakta ve teknolojik gelişmelerle birlikte büyük ölçekte MMK kullanımı da artmaktadır. MMK'lerde alüminyum, magnezyum, titanyum ve bunların alaşımları ile bazı süper alaşımlar matriks olarak kullanılırken, sürekli fiber, kısa fiber, whisker veya partikül şeklinde üretilen, örneğin; bor, karbon, silisyum karbür ve alümina gibi seramikler veya çelik, tungsten gibi bazı teller katkı (takviye) malzemesi olarak kullanılmaktadır. MMK'lerde tüm kompozit özellikleri, katkı ve matriks alaşımlarının özelliklerine, üretim süreçlerine, katkı/matriks ara yüzeyi ve mikro yapı özellikleri gibi çeşitli etkenlere bağlıdır [2].

Bu çalışmanın amacı, özellikle otomotiv sanayinde aranan özelliklere sahip yüksek elastik modüllü, yüksek çekme dayanımlı, hafif, aşınma direnci yüksek, işlenebilir ve ucuz MMK bir malzeme üretmek ve bu malzemenin özelliklerini belirlemektir. Bu amaçla çalışmanın ilk aşamasında, üretim ve özellik avantajları sunan toz metalürjisi yöntemi kullanılarak matriks olarak seçilen alüminyum metal tozu ve takviye malzemesi olarak alüminyum oksit (Al_2O_3 ve SiC) seramik tozu ball mill yöntemiyle karıştırılarak hidrolik pres ile sıkıştırılıp yatay tüp fırında Ar+H₂ inert gaz atmosferde sinterleme işlemleri gerçekleştirilecektir. Üretilen SiC ve Al_2O_3/Al kompozit malzemeye sertlik ölçümü, basma deneyi uygulanacaktır. Bunun yanında teorik ve deneysel yoğunluk ölçümleri yapılmıştır. Metalografik incelemelerde optik mikroskop kullanılmıştır.

BÖLÜM 2. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI

2.1 Tanım

Alüminyum, metal pazarında demir ve çelikten sonra ikinci sırayı almaktadır[3]. Tablo 2.1’de yer kabuğunun ihtiva ettiği metallerin oranları verilmiştir[4].

Tablo 2.1. Önemli metallerin yer kabuğundaki oranı

Element	Al	Fe	Mg	Ti	Zn	Ni	Cu	Pb
% oran	7,5	4,7	1,9	0,58	0,02	0,018	0,01	0,002

Alüminyum, metal pazarında demir ve çelikten sonra ikinci sırada bulunmasına rağmen Tablo 2.1 ‘den de görüldüğü gibi yer kabuğunda en fazla bulunan elementtir. Buna rağmen alüminyum, demirin ifade ettiği değere ulaşamamıştır. Bunun sebeplerini de şöyle sıralayabiliriz:

- Alüminyum parçalanması mümkün olmayan birçok mineralin bileşiminde vardır.
- Alüminyum sertleştirilemez; bu nedenle takım malzemesi olarak kullanılması imkânsızdır.
- Alüminyum 150 yıl önce element olarak keşfedildi ve ilk olarak yaklaşık 100 sene önce teknik olarak üretilmeye başlanmıştır. Demir ise, ilk çağlardan beri tanınmaktadır[3-5].

Demir olmayan metaller(DO), yer kabuğunda daha düşük oranlarda bulunurlar. DO-Metallerin üretimi, demir ve çelik üretiminin çok çok altındadır. Kısmen yüksek olan fiyatları bu nedene bağlamak gerekir [4]. Alüminyum endüstrisindeki hızlı büyüme bu metalin eşsiz özellik kombinasyonuna atfedilmektedir. Bu özellikler alüminyumu çok yönlü yapı ve mühendislik malzemelerinden biri yapmaktadır. Alüminyum ağırlıkça hafiftir ve alaşımları yapı çeliklerinden daha fazla mukavemete sahiptir. Alüminyum iyi elektriksel ve ısı iletkenliğe ve yüksek bir ısı ve ışık yansıtmasının

her ikisine de sahiptir. Pek çok hizmet şartlarında korozyon direnci oldukça iyi ve zehirsizdir. Alüminyum dökülebilir ve pek çok şekle getirilebilir ve geniş bir aralıkta yüzey kalitesi verir. Alüminyumun bu üstün özellikleriyle mühendislik malzemesi olarak büyük önem kazanması şaşırtıcı değildir[3].

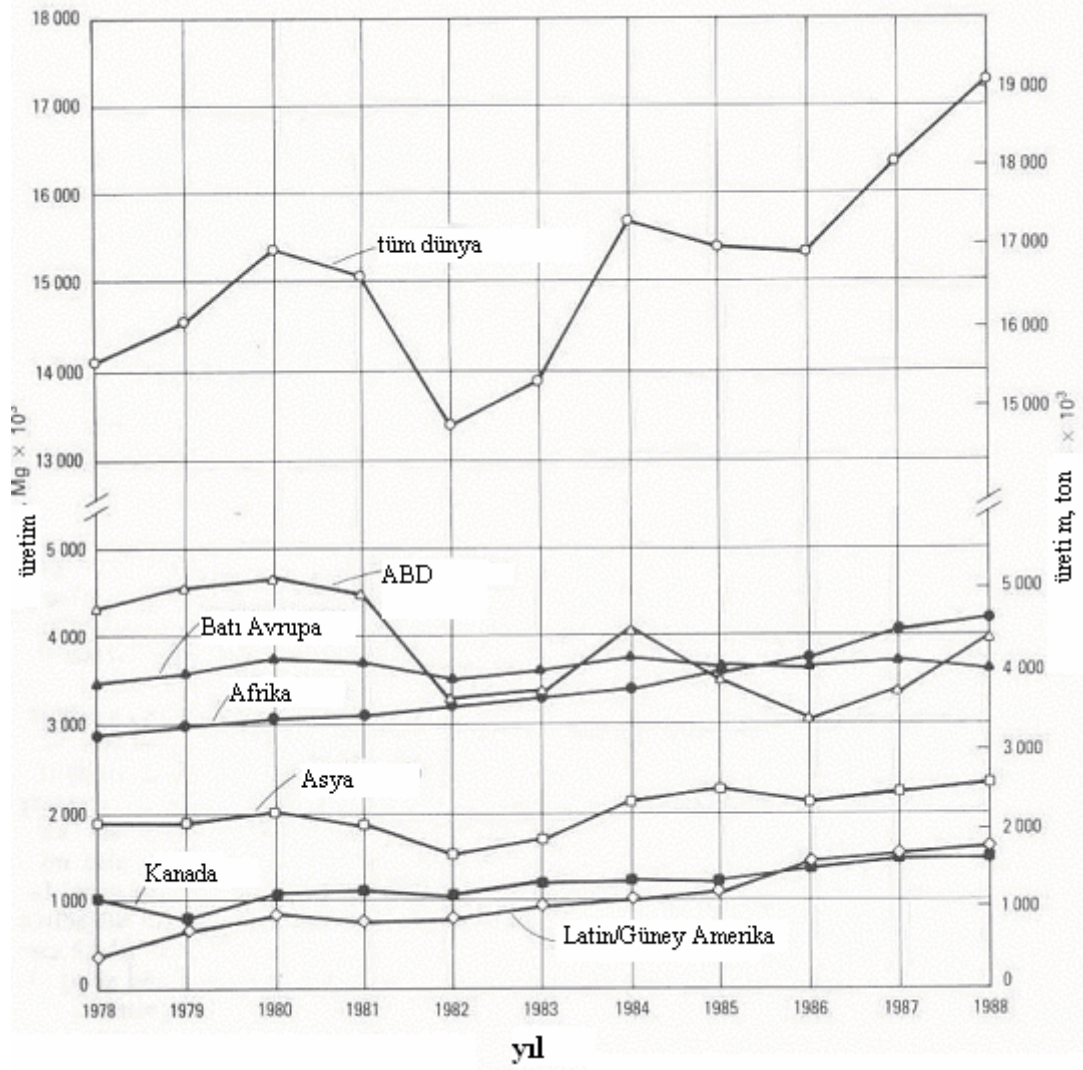
Aşağıdaki Tablo 2.2' de alüminyumun mekanik özellikleri verilmektedir.

Tablo 2.2. Alüminyum metalinin mekanik özellikleri [4-6]

Çekme Mukavmeti(σ_B)	40–80 MPa(*)
Akma Sınırı(σ_S)	10–30 MPa (*)
Sertlik(HB 2,5)	12–20
Elastiklik Modülü(E)	$7,1 \times 10^5$ MPa
Kayma Modülü(G)	$2,7 \times 10^5$ MPa
Çentik Darbe Sünekliği(α_k)	110 MPa
Kopma Uzaması	30–38 %(*)
Ergime Noktası	660°C
Dövülme Sıcaklığı	300–500°C
Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı	250–300°C
Yoğunluk (δ)	$2,7 \text{ g/cm}^3$
Kristal Yapısı	Yüzey merkezli kübik (YMK)

(*) Safiyet Derecesine bağlı olarak.

Alüminyumun oksijene karşı olan yüksek afinitesi nedeni ile, yüzeyde havanın teması sonucu ince fakat yoğun bir oksit tabakası(Al_2O_3) teşekkül eder. Bu tabaka alüminyumu diğer etkilerden korur; ancak bazılar ve bazı asitlerle tuzlar tabakayı çözerler[4].



Şekil 2.1. Yıllık primer alüminyum üretiminin ülkelere göre dağılımı[8].

2.2. Alüminyum Alaşımları

2.2.1. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması

Dövme alüminyum ve dövme alüminyum alaşımlarını belirlemek için dört basamaklı sayısal bir tasarım sistemi kullanılır. Son iki basamak alüminyum alaşımını veya alüminyumun saflığını gösterir. Dövülmüş alüminyum alaşımları Tablo 2.3. de verilmiştir.

Tablo 2.3. Dövme alüminyum alaşım grupları[3].

Dövme alüminyum alaşım grupları	
Alüminyum % minimum ve daha büyük	1 xxxx
Alüminyum alaşımları ana alaşım elementleri ile gruplandırılır.	
Bakır	2 xxxx
Silisyum ilave edilmiş bakır ve/veya magnezyumlu	3 xxxx
Silisyum	4 xxxx
Magnezyum	5 xxxx
Çinko	7 xxxx
Kalay	8 xxxx
Diğer elementler	9 xxxx
Kullanılmamış seriler	6 xxxx

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarını dökülmüş ve dökümhane ingotu şeklinde belirlemede, dört basamaklı sayısal bir tasarım sistemi kullanılır. İlk basamak alaşım grubunu gösterir. Bir kesir işaretiyle diğerlerinden ayrılan son basamak ürünün biçimini örneğin dökümler veya ingotu gösterir. Orijinal alaşım veya empiriye sınırlarının bir modifikasyonu sayısal tasarımdan önce bir seri harfle gösterilir.

Bununla beraber alüminyum döküm alaşımları daha yaygın olarak üç basamakla tanımlanır. Döküm alüminyum alaşımlarının gruplandırılması Tablo 2.4 de gösterilmektedir[3]. 1909 yılında Wilm adında bir araştırmacı %3.5 bakır %0.5 magnezyum içerikli alüminyum alaşımın yaşlandırarak yüksek mukavemetli alüminyum alaşımı üretmiştir. Yapısal malzeme olarak bu alaşımların önemi hemen algılanmıştır[9]. Alaşım elementlerinin ilk görevi yüksek uzama kabiliyeti ve korozyona dayanıklılık gibi faydalı özellikleri kötü yönde etkilemeden saf alüminyumun düşük akma sınırını yükseltmektir. Bu özelliği kazandıran elementler : Manganez, magnezyum, silisyum, bakır ve çinko olup, düşük miktarlarda bile istenilen amaca ulaştırırlar. Kübik yüzey merkezli alüminyum kristal kafesi yapısı, ancak çok küçük oranlarda bu elementlerden alabilir. Yabancı atomlar kristal kafesi içerisinde kaymaya karşı direnci arttırırlar; yani akma sınırını yükseltirler; şekil değiştirme kabiliyeti ise etkilenmez.

Bu elementlerin oranlarının daha yüksek olması halinde alüminyum atomlarından ve alaşım elementlerinin çözünmeyen kısımlarından sert, kırılğan intermetalik bileşikler oluşur. Böylelikle mukavemet daha da yükselir ancak şekil değiştirme kabiliyeti kaybolur. Bu nedenlerle dövme alaşımları, az alaşım ihtiva ederler. Alüminyum-Silisyum alaşımı istisnai bir durum teşkil eder. %12.6 silisyumda bir ötektik noktaya sahip olan bu alaşım en çok tanınan alüminyum döküm alaşımıdır.

Saf alüminyumun korozyona karşı olan yüksek dayanımı daha soy olan bakır elementi tarafından azaltılır. Bu etkiyi sağlamak için 0.1% Cu bile yeterlidir. Hurdaların tekrardan metal halinde ergitilmesi sırasında bakır uzaklaştırılmaz. Şayet bu sıvı metalden dökme alaşımları üretiliyorsa, %1 oranında bakır yapıda kalır. Bu dökme alaşımları korozyona dayanıklı değildir.

Tablo 2.4. Döküm alüminyum alaşım grupları[6].

%99+Al	1xxx
Bakır	2xxx
Mangan	3xxx
Silisyum	4xxx
Magnezyum	5xxx
Magnezyum+Silisyum	6xxx
Çinko	7xxx
Lityum	8xxx

Ticari saflıkta alüminyum yaklaşık %99,3 Al'dan minimum %99,7'ye değişir. Yüksek saflıkta alüminyum elektriksel iletken alaşımlar ve reflektör levhalar gibi uygulamalar için seçilir. Ticari saf alüminyum alaşımı olan 1100 alaşımını üretmek için demir ve bakır ilaveli düşük saflıkta metal kullanılır. Bu alaşım şekillendirebilirlik ve kaynaklanabilirlikle beraber nispeten yumuşak ve sünektir. Ticari saf alüminyum mükemmel korozyon direnci gösterir. Alaşımsız alüminyumun yapısı(1xxx serileri) nispeten saf bir alüminyum matriksle karakterize edilir. Tavlanmış %99,99 Al'un çekme dayanımı yaklaşık 45 MPa, akma dayanımı 10MPa ve uzaması % 50'dir[3-7].

2.2.2. Alüminyum-mangan alaşımları

Ticari saf alüminyuma yaklaşık %1.2 Mn ilavesi orta düzeyde dayanımlı ısıl işlem uygulanamayan bir alüminyum alaşımı üretir. Mangan ilavesi alüminyumu katı eriyik mukavemetleşmesi ve ince bir dağılım çökmesi ile mukavemet kazandırılır. Bu alaşımlar genel amaçlar için kullanılır. Burada orta düzeyde dayanım ve iyi şekillendirilebilirlik gereklidir. Alüminyum-mangan alaşımlarının kimyasal kompozisyonu ve uygulama alanları Tablo 2.5. da verilmiştir.

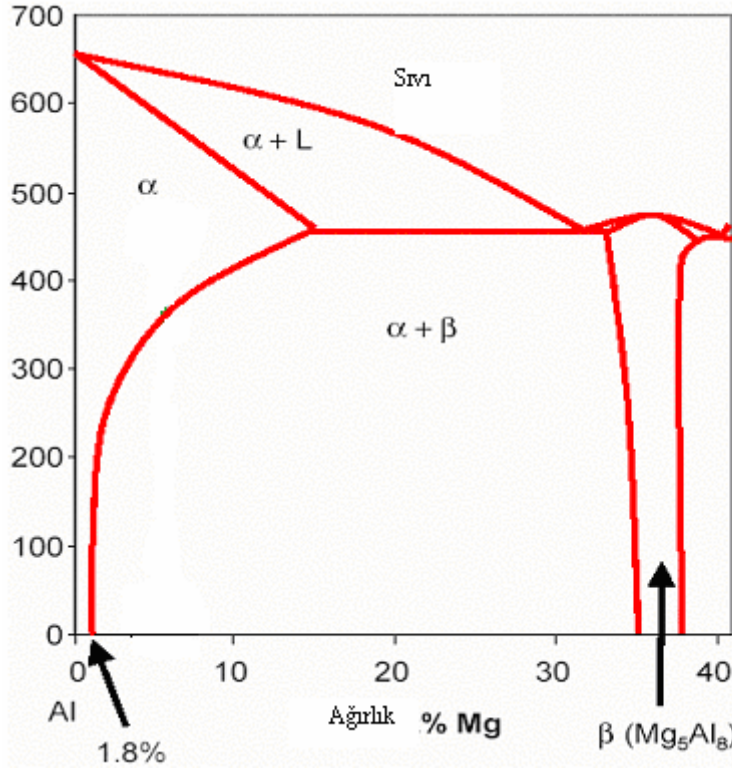
Tablo 2.5. Alüminyum-Mangan alaşımlarının kimyasal kompozisyonu ve uygulamaları[3].

Alaşım	%Mn	%Mg	%Cu	Uygulamalar
3003	1.2		0.12	Pişirme kapları, kimyasal ekipmanlar, basınç kapları
3004	1.2	1.0		Levha metal, depo tankları, basınç kaplar
3005	1.2	0.40		İnşaat ürünleri-bölmeler, oluklar
3006	0.5	0.50		İnşaat ürünleri-bölmeler, oluklar

Alüminyum-mangan alaşımlarının dayanımı 1100 alaşımından 20-25MPa daha yüksektir. Bu alaşımlar inşaat ve özel ürün alanlarında uygulamalar için arzu edilen dayanım, şekillendirilebilirlik ve korozyon direnci özelliklerine sahiptir[3].

2.2.3. Alüminyum-magnezyum alaşımları

İkili alüminyum-magnezyum alaşımları ısıl işlem uygulanamayan 5 xxx serileri için esas oluşturmaktadır. Magnezyum, alüminyumda önemli bir eriyebilirliğe sahip olmakla beraber katı eriyebilirlik sıcaklık düştükçe düşer(şekil 2.2.), alüminyum magnezyum alaşımları % 7 Mg 'dan daha az konsantrasyonlarda kayda değer çökme sertleşmesi göstermezler. Buna karşın magnezyum katı eriyik mukavemetleşmesi ile birlikte ve yüksek sertleştirme özelliği sağlar.



Şekil 2.2. Alüminyum-Magnezyum faz diyagramının alüminyumca zengin ucu[6].

Alüminyum-magnezyum alaşımlarının kimyasal kompozisyon ve uygulamaları Tablo 2.6. de verilmiştir. Pek çok alüminyum-magnezyum alaşımı yüzey kalitesi ve dekoratif amaçlı olarak geliştirilmiştir. Örnek olarak 5053, 5252 gibi.

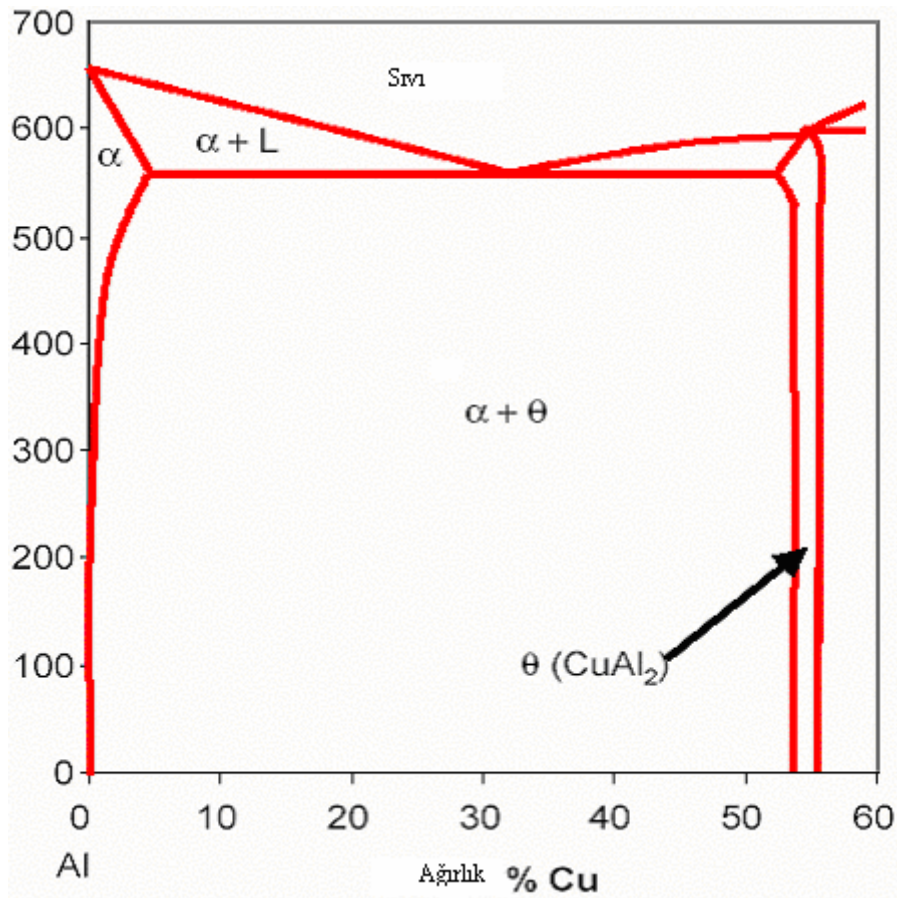
Tablo 2.6. Al-Mg alaşımlarının kimyasal kompozisyon ve uygulamaları[3].

Alaşım	% kompozisyon	Uygulamalar
5005	0.8 Mg	Mimari süsler, elektriksel iletkenler
5050	1.4 Mg	Dayanıklı tüketim yapı malzemeleri
5056	0.12Mo, 5.1Mg, 0.12Cr	Kablo kılıfı, magnezyum için perçin
5652	2.5Mg, 0.25Cr	Hidrojen peroksit ve kimyasal depo tankları.

Magnezyum, çoğu Al-Mg alaşımlarında katı eriyik haldedir. Buna karşın magnezyum içeriği yaklaşık %3.5 'i aştığında Mg_2Al_3 düşük sıcaklık ısıtma işlemi veya yüksek sıcaklıklardan yavaş soğuma ile çöktürülebilir. Dövülmüş ısıtma işlemi uygulanamayan Al-Mg alaşımlarının mekanik özellikleri Tablo 2.6. da verilmiştir.

2.2.4. Alüminyum-bakır alaşımları

İlk dövülmüş alüminyum bakır alaşımı ABD’de geliştirilen yaklaşık %5,5 Cu içeren 2025 alaşımı yaklaşık 1926 ‘da ortaya konmakla beraber halen sınırlı olarak kullanılmaktadır. Bakır alüminyum için önemli bir alaşımdır, çünkü bakır iyi katı eriyik oluşturur ve uygun ısıl işleme oldukça yüksek dayanım sağlayabilir. Alüminyumda bakırın eriyebilirliği, sıcaklığı düşürmekle hızlı bir şekilde %5.65’ den oda sıcaklığında yaklaşık %0.1’ e düşer(şekil 2.3)[3-6].



Şekil 2.3. Al-Cu faz diyagramının alüminyumca zengin ucu[6].

Alüminyum bakır alaşımlarının maksimum çökeltme mukavemet artırması etkisini başarmak amacıyla alüminyum bakır alaşımları için aşağıdakiler yerine getirilmelidir.

- α katı eriyik faz alanında çözündürme ısıl işlemi yapılmalıdır.
- Oda sıcaklığına veya daha aşağı hızlı su verilmelidir.
- 130–190°C aralığında yapay yaşlandırılmalıdır.

2.2.5. Alüminyum bakır magnezyum alaşımları

Alüminyum-bakır-magnezyum alaşımları keşfedilen ilk çökeltme ile sertleştirilebilen alaşımlardır. Çökelti sertleştirilmiş ilk alaşım 2017 alaşımıdır. Bu alaşım %4 Cu, %0.6 Mg ve %0.7 Mn Nominal kompozisyonuna sahiptir. En yaygın dövme alüminyum-bakır-magnezyum alaşımlarının mekanik özellikleri Tablo 2.7.'de verilmiştir. 2014 alaşımının çekme dayanımı tavllanmış şartlarda 186MPa' dan T6 ısıtıl işlemi ile 483MPa'a değişir [7]. Çözündürme ısıtıl işlem sıcaklığı çok düşükse sertleşen fazlar su verme öncesi tamamen çözünmez ve bu nedenle düşük çekme dayanımları elde edilecektir. Çünkü çökelti yoğunluğu az olacaktır. Çözündürme ısıtıl işlem sıcaklığı çok yüksekse düşük ergime sıcaklıklı bazı fazlar eriyecektir. Bu da dayanım ve süneklikte azalma sonucunu doğuracaktır.

Tablo 2.7. Alüminyum-bakır-magnezyum alaşımlarının mekanik özellikleri[3].

Alaşım	% Cu	%Mg	%Mn	% Si	%Ni	% Diğerleri	Uygulamalar
2014	4.4	0.5	0.8	0.8			Kamyon iskeleti, uçak yapıları
2017	4.0	0.6	0.7	0.5			Vida makinesi ürünleri
2018	4.0	0.7			0.2		Uçak motor silindir başlıkları ve pistonlar
2024	4.0	1.5	0.6				Kamyon direksiyonları, vida makinesi ürünleri uçak parçacıkları
2218	4.0	1.5			2.0	0.18Si, 1.0 Ni	Jet motoru pervaneleri ve kompresör yüzükleri, uçak motor silindir kafaları
2618	2.3	1.6				1.1 Fe, 0.07Ti	Uçak motorları, 238°C ye kadar.

2.2.6. Alüminyum magnezyum silisyum alaşımları

Alüminyumda magnezyum ve silisyumun kombinasyonu dövülmüş çökelti sertleştirilebilen alüminyum-magnezyum-silisyum alaşımları 6 xxx serileri için temel oluşturur. Çoğu durumlarda, magnezyum ve silisyum birleşerek metaller arası Mg₂Si bileşiğinin kararsız fazlarını oluşturmak için alaşımlarda nominal miktarlarda bulunur ancak silisyum Mg₂Si için gerekli olandan fazla silisyum kullanılabilir.

Magnezyum ve krom çoğu 6xxx serisi alaşımlarına yükseltilmiş dayanım ve tane boyutu kontrolü için ilave edilir. Al-Mg-Si sisteminde çökelti sertleşmesi, sıcaklık düştüğünde metaller arası bileşik Mg_2Si 'un katı eriyebilirliğinde azalma ile mümkün hale gelir [3].

2.2.7. Alüminyum döküm alaşımları

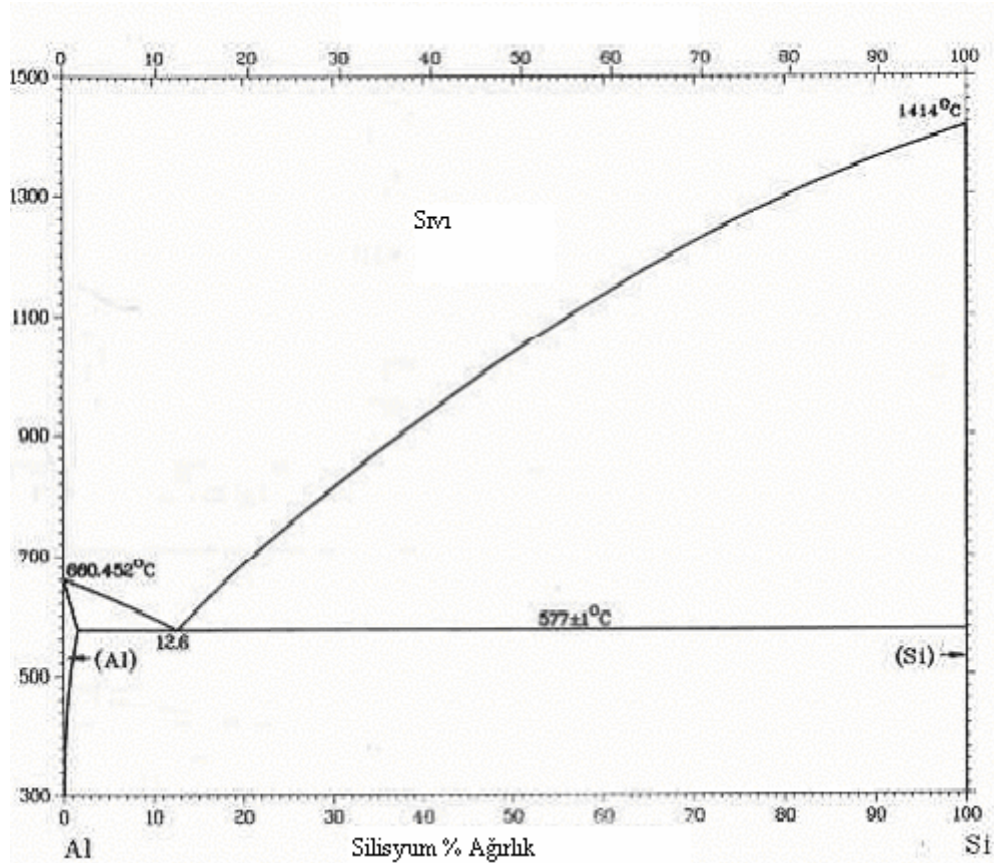
Alüminyum döküm alaşımları akıcılık ve besleme yeteneği; dayanım, süneklik ve korozyon direnci gibi döküm sınıfları için geliştirilmişlerdir. Bu nedenle bunların kimyasal kompozisyonları dövme alüminyum alaşımlarından oldukça farklıdır. Kum- kalıcı kalıp ve pres döküm alüminyum ve alaşımlarının tipik uygulamaları ve kimyasal kompozisyonları Tablo 2.8. de verilmiştir. Bunlar alüminyum birliği numara sistemine göre sınıflandırılmıştır.

Tablo 2.8. Alüminyum döküm alaşımları için kimyasal kompozisyon ve tipik uygulamaları[3].

Kum ve kalıcı kalıp döküm alaşımları					
Alüminyum bakır döküm alaşımları					Tipik uygulamalar
Alaşım tasarımı	% Cu	% Si	% Mg	% Diğer	
208	4	3			Genel amaçlı kum dökümler manifold ve valf gövdeleri.
213	7	2			Çamaşır makinesi çalkalayıcısı, otomotiv silindir kafaları.
232	10	-	0.25		Öncelikle bir piston alaşımıdır ve de hava silindir kafaları için kullanılır.
242	4	-		2 Ni	Hava soğutma silindir kafaları, yüksek performanslı dizel motorların pistonları
295	4.5	1.1			Yüksek dayanım ve darbe direnci gerektiren genel yapısal dökümler
B 295	4.5	2.5			295'in kalıcı kalıp versiyonu, uçak donanımı
Alüminyum-silisyum-bakır alaşımları					Tipik uygulamalar
	% Si	% Cu	% Mg	% Diğer	
308	5.5	4.5			Genel amaçlı kalıcı kalıp dökümler ve süslü parmaklıklar
319	6.3	3.5			Genel amaçlı alaşımlar, motor parçaları, otomobil silindir kafaları
333	9	3.5	0.25		Motor parçaları için kullanıcıdan genel amaçlı alaşımlar.
354	9	1.8	0.5		Yüksek dayanım döküm gerektiren uçak füze ve diğer uygulamalar.
Alüminyum-silisyum-magnezyum alaşımları					Tipik uygulamalar
	% Si	% Cu	% Mg	% Diğer	
F 332	9.5	3	1		Otomotiv pistonları, yüksek sıcaklık dayanımı gerektiren parçalar
355	5	1.2	0.5		Pompa gövdeleri, sıvı soğutma silindir kafaları, motor karteri, aksesuarlar ve uçak donanımları.
C 355	5	1.2	0.5	0.2 max. Fe	355 benzer ancak daha güçlü ve sünek uçak, füze ve yüksek dayanım gerektiren diğer uygulamalar.
356	7		0.3		İyi dayanım ve süneklik gerektiren karmaşık dökümler, transmisyon kutuları, kamyon aks muhafazaları, silindir bloklar, tren tankları.
A 356	7		0.3	0.2 max. Fe	356' ya benzer ancak daha güçlü ve sünek; dayanım, süneklik ve korozyon dayanımı gerektiren uçak ve füze parçaları.
357	7		0.5		Mükemmel korozyon direnci gerektiren yüksek gerilimli dökümler, uçak ve füze parçaları, yüksek hızlı fon bıçakları.
A 357	7		0.5	0.05 Be	Uçak ve füze parçaları
359	9		0.6		Yüksek dayanım, uçak füze ve diğer uygulamaları.
Alüminyum-bakır-magnezyum-nikel alaşımları					Tipik uygulamalar
	% Si	% Cu	% Mg	% Ni	
A 332	12	1.0	1.0	2.5	Otomotiv pistonları, dizel motor pistonları yüksek sıcaklıklarda kullanılan makaralar ve motor parçaları.

Alüminyum-silisyum döküm alaşımları, üstün döküm özelliklerinden dolayı en önemli döküm alaşımlarıdır. Alüminyum-silisyum alaşımları sıvı durumda nispeten yüksek akıcılık, katılma sırasında mükemmel akışkanlık ve nispeten sıcak yırtılmadan bağımsızdır. Silisyum saf alüminyumun korozyon direncini azaltmaz ve bazı durumlarda orta asidik ortamlarda korozyon direncini artırır[3].

İkili Al-Si alaşımları ısı işlem uygulanabilir olarak düşünülmez çünkü sadece küçük bir miktar silisyum (%1.65 silisyum maksimum) alüminyumda çözünebilir ve silisyum katı eriyikten çökelmez, çok az sertleşmeye neden olur. Al-Si sistemi, % 12,6 Si 'da ötektik kompozisyonlu basit bir ötektik tiptir(Şekil2.4)[10]. En önemli ticari ikili alüminyum silisyum alaşımları %5,3 Si (nominal) içeren A443 ve %12 Si (nominal) içeren A413'dür. Alaşım A443 esas olarak kum ve kalıcı kalıp döküm için kullanılırken alaşım A413 esas olarak kum ve kalıcı kalıp döküm için kullanılır. A443 'ün (Al-%5 Si) katılma sırasında hemen hemen saf alüminyumun dendritleri ilk olarak katılır. Bu dendritler arasındaki yerler sonra alüminyum-silisyum ötektiği ile doldurulur. Ötektik katılaşmasında hemen saf alüminyum ve silisyuma ayrılır. Katılma hızı arttırıldığında, dendrit hücreleri küçülür. Kuma döküm Al-Si alaşımının ötektik yapısı, dökümden hemen önce küçük miktarda sodyumun (%0.025) metalik veya tuz olarak ilavesi ile oldukça inceltilir.



Şekil 2.4. Alüminyum silisyum faz diyagramı[10].

Döküm alüminyum-silisyum ikili alaşımlarının dayanım özellikleri, küçük miktarda (yaklaşık %0.35) magnezyum ilavesi ile iyileştirilebilir. Bu tipin en önemli alüminyum döküm alaşımı A356'dır. Tablo 2.9 'da bazı alüminyum-silisyum alaşımlarının kimyasal kompozisyonu verilmiştir. Alüminyum-silisyum döküm alaşımlarında iyi bir üretim için çok fazla parametre vardır, özellikle mikro yapı ve alaşım bileşenleri optimum mekanik özellikleri elde etmek için gerekli, kritik mikro yapı özelliklerinden bazıları tane boyutu, dentrit kol aralıkları, ötektik fazdaki silisyum morfolojisidir [11]. Titanyum, boron ve fosfor tane inceltici ve modifikasyon için katılma öncesi kullanılır.

Tablo 2.9. Yaygın olarak kullanılan Alüminyum-Silisyum alaşımlarının kimyasal kompozisyonu[11].

Alaşım	Üretim metodu	Element(W%)					
		Si	Cu	Mg	Fe	Zn	Diğer
350 Serisi	S/PM	5-7	<0.2-1.25	0.35-0.55	<0.06-<0.2	<0.1-<0.35	—
380 Serisi	D	8.5-11.0	2.0-3.5	<0.1-<0.3	<1.3	<3.0	<0.3 Sn
390 Serisi	D	<7.5	4.5	0.55	<1.3	<0.1	<0.1 Mg
400 Serisi	S/PM/D	5.25-12.0	<0.1-<0.3	<0.05-<0.1	<0.8-<2.0	<0.5	—

S=kuma döküm ; PM=sürekli döküm; D=basıçlı döküm

Al-Si denge diyagramında, ötektik veya ötektik altı alaşımlar korozyon direnci ve iyi dökülebilirlik olarak karakterize edilir. Ötektik üstü alaşımlar ise, örneğin; 390 ve 393 %15–25 silisyum ihtiva ederler ve mükemmel aşınma direnci ve düşük termal genişleme katsayısı, işlenebilirlik sağlamaktadır. Mukavemet kazandırıcı elementler olarak magnezyum, bakır ve nikel düşük oranlarda ilave edilebilir. Diğer özellikleri de iyileştirebilir. Örneğin, ötektik altı alaşımlarda silisyum iyi dökülebilirliği sağlarken, bakır ise çekme mukavemetini, işlenebilirliği ve termal iletkenlik sağlar fakat korozyon direncini düşürür [11].

2.2.8. Alüminyum-lityum alaşımları

Alüminyum-Lityum alaşımları 1980’li yıllarda öncelikle uzay ve uçak yapılarının ağırlığını azaltmak için üretilmiştir. Bunlar aynı zamanda soğuk uygulamalar için örneğin sıvı oksijen ve uzay araçları için hidrojen yakıt tankları için araştırılmıştır. Bununla beraber Al-Li alaşımlarının bedeli, lityumun yüksek bedeli ve işlem için özel ekipmanlar gerektirmesinden dolayı geleneksel alüminyum alaşımlarından üç beş kat fazladır. Bu nedenle bu alaşımların uygulanması ağırlığın öncelikli olduğu yerlerle sınırlanmıştır.

İkili Al-Li alaşımları düşük süneklik ve kırılma tokluğuna sahip olma eğiliminde oldukları için alüminyum lityum alaşımları, mukavemet kazandırma için daha ince ve daha homojen çökelti sağlama amacıyla bakır veya bakır ve magnezyum içerirler [3].

BÖLÜM 3. TOZ METALURJİSİ

3.1. Giriş

Toz metalürjisi, çok küçük partikülleri birbirine bağlayarak parça haline getirme işlemidir. Daha geniş bir ifadeyle toz metalürjisi, toz şeklindeki malzemelerin preslenmesi ve takiben yüksek sıcaklıkta sinterlenmesi ile parça imalatını kapsamaktadır. İnce partikül şeklindeki saf metaller, alaşımlar, karbon, seramik ve polimer malzemeler birbirleriyle karıştırılarak basınç altında şekillendirilebilirler. Daha sonra bu parçalar ana bileşenin (matriks malzemesi) ergime sıcaklığının altında bir sıcaklıkta sinterlenerek partiküllerin temas yüzeyleri arasında kuvvetli bir bağ oluşturulur ve böylece istenilen özellikler elde edilir. Toz metalürjisi küçük, karmaşık ve boyutsal hassasiyeti yüksek parçaların seri imalatına son derece uygundur. Malzeme kaybı çok az olmakla birlikte belirli derecede gözenek (porozite) ve geçirgenlik elde edilir [12].

Toz Metalürjisi (T/M) işlemi ilk olarak geleneksel döküm, sıcak ve soğuk presleme ve Talaş kaldırma üretim yöntemlerine alternatif olarak geliştirilmiştir. Toz metalürjisi, imali zor parçaların (küçük, fonksiyonel, birbiri ile uyumsuz, kompozit yapılar v.b.) ekonomik, yüksek mukavemet ve minimum toleransla (düşük fireli olarak) ve diğer üretim yöntemlerine kıyasla daha avantajlı bir şekilde üretilmesi yöntem ve tekniğidir. İstenilen şey işlemin ucuz olması ve tozların istenilen fiziksel ve kimyasal özellikleri sağlamasıdır. Son yıllarda özellikle otomotiv endüstrisinde kullanılan parçaların bir bölümünün üretim tekniği tamamen T/M'ne dayanmaktadır. Kalite dağılımının homojen olması, içeriğinin kontrol edilebilir olması ve birim maliyetin düşük kalması gibi faktörler nedeni ile T/M üretim yöntemi son yıllarda imalat sektöründe müstakil üretim seçeneği olarak kullanılmaktadır [13].

Toz metalurjisi (T/M), metal işleme teknolojileri arasında çok büyük farklılık gösteren bir üretim tekniğidir. Çok eskilerden beri bilinen, uygulanan bir yöntem olmasına rağmen uygulama açısından yeni sayılabilecek bir üretim tekniğidir. Tarihe baktığımızda ilk toz metalurjisi uygulamaları kimyasal olarak elde edilmiş platin ve iridyum gibi yüksek sıcaklıkta ergiyen malzemeler üzerinde çalışılmıştır. 1826 da Rusya'da tedavüle çıkarılan platin para toz metalurjisinin ilk endüstriyel uygulaması olmuştur. Toz metalurjisini cazip kılan, ekonomik açıdan, çok yüksek hassasiyette karmaşık şekilli, yüksek kalitede parça üretiminin mümkün olmasıdır. Toz metalurjisi ile parça üretiminin ilk işlem adımları; presleme ve sinterlemedir. Bu aşamada toz metal sıcak izostatik presleme ve dövme ile önceden şekil verilmiş parçanın istenen oranda yoğunlaştırılması işlemleri yapılır. Bu uygulama adımları daha sonra tek tek ele alınacaktır. Uygulanan işlem adımları esnek, etkin, düşük maliyetli ve çevreye zararsız yöntemlerdir. T/M parçaların avantajlı taraflarından biri de diğer üretim tekniklerinden daha kısa imalat çevrim süresi vardır, çünkü bazı işlem kademeleri uygulanmaksızın nihai ölçülerde, doğrudan yerine takılarak kullanmaya müsait parça üretimi mümkündür. Ergime sıcaklığı yüksek olan metaller, T/M ile kolaylıkla şekillendirilebilirler [14].

3.2. Toz Metalürjisinin Avantaj ve Dezavantajları

Döküm gibi alışlagelmiş üretim tekniklerinde yaşanan oksidasyon, segregasyon, gaz absorpsiyonu ve yüksek yoğunluk farkından dolayı alaşım oluşturamama gibi birçok problem T/M yöntemi ile kolaylıkla ortadan kaldırılabilir. Bir üretim yöntemi olmasının yanı sıra T/M aynı zamanda önemli bir malzeme ve yarı mamul üretim yöntemidir. Periyodik cetvelde metal olarak kabul edilebilen 86 kadar elementten yaklaşık 8000 kadar alaşım üretilebilmiştir. Halbuki bu 86 elementten ikili, üçlü, dörtlü gibi farklı kombinasyonlarla 1025 mertebelerinde alaşım üretebilmek mümkün olabilir. Bunu mümkün kılabilen yegâne yöntem olarak T/M ortaya çıkmaktadır. T/M, kompozit malzeme üretiminde de kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yolla alışlagelmiş malzemelerden daha farklı ve üstün özelliklerde malzeme üretmek mümkündür. [14] Bu avantajlarının yanında, T/M ile üretilmiş parçaların boyut ve ağırlığının sınırlı olması nedeni ile nispeten yüksek maliyetleri bu yöntemin olumsuz tarafını oluşturmaktadır. T/M yönteminin avantajlarını aşağıdaki gibi özetleyebiliriz;

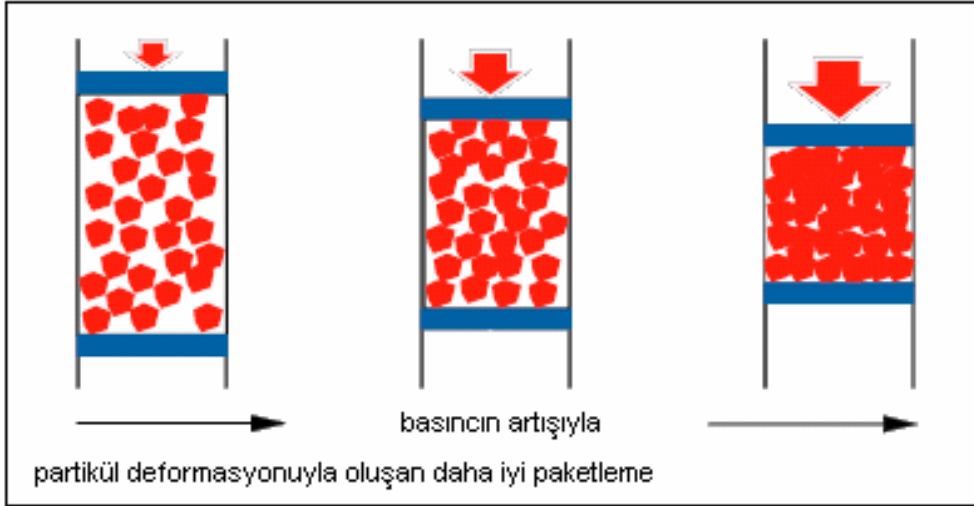
- Eşsiz özelliklerde, neredeyse sınırsız sayıda alaşım ve kompozit malzeme üretmek mümkündür,
- Boyut, şekil ve parça içindeki porozitenin kontrolü kolaydır,
- İstenen mikro yapıda, fiziksel ve mekanik özelliklerde malzeme üretimine imkan verir,
- Üretim adetleri orta miktardan yüksek miktarlara kadar çıkabilir,
- Neredeyse sınırsız şekilde parça üretimi yapılabilir,
- Başlangıçtan, yani malzeme seçiminden, nihai ürüne kadar aradaki kademelerde üretim optimizasyona elverişlidir,
- Son ölçülerde parça üretimi mümkün olduğu için talaş, çapak vs. gibi artıklar yoktur,
- Döküm, dövme ve talaşlı imalat gibi yöntemlere nazaran metal işleme/şekillendirme maliyet oranı açısından daha avantajlı yöntemdir [14].

3.3. Toz Metalurjisi Yöntemiyle Parça Üretimi

Toz metalürjisi parça üretimi nihai ölçülerde ve hassas boyutlarda parça üretimine imkân verdiği için çok önemli ve üretim miktarı ve karmaşıklığı göz önüne alındığında oldukça ekonomik sayılabilecek bir üretim tekniğidir. T/M parça üretimi de çeşitli aşamalardan oluşmaktadır. Bunlar, karıştırma, presleme, sinterleme ve sinterleme sonrası işlemler. Metal tozu, varsa istenen alaşım elementleri ilave edilir. Tozlarla birlikte uygun bir yağlayıcı da belirli oranlarda (max % 0.5-1.5) olmak üzere ilave edilir, yağlayıcı olarak metal stearatlar ve mum kullanılır. Yağlayıcı kullanılmasının temel nedeni, sıkıştırma esnasında tozun kalıp cidarlarına yapışmasını engellemek ve tozların birbiri üzerinde daha rahat kaymasını ve şekil almasını ve preslenmiş parçanın kalıptan çıkışını kolaylaştırmaktır. Bunun faydası yoğunluğun her tarafta mümkün olduğunca aynı olmasını sağlamaktır. Karıştırma yönteminde önceden alaşımı yapılmış tozlar kullanmaksızın karıştırma sırasında alaşım yapma imkânı vardır. Demir tozlarının bu şekilde çok sıkışmaları ve alaşım elementlerinden dolayı sertleşmeleri önlenmiş olur. Ana alaşım elementi olan karbon toz grafit halinde karıştırılır [14].

Toz metalürjisi (T/M) imalat sürecinde parça imal süresi ve oranı önemli bir faktördür. Bu nedenle tek eksenli kalıpta presleme (sıkıştırma) önemli bir parça şekil verme aşamasıdır. Tozların preslenmesindeki ana amaç ham yoğunluk ve dayanımın elde edilmesidir. Sıkıştırma bir yük altında serbest yapıdaki toz partiküllerinin istenilen şekle ve forma dönüştürülmesi için yoğunluk kazandırma işlemi olarak tanımlanabilir. Değişik sıkıştırma teknikleri olmakla beraber en yaygın kullanılanı tek eksenli bir kalıp ile presleme işlemidir. Tek eksenli kalıp ile presleme tekniği kesintisiz üretim, otomasyon sistemleri, yüksek miktarlarda metal ve seramik parçalar ile ilaç ve patlayıcı endüstrisinde yaygın kullanım alanına sahiptir. Bu nedenlerden dolayı çoğu T/M parçaları bu teknik kullanılarak üretilirler. T/M üretim yöntemi ile elde edilen malzemenin dayanımı presleme ve sinterleme sonrası yoğunluğu ile doğrudan ilgilidir. Sinterleme de esas olan istenilen yoğunluğun (çoğu zaman tam yoğunluk) ve dolayısıyla fiziksel dayanımın elde edilmesidir. İdeal yoğunluk %100 teorik yoğunluğa erişmektir. Sıkıştırma üç aşamada ele alınabilir (Şekil 3.1). Sıkıştırma basıncının ilk uygulanmasına müteakip partiküllerin yer değiştirmesi ve yeniden pozisyon belirlemesi gerçekleşir. Plastik şekil değiştirme yoktur. Kısmi olarak bazı partiküllerde mekaniksel kırılmalar olabilir. Bu aşamada partikül boyutu, toz boyut dağılımı, partikül şekli ve yüzey özellikleri ile partiküller arası sürtünme önemli rol oynar. 2. Toz sıkıştırmanın ikinci aşamasında elastik ve plastik deformasyon faktörleri baskındır. Bu aşamada partiküller arası soğuk şekillendirmeye bağlı bağlar oluşabilir. Ayrıca partiküllerin mekaniksel kilitlemeleri ile partikül-partikül etkileşimleri bu aşamada önem kazanan durumlardır. 3. Presleme basıncının arttığı sıkıştırmanın son aşamasında toz partiküllerinin kırılması ve plastik deformasyon ile boşlukların doldurulması sağlanmış olur. Bu aşamada toz partikülleri arasında soğuk kaynak olabilir [15].

Kalıp içerisindeki tozun başlangıç yüksekliği (ki bu tozun ham yoğunluğu ile ilgilidir) sıkıştırılabilirliğinde belirleyici rol oynar. Tozun kalıp içerisine sorunsuz ve hızlı akması da önemlidir. Toz boyutu ve şekli tozun kalıba akış hızına etki eder. Örneğin: Toz tanelerinin çok ince oluşu toz akış hızının ve presleme yoğunluğun düşük olmasına neden olur. Toz dağılımı ise kalıpta preslenen tozun yoğunluk dağılımının homojen olup olmamasına etki eder. Bununla birlikte ortalama tane boyutu küçük olan toz malzemelerin sıkıştırılabilirliği yüksek olmaktadır [15].



Şekil 3.1. Presleme aşamaları

Presleme öncesi kalıba serbest düşen tozların yoğunluğu (ham yoğunluk) kalıbın titreştirilmesiyle büyük oranda arttırılmış olur. Titreşimle kazanılan yoğunluk artışı tozun şekli ve toz dağılımı ile ilişkilidir. Örneğin; düzensiz şekilli tozlarda küresel ve düzgün yüzeyli tozlara göre bu artış çok daha fazladır. Bunun nedeni küresel şekilli tozların bağıl yoğunluklarının yüksek, düzensiz şekilli ve dar toz boyut dağılımına sahip tozların ise bağıl yoğunluklarının düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Bağıl yoğunluk, ham yoğunluk değerinin teorik yoğunluk değerine oranı olarak tanımlanabilir [15].

Tozların yüzey şekli akıcılık davranışlarını etkilemektedir. Genel olarak tozların yüzey şekli düzensizdir. Ayrıca küresel veya küresele yakın yüzey yapısındaki toz malzemelerin kalıp içerisine akış davranışları ile kalıp içerisinde paketlenme özellikleri daha iyi olmaktadır. Ayrıca aynı malzeme türü için küresel şekilli tozlar yaprak levha şekli tozlara oranla preslemede basıncı daha etkili ilettikleri söylenebilir. Burada belirtilenlerin dışında tozların fiziksel ve mekaniksel özelliklerinin de presleme yolu ile sıkıştırılabilirliğine (yoğunlaştırılması) etkileri

vardır. Tablo 3.1`de tozların önemli özellikleri ve bunların etki ettiği faktörler özetlenmiştir.

Tablo 3.1. Metal tozun etki ettiği faktörler

Önemli Özellikler	Etkisi
Tozun boyutu (partikül boyutu)	Görünen (ham) yoğunluk
Boyut dağılımı	Akış davranışı
Toz şekli (partikül şekli)	Ham dayanım
Kimyasal kompozisyon	Sıkıştırılabilirlik
Yüzey özellikleri	Sinterleme
Mikro yapı	Şekillendirilebilirlik (Forging), tokluk

Dendirit şeklindeki toz partikülleri yüksek sıkıştırılabilirlik özelliği göstermektedir. Bu nedenle özellikle bronz burç yataklar, bakır içeren karbon motor fırçaları ve sürtünen malzemeler ile kesme takımlarının - elmas kesici uçların imalinde bu tip tozlar tercih edilmektedir. Elektrolitik bakır tozları yüksek saflıkları ve iyi preslenebilirlikleri nedeniyle 1970`li, yıllardan bu tarafa tercih edilmişlerdir [15].

Sıkıştırma çelik veya karbür kalıplar içinde 300-800 MPa gibi basınçlarla yapılır. Karmaşık şekilli parçalar tek operasyonla dakikada 25 parça hızla üretilebilir. Parçalar sinterleme öncesi sıkıştırma sonucu yeterli mukavemeti aldıklarında kalıptan çıkarılır. İyi bir sıkıştırma ile neredeyse teorik özgül ağırlığa yakın yoğunlukta parça üretimi mümkün olabilir. Örneğin; 800 MPa basınçta, demir tozları 7.3 g/cm^3 gibi teorik özgül ağırlığın yaklaşık % 93`ü sağlanabilir. Sıcak sıkıştırma denilen alternatif sıkıştırma işlemi ile T/M parçanın özgül ağırlığı 0.2 g/cm^3 kadar artırılabilir. Sıcak sıkıştırma işleminde toz karışımı özel bir yağlayıcı ile yağlanır ve kalıplar yaklaşık 130-150 °C sıcaklığında işlem tamamlanır. Sıcak sıkıştırma işleminin avantajlı yanı, sinterleme öncesi parça daha yüksek mukavemete sahip olduğu için bazı talaş kaldırma işlemleri yapılarak takım ömrünü artırmasıdır [14].

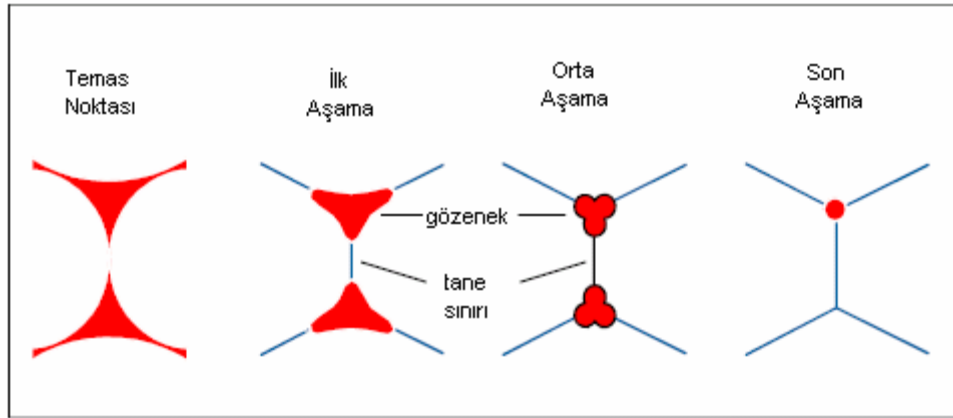
Tüm toz metal ve seramik parçalar mukavemet kazandırmak amacıyla yüksek sıcaklıklarda sinterlemeye tabi tutulurlar. Sıkıştırılmış toz parçalar arasındaki bağlantı yapışma, mekanik kilitleme ve benzeri türden zayıf bağlar olup kristal kafes içerisindeki bağ dayanımına kıyasla çok zayıf kalmaktadır. Sıkıştırılmış toz yapıları içerisindeki partiküller bir biri ile temas ediyor olsa da her bir partikül diğerinden

bağımsızdır. Sinterleme ile partikül temas noktaları artmakta ve atomlar ve iyonlar arasında fiziksel bir bağ oluşmaktadır. Bu türden bağ oluşumu kristal kafes sistemi içerisindeki yüksek dayanımlı atomsal bağlanma ile benzeştir. Tek fazlı sistemlerde (saf toz kullanımında) sinterleme tamamen katı fazda gerçekleşir. Çok fazlı sistemlerde (birden fazla türde toz bir arada kullanılması durumunda veya toz içerisinde bulunan safsızlıklar) sinterleme işlemi sıkıştırılmış parçanın katı formunun (iskeletini) koruyacak şekilde sıvı fazda gerçekleşebilir. Sinterleme ile preslenmiş toz parçalarda yoğunluk artışına neden olan boyutsal (veya hacimsel) küçülme meydana gelir. Bu durum özellikle çok ince taneli tozlarda daha fazla görülür[14].

3.4 Sinterleme ve Aşamaları

Sinterleme, gözenekli yapıda bir form (Şekil 3.2) kazandırılmış tozların spesifik yüzey alanının küçülmesi, partikül temas noktalarının büyümesi ve buna bağlı olarak gözenek şeklinin değişmesine ve gözenek hacminin küçülmesine neden olan ısı olarak aktive edilmiş malzeme taşını mı olayı olarak tanımlanabilir. Diğer bir ifade ile sinterleme toz kütlesinin veya gözenekli yapıda sıkıştırılmış toz parçaların özelliklerinin gözeneksiz yapıya sahip malzeme özelliklerine değiştirmek için yapılan bir ısı işlem uygulamasıdır. Bu işlem (proses) de gaz-katı etkileşimi ve kimyasal reaksiyonlar vardır. Ayrıca proses bir çok malzeme taşınım olayını içeren kompleks bir mekanizmaya sahiptir. Sinterlemenin başlaması yapışık (yada sadece birbirine dokunan) bağlantıların katı-hal bağına dönüşümü ile olur. Burada bir partiküle ait yüzey atomu en az iki partikül tarafından paylaşılır duruma geçer [14].

Sinterleme sıkıştırılmış parçaların mukavemet kazandığı bir ısı işlemidir. Demir esaslı alaşımlar için sinterleme sıcaklığı genellikle 1100–1150°C arasındadır. Bazı durumlarda sinterleme sıcaklığı 1250°C a kadar çıkabilir. Sinterleme işleminin süresi uygulamanın çeşidine göre 10 ila 60 dakika arasında değişebilir. Sinter fırınlarında kullanılan bant genellikle elek tipindedir ve malzemeler bir kap içine yerleştirildikten sonra bant üzerine yerleştirilir. Diğer tip (arabalı, askılı vs.) fırınlar da kullanılmaktadır [16].



1. Birleşme ve boyun oluşumu
2. Geometrinin değişimi ve yoğunlaşma çekmesi
3. Porozitenin azalması ve gözeneklerin izolasyonu

Şekil 3.2. Sinterleme Aşamaları

Sinterleme sırasında oluşacak oksidasyonu engellemek için kullanılan atmosferler kırılmış amonyak veya azot gibi atmosferlerdir. Sinterlenmiş parçalarda örneğin demir esaslı alaşımlarda karbon içeriğinin kontrolü nihai özellikler açısından önemlidir. Sinterleme işlemi aşağıdaki kademelerden oluşur. Mumun giderilmesi, sinterleme, soğutma aşamalarından oluşur. Mumun giderilmesi bölgesinde yağlayıcının uçması sağlanır. Aynı anda toz tanecikleri üzerindeki oksitler fırın içinde redüklenirler ve birbirine temas eden taneciklerde ilk bağlanma başlar. Sinterlemenin ana mekanizmaları yüzey ve hacim difüzyonudur. Difüzyon ile katkı maddelerinin demir içine difüze olmaları sağlanır. Termodinamik kurallarına göre enerjiyi minimize edebilmek için porozitelerin yuvarlanması ve küçüklerin büyüklerin gelişimine yardımcı olabilmek için kaybolduğu gözlenir. Sinterleme fırınının soğutma bölgesinde, parçaların hava ile temas ederek oksitlenmelerini engellemek amacıyla oksitlenmeden koruyucu bir gaz altında soğumaları sağlanır. Soğuma hızı 850-500°C civarındadır ve malzemenin mekanik özellikleri meydana gelen faz dönüşümleri nedeniyle soğutma hızı ile yakından ilişkilidir. Sinterleme sırasında boyutta orta derecede değişim görülür. Birçok malzeme küçüldüğü halde, bakır gibi bazı alaşımlarda boyutta artış görülür. Baskı kalıbı tasarlanırken bu değişimlerin de göz önünde bulundurulması gerekir [15].

Toz partikülleri tek bir taneden oluşur. Taneler düzenli kristal yapıda olabilecekleri gibi amorf yapıda da olabilir. Taneler tek kristalli tek bir tane yapısında olabileceği

gibi polikristal (çok kristalli) tane yapısına da sahip olabilirler. Toz taneleri bazen ikincil taneler oluşturabilir. Bu ikincil tane oluşumuna aglomerasyon denir ve daha çok kontrol edilemeyen toz üretim süreçlerinde istem dışı oluşur [16].

Ergime sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta katı halde atomik taşıma ile tanecikler arasında bağ oluşturma işlemine katı hal sinterleme denilmektedir. Katı hal sinterlemesinde, taneciklerin atomik seviyede taşınımı (kütle taşınımı) için yüzey difüzyonu, viskoz akış ve katı buharlaşma, yeniden yoğunlaşma gibi çeşitli kütle hareket yolları vardır. Katı hal sinterleme adımları çeşitli adımlardan oluşmaktadır. Bu adımların anlaşılması sinterleme işleminin kontrol altına alınmasında önem kazanmaktadır. Soğuk olarak biçimlendirilmiş toz metal maddeler çok kırılmandır. Toz taneleri, basınç altında mekanik olarak birbirlerine kitlenmişlerdir ve kısmende soğuk oluşacak mukavemet parçaya yük taşıma özelliği vermez. Ham mukavemet olarak tanımlanan bu mukavemet, depolanmaya yetecek kadar olması yeterlidir [17].

Sinterleme işlemi başlangıç, orta ve son adım olmak üzere üç adımdan oluşur. Taneler temas haline geldiğinde sinterlemenin ilk adımı oluşur. Çünkü tanelerin yapışma noktasında zayıf bir yapışma bağı vardır. Temas eden tanecikler arasındaki zayıf yapışma bağı (boyun oluşumu) sinterlemenin başladığını gösterir. Taneler arasındaki nokrasal temaslar büyüyerek boyun oluştururlar ve bu kademen tane sınır ve gözenek yapısı sinterleme hızını kontrol eder. Orta kademedeki tozlar arasındaki gözenek yapısı düzleşir ve silindirik bir ara bağlantı gelişir. Gözenek geometrisi helezon şeklindedir ve tane sınırı ara yüzeyine yerleşmiştir. Bu kademedeki gözenek içerisindeki gazların çıkışı devam eder. Yüzey alanı ve bu eğrilikteki azalma sinterleme yavaşlamasına sebep olur. Bu büyüme daha az taneli fakat daha büyük ortalama tane boyutu verir. Gözenek sayısı ve boyutu azalırken tane büyüklüğü de artmaktadır. İzole gözeneklerin oluşması, yoğunlaşma hızını azaltır ve sinterlemenin son adımına doğru geldiğini gösterir. Bu adımda gözenekler incelerek kapanır ve gözenek geometrisi silindirik bir şekil almaya başlar. Gözeneklerdeki sıkışmış gazlar yoğunlaşmayı sınırlar. Sadece vakum ortamında sinterleme ile teorik yoğunluk (100 yoğunluk) çıkabilir [18].

Tablo 3.2. Toz Metalurjisi Genel Uygulamaları

T/M İle Üretilen Parçalar	Takviye Elamanları
MIM	Fe, Au, Paslanmaz çelik
Elektrik Kontakt Malz	Ag ve AgCd Alaşımları
Aşınmaya Dirençli Kaplama	Fe, Ni ve Co Alaşımları
Brazing(lehimleme)	Cu, Ag, Au ve Pd Alaşımları
Kaynak	Fe, FeSi45, FeMn
Diş Hekimliği	AgCuSn Amalgamları
Ergitme	Fe, Ni, Co, Cu Matları ve saflaştırma için Zn
Atık Çevrim (recycling)	Ag, Au, Pt, Co
Elektronik Lehim Pastaları	SnPb, Bi ve Sb Alaşımları
Kesici Takımlar	Cu, Co, Ni, Fe
Boya ve renklendiriciler	Cu, Al, Zn

Tablo 3.2' de Toz metalürjisi ile üretilmiş parçalar verilmektedir. Sıvı faz sinterleme ile sinterleme işleminde oluşan sıvı fazın varlığına bağlı olarak, iki farklı süreç halinde tamamlanır. Bunlardan ilki, sıvı fazın ısıtma aşamasında oluştuktan sonra iç yayılma ile katı eriyiğe geçerek yok olduğu geçici sıvı faz sinterlemesi ikincisi ise sıvı fazın sinterleme sıcaklığında sürekli olarak var olduğu sürekli sıvı faz sinterlemesidir. Geçici sıvı faz sinterleme sıcaklığında oluşan sıvı faz, iç yayınmayla katı eriyiğe geçerek yok olur. Sonuçta homojen bir, katı eriyik veya daha fazla katı fazdan oluşan heterojen bir alaşım oluşur. Bu tip sinterleme pratiklerine örnek olarak %90Cu-%10Sn bileşimine sahip kendinden yağlamalı yataklar, Al-Cu ve ve değişik miktarlardaki Fe-Cu sistemleri verilebilir. Diğer bir sinterleme mekanizması olan

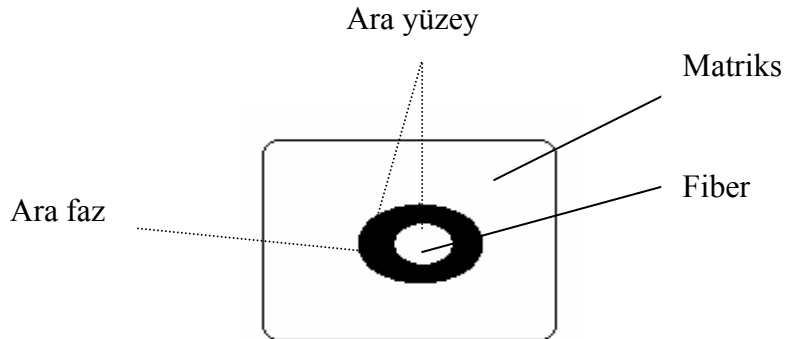
sürekli sıvı faz sinterlemesinde ise sinterleme sıcaklığında oluşan sıvı faz tüm sinterleme süresi boyunca mevcudiyetini korur. Özellikle ergime sıcaklığı yüksek olan tungsten gibi refrakter metallerin saf halde sinterlemelerinin zorluğu sebebiyle ilk çalışmalar 1950'lerde gerçekleşmiştir. Sisteme katılan düşük miktardaki, düşük ergime sıcaklığına sahip metaller sinterleme esnasında sıvı faza geçer. Oluşan sıvı faz içerisinde çözünen ufak katı parçacıklar daha büyük parçacıklar üzerinde çökerek hızlı bir şekilde yoğunlaşma gerçekleşir. Buradaki sıvı faz bir nevi taşıyıcılık üstlenir. Sıvı faz sinterleme mekanizmasının temel avantajları; düşük sinterleme sıcaklıkları hızlı yoğunlaşma ve homojenleşme, yüksek sonuç yoğunlukları ve katı hal sinterlemesi ile sinterlenmiş malzemelere göre daha üstün özellikler taşıyan mikro yapısal gelişim şeklinde sıralanabilir [18].

BÖLÜM 4. KOMPOZİT MALZEMELER

4.1. Tanım

Kompozit malzemeler, şekil ve/veya kimyasal bileşimleri farklı, birbiri içerisinde pratik olarak çözünmeyen iki veya daha fazla sayıda makro bileşenin kombinasyonundan oluşan malzemeler olarak tanımlanabilir [19].

Kompozit malzemeler en az iki yapı bileşeninden meydana geldiği için bileşenler arasında sınır oluşturan bir ara yüzey mevcuttur. Bu ara yüzey monolitik malzemelerdeki tane sınırlarına özdeştir. Bazı kompozitler de yapı bileşenleri arasında ara faz olarak adlandırılan ayrı bir bölge görülebilir. Plastiklerin pekiştirilmesinde kullanılan cam fiberler üzerine uygulanan kaplama malzemeleri bir ara faz olarak kabul edilebilir. Bu ara faz cam fiberlerle ve plastik matrisle ayrı birer ara yüzey oluşturur (Şekil 4.1). Ara fazı meydana getiren sadece kaplama tabakaları değildir. Yapı bileşenlerinin birbiri içerisinde düşük oranlarda çözünmeleri sonucu ortaya çıkan katı eriyik bölgeleri veya bileşenleri arasındaki reaksiyonla oluşan kimyasal bileşenler birer ara fazdır [19].



Şekil 4.1. Fiber takviyeli kompozitlerin enine kesitinde Arafaz ve Ara-yüzeylerin görünümü [19].

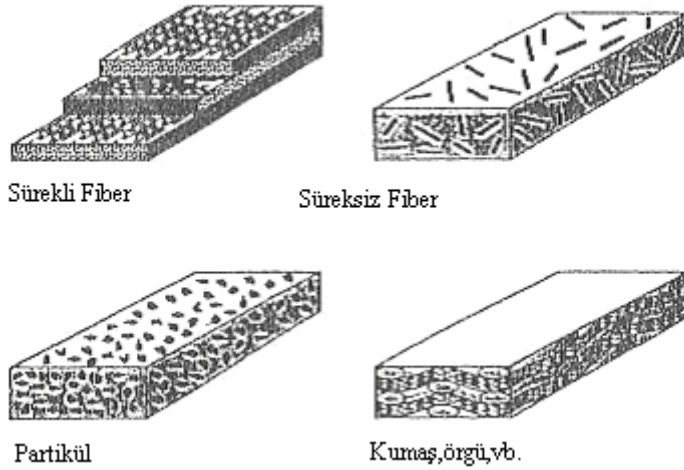
Kompozitler sadece kendi yapısal özellikleri için değil, aynı zamanda elektriksel, termal, tribolojik ve çevresel uygulamalar için de kullanılmaktadır. Modern kompozit malzemeler genellikle verilen bir uygulama alanında, belirli bir özellik dengesine ulaşmak için en iyi şekilde kullanılır. Genel bir pratik ifade olarak kompozit malzemeler, bir arada bulunan sürekli bir matriks bileşeni içeren ve daha güçlü, kuvvetli bir takviye fazı bileşenlerinden oluşan malzemelerin önemini belirtmek için sınırlandırılabilir. Sonuçta kompozit malzeme, diğer malzeme bileşenleri ile tek başına daha üstün bir yapısal özellikler dengesine sahiptir [20].

4.2. Metal Matriksli Kompozitler

Malzeme dizaynında; kullanım kolaylığı, düşük yoğunluk, düşük maliyet, kalite ve performans gibi özelliklerin öne çıkması ile bu duruma paralel olarak metal matriksli malzemelerin gelişmesinde önemli bir büyüme gözlenmiştir[11]. Metal matriksli kompozitler genelde iki bileşenden meydana gelmektedirler. Bunlardan biri metal matris (genelde bir metal alaşımıdır), diğeri ise takviye malzemesidir (genel olarak bir metaller arası bileşik, bir oksit, bir karbür veya bir nitrit). Metal matriksli kompozitlerin iki veya daha fazla sayıdaki fazlardan ayrılışı kompozit oluşmasından dolayıdır. Kompozitin üretilmesinde matris ve takviye malzemesi beraber karıştırılırlar. Bir kompoziti elde etmek için başlangıçta farklı komponentler seçilir. Genelde matris bir metal veya metal bir alaşımdır

Sınıflandırmanın ikinci kısmı takviye fazı çeşidine bağlı olarak yapılır:

- Fiber takviyeli kompozit malzemeler,
- Partikül takviyeli kompozit malzemeler,
- Tabakalı kompozit malzemelerdir [22].



Şekil 4.2. Fiber takviye fazlarının yaygın çeşitleri. Genel olarak takviye fazları düz sürekli fiber, süreksiz veya kısa (parçalanmış) fiberler, partikül veya ince tabakalar, yada dokuma veya örülmüş sürekli fiberler olabilir [22].

Metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler üzerindeki çalışmalar son yıllarda özellikle gelişmiş ülkelerde doruk noktasına ulaşmıştır. Önemli oranda yüksek özelliklerinden dolayı alüminyum alaşımlarının seramik partiküllerle takviyesi mühendislik malzemeleri uygulamalarında önemini göstermiş durumdadır [23]. Özellikle otomotiv sektöründe ticari olarak MMK malzemeler 20 yıla yakındır kullanılmakta ve bunun nedeni de spesifik sertlik, aşınma ve yorulma dirençlerinin artırılabilmesidir [24]. Yeni yöntemlerle ucuz ve kaliteli takviye elemanlarının elde edilebilir olması, ekonomik olarak konvansiyonel malzemelere alternatif olabilecek yeni MMK'lerin geliştirilmesini mümkün kılmaktadır [25]. Bu nedenle yoğun araştırma ve geliştirme çalışmalarına hedef olan bu tür kompozitlerin ülkemiz şartları da göz önüne alınarak, endüstriyel uygulamalarda kullanımının artırılması arzu edilmektedir. Tablo 4.1'de Alüminyum esaslı metal matrisli kompozit malzemelerin endüstriyel anlamda hedefleri verilmiştir.

Tablo 4.1. Alüminyum Metal Matrisli Kompozit Endüstrisinin hedefleri[26].

Kriterler	Hedef
Maliyet	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alüminyum bazlı metal maltrisli kompozitlerin maliyetinin %25 indirilmesi. 2. alüminyum bazlı MMK lerin döküm proseslerinin %25 e kadar indirilmesi. 3. Metal işleme proseslerinin(haddeleme, ekstrizyon gibi) %50 e kadar maliyetinin düşürülmesi. 4. Alüminyum bazlı MMK malzemelerinin işlenmesinde %50 e kadar maliyetinin düşürülmesi.
Altyapı	<ol style="list-style-type: none"> 1. Malzeme dizaynı için malzeme-özellik veri tabanının oluşturulması. 2. Alüminyum bazlı MMK malzeme tasarımcıları için el kitabı geliştirmek. 3. Alüminyum MMK malzeme üretim kapasitesini 2005 de 10x ve 2010 da 25x arttırmak.
Pazar	
Otomotiv	<ol style="list-style-type: none"> 1. İçten yanmalı makine bileşenlerinden çelik ve dökme demirin yerini alması. 2. Yüksek sertlik uygulamaları için alüminyum MMK malzemelerin düşük maliyette geliştirilmesi.
Uzay	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dayanıklılığın ve hasarlanma toleransının 2 kat artmasıyla alüminyum bazlı kompozitlerin pazarının genişlemesi. 2. Uzay uygulamalarında alternatif malzemeler olması.
Endüstriyel/Ticari Ürünler	<ol style="list-style-type: none"> 1. Yüksek performans ürünleri için alternatif malzemeler olması 2. Aşınma direncinin iyi olmasından dolayı çelik ve dökme demirlerin yerini almak.

Partikül kompozitler, bir veya iki boyutlu makroskobik partiküllerin veya mikroskobik partiküllerin matris fazı ile oluşturdukları malzemelerdir. Makroskobik veya mikroskobik boyutlu partiküller kompozit malzeme özelliklerini farklı şekilde etkilerler. Partikül takviyeli kompozitleri diğer kompozitlerden ayıran (örneğin; fiber) karakteristik özellikleri partiküllerin matris içerisinde tamamen rastgele dağılması ve bu nedenle malzemenin izotropik özellik göstermesidir. Partikül takviyeli kompozitler sermetler ve dispersiyonla sertleştirilmiş alaşımlar şeklinde iki grup içinde toplanabilir. Sermetler, seramik ve metal fazlarının karışımından oluşurlar. Seramikler genel olarak yüksek sıcaklık dirençleri, yüksek ergime sıcaklıkları, ısı kararlılıkları ve elastik davranışları ile karakterize edilirler. Dispersiyonla sertleştirmede amaç; sert, inert ve refrakter karakterli birkaç mikron boyutundaki partikülleri sünek bir yapı içerisinde homojen bir şekilde dağıtmaktır. Disperse faz olarak genellikle yüksek ergime sıcaklıkları, ısı kararlılıkları ve metalik sistemlerde düşük çözünürlükleri nedeniyle oksitler kullanılır. Dispersiyonla sertleştirilmiş alaşımların üretiminde karşılaşılan bazı güçlükler nedeniyle endüstriyel olarak üretilen sistemlerin sayısı sınırlıdır. Al_2O_3 dispersiyonu ile sertleştirilmiş alüminyum ve ThO_2 dispersiyonu ile sertleştirilmiş nikel alaşımı bu tür kompozitlere örnek gösterilebilir [27].

MMK malzemelerin mekanik özelliklerinin tanımlanabilmesi için bir çok model geliştirilmiş olmasına rağmen, partikül takviyeli kompozit malzemelerin özelliklerine uygun model sayısı azdır. Ancak bu konu üzerine yapılan bazı çalışmalar, metal-seramik partikül kompozit malzemelerin fiziksel, mekanik ve tribolojik özelliklerini karakterize etmiştir [28].

Partikül takviyeli ve alüminyum matrisli kompozit malzemeler üzerine ilk detaylı inceleme McDanel's tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada SiC partiküller %60 hacim oranına kadar farklı bileşimdeki alüminyum alaşımlarına ilave edilmiş ve hacim oranına bağlı olarak akma ve çekme mukavemetlerinin arttığı belirtilmiştir [24]. Partikül takviyeli MMK'lerin mukavemeti üzerinde rol oynayan en önemli faktör partikül hacim oranıdır. Partikül boyutu da birinci derecede etkili olmamasına rağmen önemlidir. Ayrıca, matrisde oluşacak çökelti partikülleri de kompozitin mukavemetine katkıda bulunmaktadır.

Metal matrisli kompozitlerin üretilmesinde çok değişik sayıda üretim metodu geliştirilmiş olmasına rağmen bu üretim yöntemlerini; (i)toz metalürjisi, (ii) difüzyon, (iii) ekstrüzyon ve çekme ve (iv) döküm yöntemleri olarak dört ana gruba ayırmak mümkündür. Metal matrisli kompozitler yeni ve ucuz üretim tekniklerinin bulunması ile doğru orantılı olarak uygulamaya aktarılabilmektedirler. Bu sebepten son yıllarda en ucuz ve en kolay üretim metotlarından olan döküm ile kompozit üretimin olanakları araştırılmaktadır.

Metal matrisli kompozitlerin üretimi için en çok tercih edilen döküm metotları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Sıkıştırma döküm .
- Kompozit döküm .
- Atomizasyon ve gaz enjeksiyonu.
- Basıncılı infiltrasyon.
- Pelet metodu.

- Vorteks metodu.
- Santrifüj yöntemi .
- Ultrasonik titreşim.
- Metalik köpük yöntemi.
- Yönlenmiş katılma [29].

Metal matriksli kompozitler, partikül, tabaka, whisker, kısa fiber ve sürekli düzene girmiş fiber türündeki seramik fazlarla takviye edilmiş bir metalik alaşım matriksi içeren malzemelerin farklı bir sınıfıdır [22].

4.3. Polimer Matriksli Kompozitler

Polimerler, metal ve seramiklere göre çok daha fazla komplekstirler. Matris olarak kullanılan polimerler ucuz ve kolaylıkla çalışabilen malzemelerdir. Diğer taraftan düşük modüle ve düşük kullanım sıcaklığına sahiptirler. Termoset ve termoplastikler olarak iki gruba ayrılan polimer matriksler genellikle sürekli fiberlerle kullanılırlar. Bunlardan en önemli olanları sürekli fiberlerle takviye edilen polyster, poliamidler ve epoksi reçine matrisleridir. Epoksi reçine matrisli kompozitlerin en önemli uygulamalarından biri havacılık uygulamalarıdır. F-14 ve F-15 uçaklarında dengeleyici olarak bor-epoksi kullanılmaktadır ve ayrıca sivil havacılık alanında da Boeing 757 ve 767 'lerde motor kaportalarında karbon/aramid-epoksidir [28]. Polimer matrisli kompozitlerle çalışırken göz önüne alınması gereken en önemli faktörlerden ikisi, sıcaklık ve nemdir. Özellikle iki faktörün beraber etkin olduğu şartlarda polimer matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinde hidro termal etkilerden dolayı düşüşler meydana gelmektedir. Polimer matrisli kompozitlerin üretilmesinde en çok bilinen ve en çok kullanılan metotlardan bazıları; ele sıvama, tel sarma, kese kalıplama işlemi, pultrüzyon metodu, sıvı akış tekniği, takviyeli reaksiyon enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon ve termo oluşum metotlarıdır. Polimerde kullanılan takviye malzemelerinden en önemli olanları; cam fiber, kevlar fiber, boron fiber ve karbon fiberlerdir [30].

4.4. Seramik Matrisli Kompozitler

Seramik malzemeler çok sert ve kırılındırlar. Bunun yanında yüksek sıcaklıklarda bile yüksek elastik özellik gösterirlerken kimyasal olarak inerttirler ve ayrıca düşük yoğunluk gibi özellik sergilerler. Seramik malzemeler termal şok direncinin düşük olduğu malzemelerdir dolayısıyla kullanımları sırasında ani hasar sergilediklerinden faciaya yol açacak özelliktedirler. Seramik malzemelerin seramik fiberlerle takviye edilmesi durumunda ani kırılmalara karşı dayanım artarken tokluklarının da artırılması amaçlanmaktadır. Bu uygulamayla monolitik seramiklere oranla tokluk 20 kata kadar artırılabilir. Seramik matrisli kompozitlerde proses parametreleri ile oynayarak mikro çatlaklar oluşturulur. Bu çatlaklar gerilme konsantrasyonlarının yoğunlaşmasını engelleyerek gerilmeleri absorbe ederler [30].

Seramik matrisli kompozitlerin üretimi iki aşamalı bir prosestir. Birincisi takviye malzemelerinin matris içine verilmesi, ikincisi ise matrisin yoğunlaştırılmasıdır. Üretim metotlarının bazıları; viskoz infiltrasyon toz metalürjisi içerisinde sayılabilen tüm metotlar, kimyasal reaksiyon, sol-jel ve polimer proliz metotlarıdır [22-30].

4.5. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

Kompozit malzemelerin geleneksel malzemeler karşısında üstün mekanik özellikler sergilemesi son yıllarda bunların üretim teknikleri üzerinde daha yoğun çalışmalar yapılmasına yol açmıştır. Fakat bu kompozitlerin üretim maliyeti hala yüksek ve problemler mevcuttur. Kompozit üretiminde en önemli parametre takviye malzemesi ile matris malzeme arasında kuvvetli bir ara yüzey bağının oluşmasını sağlamaktır. Aksi halde matristen takviyeye yük transfer edilmez.

Kompozit malzemelerin üretim yöntemlerinde yaygın olarak kullanılan sıvı hal ve katı hal üretim teknikleridir.

Sıvı faz üretim işlemlerinde; seramik parçacıklar farklı teknikler kullanılarak sıvı metal matris içerisinde ilave edilir. Bu karıştırma işlemi ardından şekilli veya kütük

döküm işlemi gerçekleştirilir. Bu işlemde matriks alaşımına bağlı olarak seramik takviye elemanlarının dikkatli bir şekilde seçimini gerektirmektedir. Matrikse uygunluğunun yanı sıra seramik olarak takviye elemanı seçiminde yüksek elastik modülü ve çekme mukavemeti, düşük yoğunluk, yüksek ergime sıcaklığı, ısıl kararlılık ve maliyet gibi faktörler dikkate alınmalıdır [11].

4.5.1. Sıvı metal emdirmesi (İnfiltrasyon)

Sıvı metal emdirmesi tekniği, takviyeli metal matriksli kompozitlerin üretilmesinde yaygın olarak kullanılan bir metottur. İnfiltrasyon yöntemi, havada inert gaz kullanılarak veya vakumlu atmosferde gerçekleştirilebilir [11]. Bu metodda prensip, önce istenilen şekilde uygun bağlayıcı kullanılarak preform (ön-şekil) hazırlanır. Kompozitte tasarlanan takviye hacim içeriği ve doğrultuları bu aşamada yapılır. Hazırlanan bu model kalıp içerisine yerleştirilmekte ve ergimiş metal enjekte edilerek bu mastarın ısıtılması sıvı metal emdirerek sağlanır, bu arada organik bağlar yanar ve katılaşmaya bırakılır. Emdirme işlemi, sıvı dövme döküm tekniğinde olduğu gibi basınçla gerçekleştirilebilir [27]. Sıvı hal üretiminin en önemli dezavantajı ıslatılabilirlik, istenmeyen ara yüzey reaksiyonlarının gerçekleşmesi, preformun yapısal bozulmasıdır[11-18].

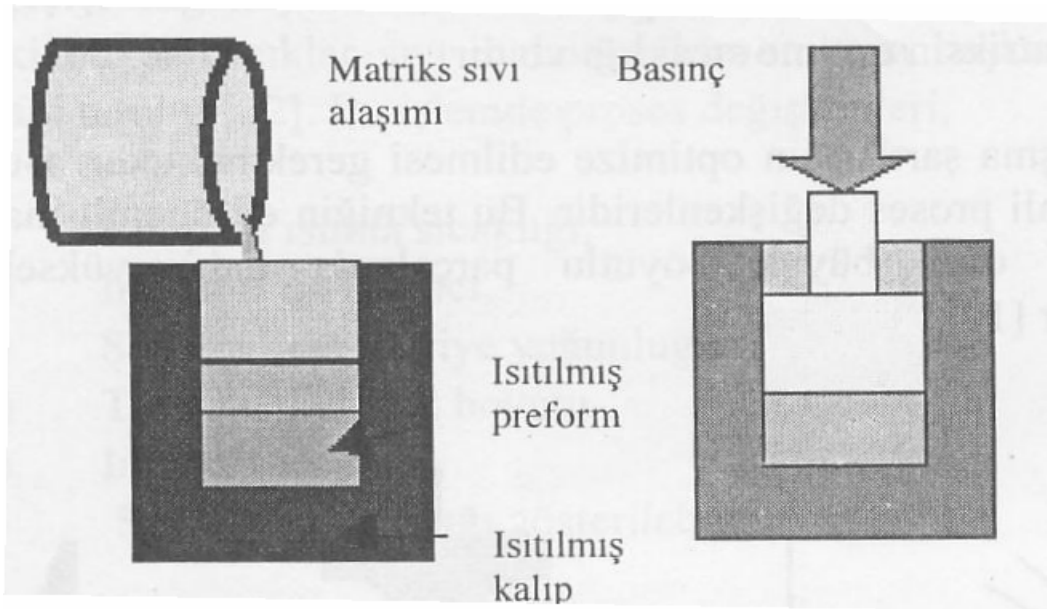
İnfiltrasyon tekniğini, kısa fiber takviyeli alüminyum alaşımları üzerinde ticari olarak ilk deneyen şirket Toyota firmasıdır. Dizel motorların silindirleri üzerinde denemiştir. Başlıca üretim yöntemi basınçlı döküm yöntemidir. Kısa fiber alümina preformu önceden ısıtılmış kalıba yerleştirip ergimiş alüminyum alaşımını döktükten sonra basınçlı döküm hidrolik pres de gerçekleştirilir. Kompozit alüminyum pistonlar takviyesiz pistonlardan daha iyi performans sergiler [11].

4.5.2. Sıkıştırılmalı veya sıvı dövme döküm tekniği

Bu yöntemde takviyeden oluşturulmuş preform veya yatağa Şekil 4.3 'te görüldüğü gibi sıvı alaşım hidrolik basınç altında emdirilmektedir. Sıvıyı soğutma etkisinden kaçınmak için kalıp, preform zımba ön ısıtmaya tabi tutulmaktadır. Takviye preform veya yatağı içerisindeki hava boşlukları veya kalıp ile takviye arasındaki boşluklara

zamansız sıvı penetrasyonu tehlikesini azaltmak için kalıp boşluğu içerisine sızdırmaz şekilde yerleştirilir. Her bir kompozit sistemi için paracıklar alaşımın sıvı sıcaklığını aşmayacak kritik sıcaklığa ısıtılmalıdır.

Silisyum karbür, grafit, alüminyum oksit ve paslanmaz çelik gibi takviye elemanları, ergimiş metal içerisinde gereği gibi ıslanamaz. Bu nedenle, sıvı metal emdirilmesi tekniği ile kompozit üretimi daha zordur. Fakat sıkıştırımlı döküm tekniğinde ergimiş metalin elyaf demeti içerisine basınçla emdirme esasına dayandığından mikro boşluk önlenmekte ve dolayısıyla preform içerisine atıl gazlar dışarı atılarak daha sağlam, gözeneksiz bir yapı elde edilebilmektedir [27].



Şekil 4.3. Sıkıştırma döküm yöntemi [23].

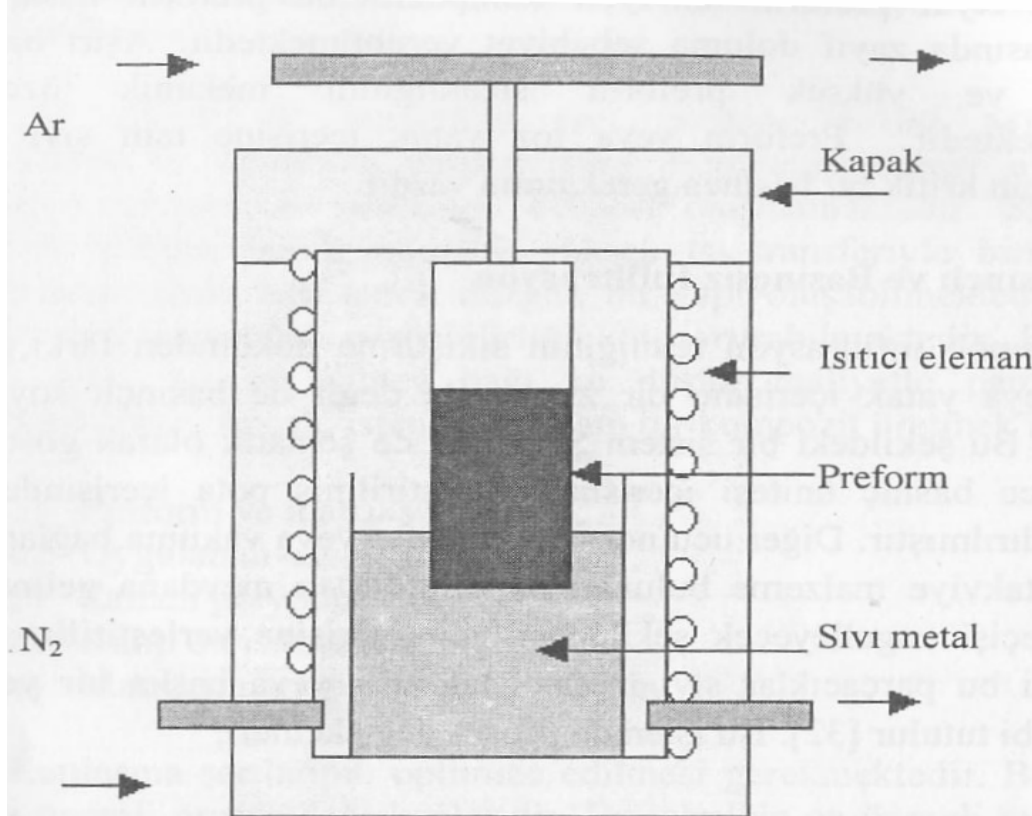
4.5.3. Basınçlı ve basınçsız infiltrasyon

Basınçlı infiltrasyon tekniğinin sıkıştırma dökümden farkı, sıvının preform veya yatak içerisine bir zımba ile değil de basınçlı soy gaz ile itilmesidir. Bu şekildeki bir sistem Şekil 4.4'te şematik olarak gösterildiği gibi bir ucu basınç ünitesi içerisine yerleştirilmiş pota içerisindeki sıvı metale daldırılmıştır. Diğer ucu normal atmosfer veya vakuma bağlanmış ve içerisinde takviye malzeme bulunan bir silindirden meydana gelmektedir. Takviye geçişi engelleyecek şekilde silindir içerisine

yerleştirilir. Silindir içerisindeki bu parçacıklar sıvı metale daldırılır veya başka bir yerde ön-ısıtmaya tabi tutulur. Bu işlemde proses değişkenleri;

- Kalıp ön ısıtma sıcaklığı,
- İnfiltrasyon basıncı,
- Sıkıştırılmış takviye yoğunluğu,
- Takviye parçacık boyutu,
- İnfiltrasyon hızı,

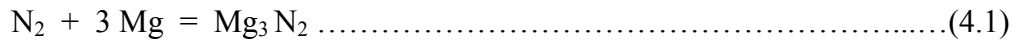
Kapasitans tekniği kullanılarak gerçekleştirilen basınçlı infiltrasyon tekniğinde; toz numune içeren kuvarz tüp çevresine metal elektrot yerleştirilmiş ve sıvı metal ile elektrot arasında bir potansiyel farkı uygulanmıştır. Sıvı metal elektrot seviyesini geçecek şekilde preform içerisine girdiği zaman silindirik bir kapasitör oluşmaktadır. Bu durumda kuvars tüp dielektrik olarak sıvı metal ise ikinci elektrot olarak görev yapmaktadır. Bu yöntemde yaklaşık % 55 hacimsel yoğunluğa sahip SiC preformun kalay ile infiltrasyonu sağlanabilmektedir.



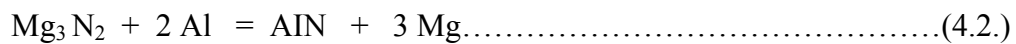
Şekil 4.4. Basınçlı infiltrasyon metodu [27].

Ultrasonik infiltrasyon yönteminde ise; ultrasonik enerji ıslatabilirliğin geliştirilmesini, katı parçacıkların sıvı içerisine dağıtılmasını sağlar. Şayet alüminyum sıvısı içerisine daldırılmış olan parçacık preformu üzerine ultrasonik vibrasyon uygulanacak olursa infiltrasyon temin edilir. Fakat alüminyumun infiltrasyon mesafesi ultrasonik enerji yoğunluğuna bağlıdır. Sıvı emdirme proseslerinin tümünde temel mekanizma, gözenekli parçacık yatağı ve preformdaki kanallar vasıtasıyla sıvı metal ve alaşımların kılcallık etkisi ile akışıdır. Kılcallık kanununa göre sıvı bir katıyı ıslattığı zaman gözenekli bir ortam içerisine sıvının kendi kendine infiltrasyonu gerçekleşir. Aksi halde minimum bir dış basınç uygulanması gerekmektedir.

Basıncsız infiltrasyon metodunda; sıvı metalin takviye parçacık içerisine kendi kendine infiltrasyonunu sağlayan bu yöntemde paketlenmiş seramik toz yatak azot atmosferinde basınç uygulamaksızın Al-Mg alaşımının infiltrasyonu sağlanabilir. Alaşım-seramik sistemi 800-1000°C'e kadar ısıtılmaktadır. İnfiltrasyonun gelişimini sağlayan reaksiyon denklemi;



İnfiltrasyon sırasındaki reaksiyon denklemi;



Şeklinde yazılabilir. İnfiltrasyon sıcaklığına ısıtma sırasında magnezyum buharlaşır. Takviye yüzeyini kaplayan magnezyum nitrit (Mg_3N_2) oluşturmak üzere azot atmosferi ile reaksiyona girer. Magnezyum nitrit basınç veya vakum uygulamaksızın alaşımın takviye faza infiltrasyonuna imkân sağlayan bir bileşiktir. Bu yöntemin ısıtılmış preformun sıvı içerisine daldırılarak kendi kendine infiltrasyonunun sağlandığı değişik bir uygulaması da mevcuttur.

4.5.4. Sıvı metal karıştırması

Bu üretim yönteminin oldukça değişik versiyonu olmakla beraber takviye malzemenin tamamıyla sıvı haldeki matriks içerisine girmesini sağlamak için bazı yaklaşımlar şöyle özetlenebilir [23]:

- Bir enjeksiyon tabancası kullanılarak sıvı içerisine taşıyıcı soygaz ile tozların enjeksiyonu,
- Kalıp dolarken sıvı içerisine seramik parçacıkların ilavesi,
- Mekanik hareket ile oluşturulan vorteks içerisinden parçacıkların sıvı metale ilavesi,
- Sıvı içerisine matriks alaşımı ve takviye toz karışımından meydana gelen, küçük briketlerin ilavesi ve ardından karıştırılması
- Karşılıklı hareket eden çubuklar kullanılarak parçacıkların sıvı içerisine itilmesi,
- Merkezkaç etki ile ince parçacıkların sıvı içerisine dağılması veya ultrasonik ile sıvı sürekli hareket halinde iken parçacıkların sıvı içerisine enjeksiyonu,
- Sıfır yerçekimi prosesidir. Bu proses uzun bir zaman dilimi için çok yüksek vakum ve sıcaklıkların birlikte etkisi kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Yukarıdaki işlemlerin hepsinde metal matriks ile takviye arasındaki güçlü bağ; yüksek işlem sıcaklığı kullanımı ve yeni faz oluşturulması gereklidir. Bu nedenle de takviye fazı ile matriks arasındaki ıslatmayı geliştirmek için takviye ile etkileşim gösteren bir element ile matriksin alaşımlanması halinde başarılı olunmaktadır. Doğal olarak ıslanmayan parçacıklar için ıslatmayı iyileştirici alaşım elementi ilavesi halinde veya parçacıkların ıslatılabilir bir örtü ile kaplanması gerekmektedir. Fakat bu reaksiyon kompozit üretimi veya kullanımı sırasında takviye elemanın zarar görmesine neden olmaksızın bağ oluşumunu teşvik edecek ıslatmayı sağlayacak kadar olmalıdır [27].

4.5.5. Yarı katı karıştırma

Bu yöntem bazen ‘Compcasting’ veya ‘Rheocasting’ olarak da anılmaktadır. Bu anılan yöntemde katı (solidus) ile sıvı (liquidus) arasındaki sıcaklığa sahip yarı katı karıştırmak suretiyle yapılan takviye ilave tekniğidir. Alaşımın sıcaklığı sıvı sıcaklığının 30–50 °C üzerine çıkarılıp şiddetli şekilde karıştırılarak yarı-katı aralığa kadar soğumasına müsaade edilir. Devam eden bu hareketlilik, katılaştan dendritleri kırarak ince küresel parçacıklara dönüştürmekte ve yarı akışkan vizkozitesindeki yükselmeye de engel olur. Karıştırma devam ederken takviye ilavesi gerçekleştirilir. Nispeten düşük viskoziteye sahip karışım doğrudan basit kütük şeklinde dökülebilir ve bu durumda yöntem ise ‘Rheocasting’ adını alır. Şayet karışım sıvı sıcaklığı üzerine çıkarılıp karıştırılarak yapılırsa bu durumda da işleme ‘Compcasting’ adı verilmektedir. Fakat helisel indüksiyon karıştırıcı kullanılarak da kompozit üretim çalışmaları yapılmaktadır. Bu proses sırasında deformasyon direnci oldukça düşük olduğundan dolayı, son şekle yakın parça, ekstrüzyon ve şekil verme yöntemleri kullanılarak üretilebilir. Bu yöntemde ortaya çıkan en önemli problem karıştırma sırasında sürtünme etkisiyle fiberde hasar meydana gelmesidir [27-32].

4.5.6. Toz metalurjisi tekniği

Bu teknikte, toz halindeki metal ve seramik malzemeler birleştirilebilir. Genellikle takviye elemanı partikülleri olarak silisyum karbür, grafit, nikel, titanyum ve molibden ile matriks malzemesi olarak da metalik bakır, nikel, alüminyum, kobalt ve titanyum esaslı alaşımlar ve çelikler kullanılmaktadır. Bu metod da tozlar istenilen şekli oluşturmak için tasarlanan hacim oranlarında karıştırılıp kalıp içerisine konularak preslenir. Presleme işlemi soğuk yada sıcak olarak yapılabilmekte fakat ara yüzey bağını iyileştirmek ve partikül kırılmasını azaltmak için sıcak preslemeden daha iyi netice elde edilebilmektedir. Elyafın yığılmadan homojen bir dağılım sağlaması için metal toz ve seramik partikül boyutu önemli olmaktadır. Örnek olarak alüminyum / silisyum karbür kompozit 0.7 / 1 ve 1.24 / 1 oranlarında üretilmiş ve kompozitin tokluğunda ilerlemeler olduğu gözlenmiştir. Ancak çok ince metal tozuyla kılcal kristalli silisyum karbürün yığılmasını önlemek ve uniform dağılımını

gerçekleştirmek için sık sık sıvı çamur karışımı kullanılması gerekir. Bu karışım keza ince alüminyum tozlarıyla patlama tehlikesini azaltabilmektedir [27].

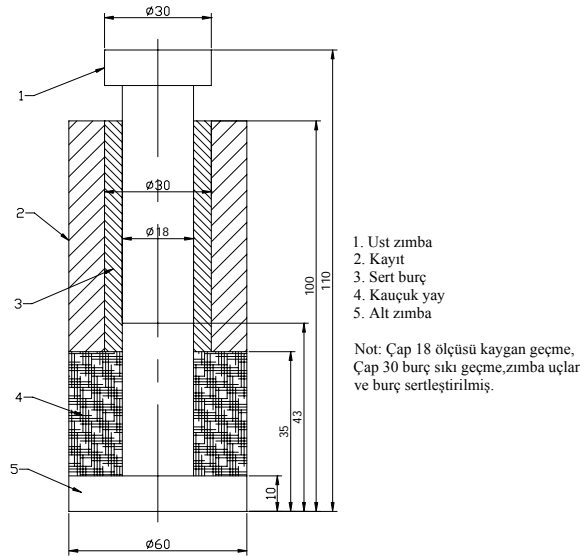
BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Malzeme

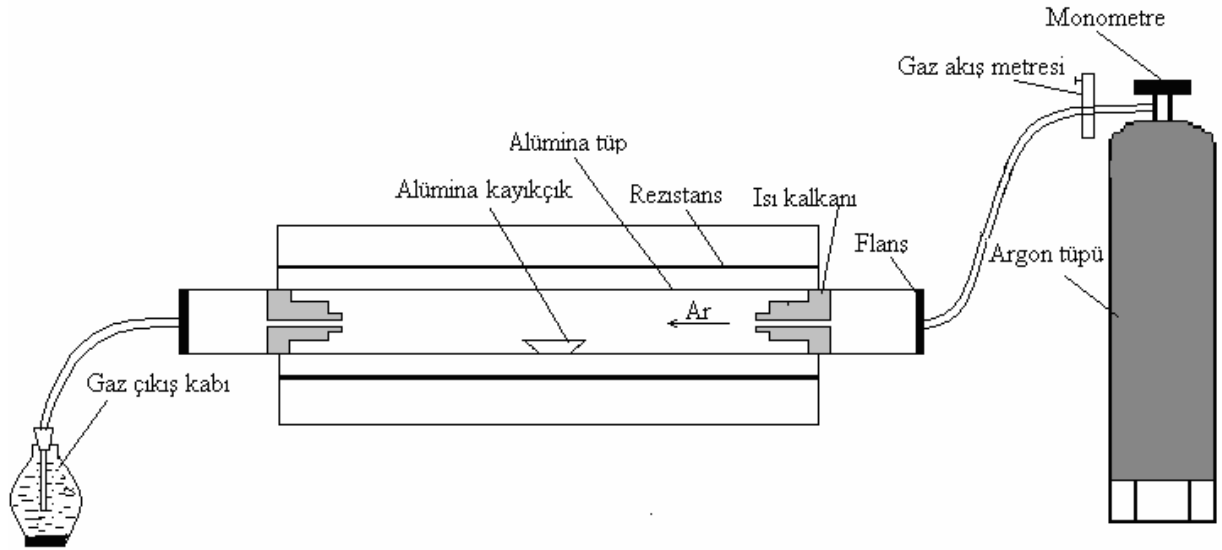
Toz metal kompozitler üretmek için, yüksek (%99,9) saflıkta alüminyum toz ve güçlendirme amacıyla da seramik karakterli alüminyum oksit (Al_2O_3) seçilmiştir.

5.2. Presleme ve Sinterleme

Hazırlanan toz karışımlar bir toz sıkıştırma kalıbı (Şekil 5.1) ile bir hidrolik pres yardımıyla sıkıştırılmıştır. Farklı basınçlarda sıkıştırılan numuneler bir seramik tüp fırına paslanmaz çelik kayıkçıklarla yerleştirilmiş ve flanjlara kapatılmıştır (Şekil 5.2). Sinterleme deneyleri argon gazı akışı altında $640^{\circ}C$ de yapılmıştır. Sinterleme sonucu kayda değer bir boyutsal değişim olmamış ancak numunelerin mukavemetleri artmıştır. Toz metal matriks kompozitlerin yanı sıra kaolen SiAlON dönüşüm reaksiyonları için de Şekil 5.2 deki aynı tüp fırın kullanılmıştır.



Şekil 5.1 Toz sıkıştırma kalıbı.



Şekil 5.2. Toz metal matrisli kompozitler için sinterleme, gözenekli SiAlON için reaksiyon fırını

5.3. Sertlik Ölçümü

Malzemeler üzerinde yapılan en genel deney sertliğinin ölçülmesidir. Bunun sebebi deneyin basit olmasının yanı sıra malzemenin mekanik özellikleriyle sertliğinin arasında paralel bir ilişkin bulunmasıdır. Sertlik izafi bir ölçü olup sürtünmeye, çizmeye, kesmeğe ve plastik deformasyona karşı direnç olarak tarif edilir. Bu çalışmada çeşitli sertlik ölçme yöntemlerinden Brinell sertlik ölçme yöntemi kullanıldı. Brinell sertlik ölçme yönteminde malzeme üzerine belirli bir yükün, belirli çaptaki sert bir malzemeden yapılmış bir bilya yardımıyla belirli bir süre uygulanmasından ve sonuç olarak meydana gelen iz çapının ölçülmesinden ibarettir [20].

5.4 Yoğunluk Ölçümü

Numune malzemelerimizin hem geometrik şekle göre teorik hem de Arşimend' prensibine göre su içerisinde yoğunlukları ölçülerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Bunun için öncelikle kumpas ile numunelerin geometrik ölçüleri alınmış, yoğunluk = hacim/ağırlık ilişkisinden teorik yoğunluk hesaplanmıştır. Daha sonra ağırlık

ölçümleri yapılan numuneler Arşimet prensibine göre yoğunluk ölçme işleminden önce yine aynı terazide beher ve içindeki saf su ile birlikte darası alınmıştır. Numune yüzeyindeki porozitelerin içine su girmemesi için numune yüzeyleri cilalanmıştır. Daha sonra beher içindeki saf suya ince tel bir aparat ile su içinde asılı duracak şekilde daldırılmıştır. Saf suyun yoğunluğunun 1 g/cm^3 olduğu kabul edilmiştir. Numuneler su içine daldırıldığında ölçülen değer, hacmi(suyun kaldırma kuvveti/suyun yoğunluğu) esasına dayanılarak elde edilmiştir. Daha sonra aşağıda verilen denklemdeki yoğunluk-ağırlık-hacim eşitliğinden numunelerin yoğunlukları ve porozite miktarları elde edilmiştir [21].

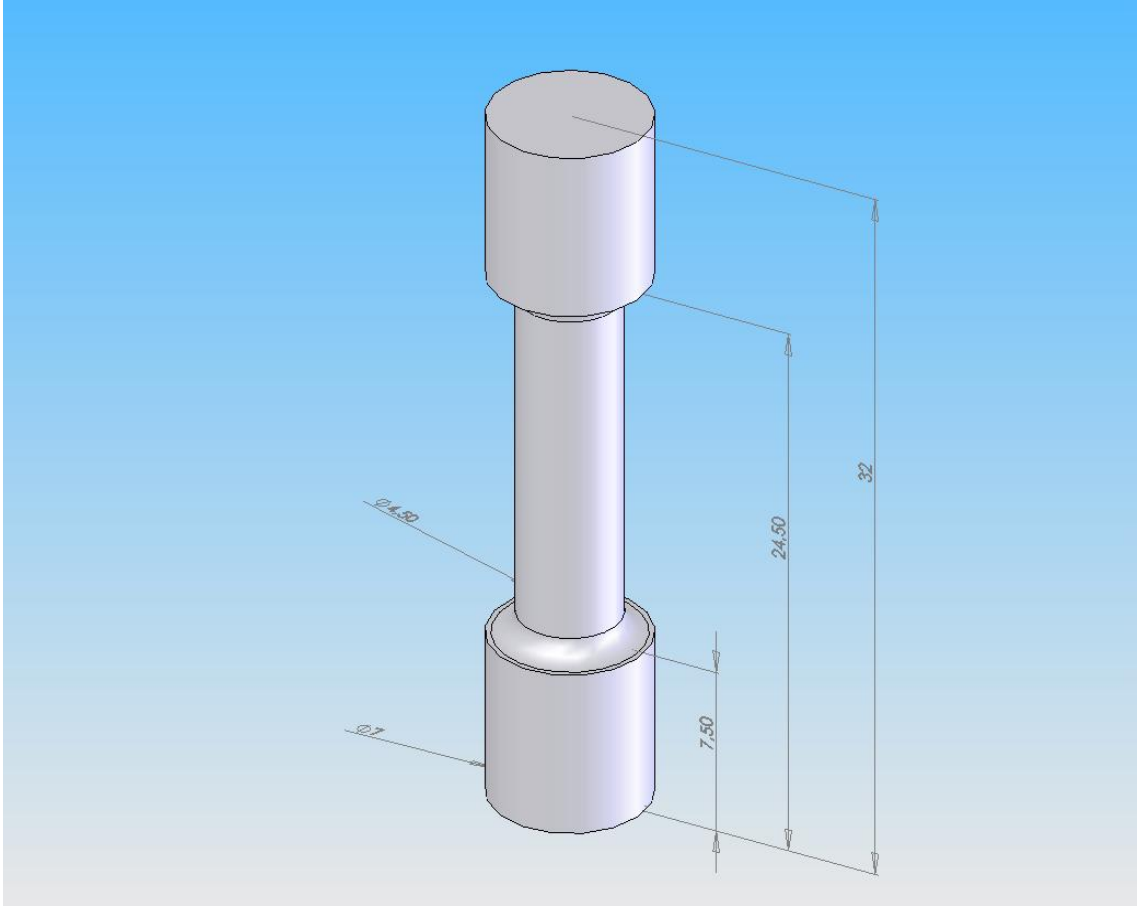
5.5. Optik Görüntüleme

Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen metal matriks kompozitlerin mikro yapıları optik mikroskopla görüntülenmiştir.

5.6 Çekme Deneyi

Alüminyum metal matriksli, % 5, % 10, % 15, % 20 ve % 25 oranlarında SiC ve Al_2O_3 takviyeli kompozit malzemelerin çekme deneyi; aşağıdaki standart numune ölçülerine uygun olarak hazırlanan numunelerle, maksimum 3 tona kadar çekme yapabilen, demir-dışı malzemeler için tasarlanmış, yatay konumlu çekme cihazında yapılmıştır. Numuneler bütün deneylerde 1 mm/dakika sabit çekme hızında çekilmişlerdir.

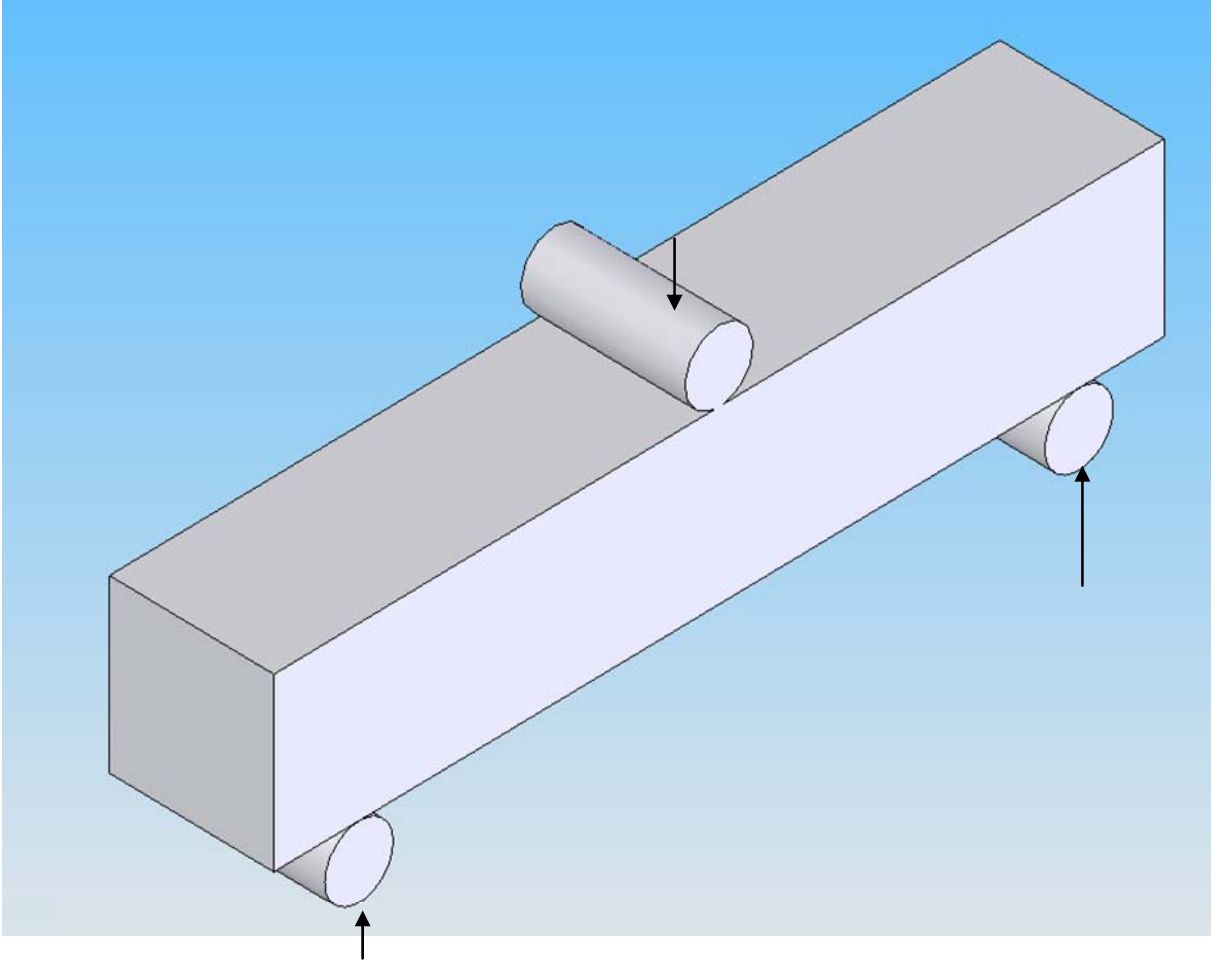
Çekme deneylerinin yapıldığı standart numune ve ölçüleri Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.3. Silindirik kesitli çekme deney numunesi ve ölçüleri

5.7. Eğme Deneyi

Alüminyum metal matriksli, % 5, % 10, % 15, % 20 ve % 25 oranlarında SiC ve Al_2O_3 takviyeli kompozit malzemelerin eğme deneyi; aşağıdaki standart numune ölçülerine uygun olarak hazırlanan numunelerle, 3-nokta eğme deneyi modunda gerçekleştirilmiştir. Kare kesitli standart numunelerin boyutları 12 x 12 x 65 mm biçimindedir. Şekil 5.4'te deney düzeneği ve numunenin resmi görülmektedir.



Şekil 5.4. Kare kesitli eğme deney numunesi ve düzeneği

BÖLÜM 6. DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME

6.1. Giriş

Toz metalürjisi yöntemiyle Al matriksli ve Al₂O₃ partikül takviyeli metal matriks kompozit üretilmiştir. Bunun için Al tozlarının içerisinde %0, 5, 10, 15, 20, 25 oranlarında Al₂O₃ ilave edilmiş ve yine alümina bilyalar ile bilyalı değirmende karıştırılmıştır. Elde edilen bu karışımlar 200, 300, 400, 500, 600 MPa basınçları altında preslenmiştir. Elde edilen bu numuneler sinterleme amacıyla atmosfer kontrollü(Ar atmosferi) yatay tüp fırınlarda 640°C sıcaklığında sinterlenmiştir. Elde edilen bu son ürünlerin geometrik yoğunlukları ve Arşimet prensibine göre yoğunlukları ölçülmüştür. Numunelerimiz daha sonra yüzey zımparalama ve parlatma işlemlerine tabi tutularak optik mikroskopta incelenebilecek hale getirilmiştir. Optik mikroskopta iç yapısı (partikül dağılımı, gözenekler vs.) incelenmiştir. Numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla önce Brinell sertlik deneyi ardından da basma deneyi yapılmıştır.

6.2. Al₂O₃ Takviyeli T/M Al Metal Matriks Kompozitlerinin Yoğunlaşma Davranışları

Bu çalışmada kompozit üretim tekniklerinden toz metalürjisi (T/M) yöntemi seçilmiştir. Yöntemin en önemli üstünlüğü, partikülün matriks toz metali ile istenen oranda karıştırılabilmesidir. Daha da önemlisi partiküllerin matriks içerisinde homojen dağılımını sağlamak diğer yöntemlere göre daha kolaydır. Alüminyum alaşımları düşük yoğunlukları ve düşük ergime derecelerinden dolayı endüstride çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Ancak Al alaşımlarının mekanik ve aşınma özellikleri istenen düzeyde değildir. Bu özelliklerini geliştirmek için Al matriks

içerisine sert seramik partiküller katarak başta sertlik ve aşınma özelliği olmak üzere çekme-basma ve eğme mukavemetleri geliştirilebilir.

Sert ve ülkemizde kolay temin edilebilen ortalama çapı 25 µm olan Al₂O₃ (alumina) partikülleri ortalama çapları 30 µm Al tozlarına katıldı ve alumina bilyeler yardımıyla karıştırıldı. Karıştırılan tozlar, presleme basıncının yoğunlaşmaya etkisini incelemek için farklı basınçlarda (200-600 MPa) sıkıştırıldı. Sıkıştırılmış numuneler atmosfer kontrollü fırında %8 hidrojen içeren argon atmosferinde 640°C de 1 saat süreyle sinterlendi. Sinterleme sonucu elde edilen kompozit numunelerin yoğunlukları ile relatif yoğunlukları Tablo 6.1’de birlikte verilmiştir. Tablo 6.1’de görüldüğü gibi sıkıştırma basıncı ve partikül oranı artışı Al kompozitlerin yoğunluklarını yükseltmektedir. Alüminanın yoğunluğunun alüminyumdan yüksek olması partikül artışındaki yoğunluk artışına sebep olurken toz karışımların sıkıştırma basıncı ile daha sıkı paketlenmesi yoğunluk artışına sebep olmuştur. Relatif yoğunluklar incelendiğinde ise % 80 - % 96 arasında değişen yoğunluk dağılımı elde edilmiştir. Takviyesiz malzemede % 96 RD ile nispeten yüksek bir yoğunluk elde edilirken % 25 Al₂O₃ takviyesi relatif yoğunluk değerlerini % 80'lere düşürmüştür. Bu durum sisteme girene partiküllerin alüminyum tozlarının sıkıştırma ve sinterleme engelleyerek azaltmasından kaynaklanmaktadır.

Benzer durum Şekil 6.1 ve 6.2’de görülmektedir. Şekil 6.1’de görüldüğü gibi kompozit içerisindeki takviye oranı arttıkça alüminanın yoğunluğuna bağlı olarak her sıkıştırma oranı için artmaktadır. Bununla birlikte Şekil 6.1’de görüldüğü gibi kompozitlerin relatif yoğunlukları takviye oranı arttıkça azalmaktadır. T/M malzemelerde % 90’nın üzerinde yoğunlaşma gösteren malzemeler mühendislik tasarımlarda uygulama alanı bulabilir. Bu nedenle Şekil 6.2’de görüldüğü gibi 200 ve 300 MPa sıkıştırmalarda elde edilen numunelerin yoğunlukları uygulama için yetersizdir. Geri kalan diğer yüksek basınçlarda üretilen kompozitlerin yoğunlukları her partikül oranında % 90’dan yüksek olduğu için uygulama alanı bulabilir.

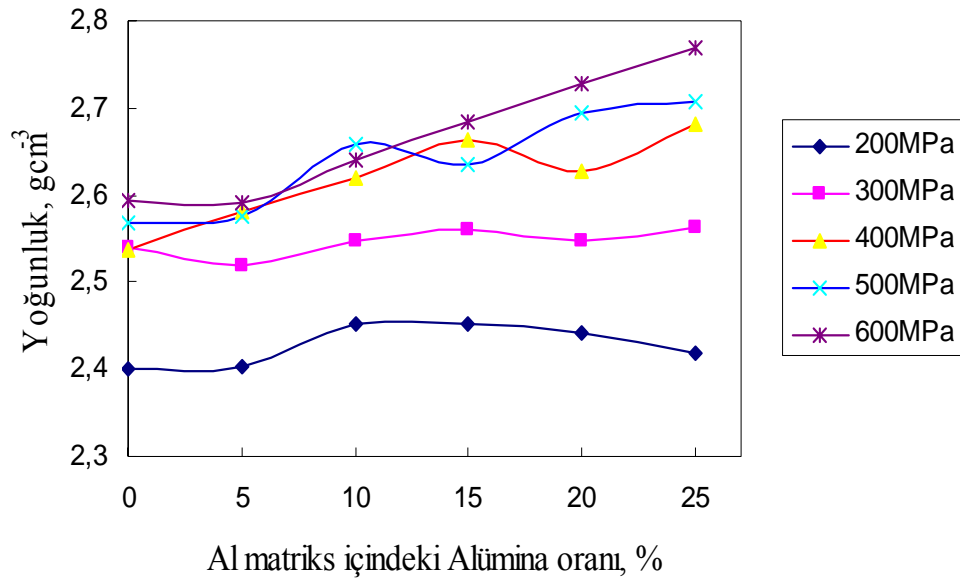
Sistemdeki partikül artışının relatif yoğunlukları düşürmesi partikül teması ile açıklanabilir. İdeal olan katılan partiküllerin hiç birbirine değmemesi hep aralında matriks metalini bulundurmalarıdır. Partiküllerin birbirlerine temas ihtimalleri

katılan takviye malzemesi oranına ve partikül metal toz tane boyutu oranına bağlıdır. Yüksek partikül oranı partikül temas ihtimalini artırırken büyük partikül boyutları partikül teması azaltır. Bu durum hangi tanelerin hangi tanenin yüzeyini çevrelediği ile ilişkilidir. Dolayısıyla yumuşak metal tanelerinin sert partikülleri çevrelemesi her zaman T/M kompozitlerde istenen bir durumdur. Bu da ancak küçük metal toz taneleri ve az partikül oranı ile sağlanabilir. Partiküller sıkıştırma sırasında plastik deformasyon göstermeyeceklerinden partikül-partikül temas artışı hem kalıntı gözenek oranını artıracak hem de sıkıştırma yükünün matriks metaline transferini önleyecektir. Bir başka deyişle uygulanan yüke birbirleriyle bir ağ şeklinde temas halinde bulunan sert partiküller karşılık vererek ve Al metal tozlarının plastik deformasyonunu azatlığından gözeneklerin yeterince kapanmasını önlemektedirler.

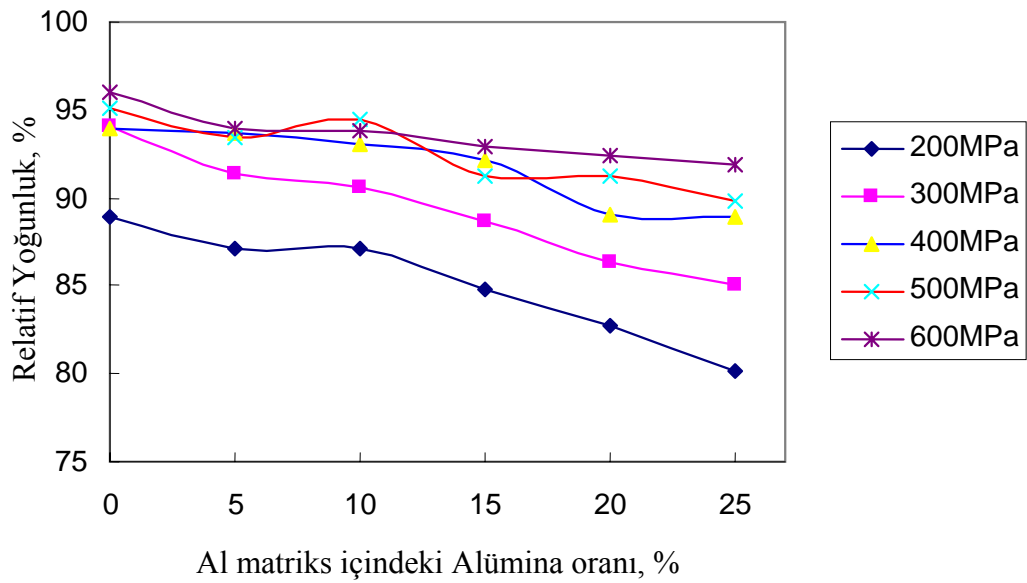
Tablo 6.1. Al₂O₃/Al T/M kompozitlerin yoğunluk basınca ve bileşime bağlı değişimleri

	%0		%5		%10		%15		%20		%25	
	D	R.D	d	R.D	d	R.D	d	R.D	d	R.D	d	R.D
200MPa	2,4	88,88	2,4028	87,14	2,4512	87,08	2,451	84,84	2,4428	82,75	2,4175	80,18
300MPa	2,54	94,07	2,518	91,31	2,5483	90,53	2,561	88,65	2,5472	86,29	2,5633	85,02
400MPa	2,5372	93,97	2,5818	93,63	2,6201	93,08	2,6636	92,20	2,6271	88,99	2,6811	88,92
500MPa	2,5693	95,16	2,5765	93,44	2,6594	94,47	2,6349	91,2	2,6949	91,29	2,7081	89,82
600MPa	2,5935	96,06	2,5905	93,94	2,6407	93,81	2,6838	92,9	2,7271	92,38	2,7701	91,88

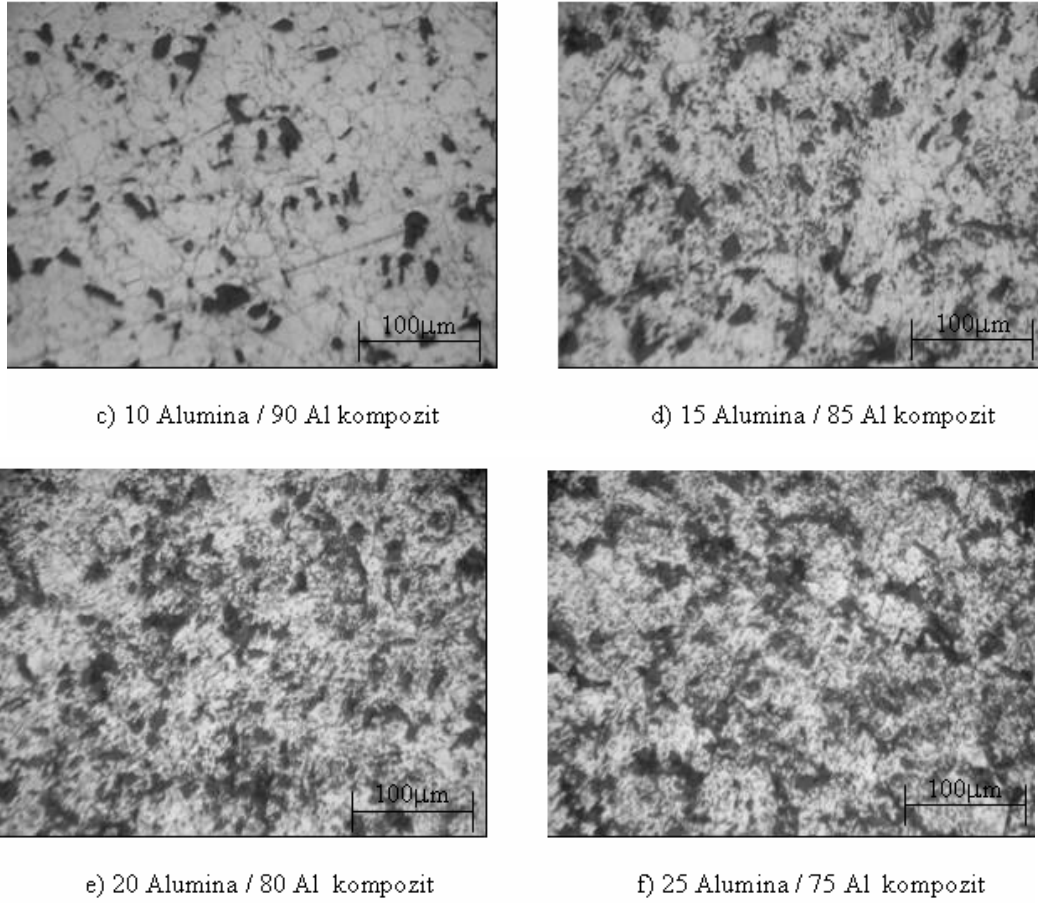
d: yoğunluk **R.D**: Relatif yoğunluk



Şekil 6.1. Al₂O₃/Al kompozitlerin partikül artışına göre yoğunluk değişimi



Şekil 6.2. Al₂O₃/Al kompozitlerin partikül artışına göre relatif yoğunluk değişimi



Şekil 6.3. 600 MPa basınçta sıkıştırılmış ve 640°C de %8 H içeren Argon gazı altında sinterlenmiş numunelerin ağırlıkça farklı partikül oranlarındaki optik mikroskop görüntüleri

Şekil 6.3(a)-(e)' de farklı partikül oranlarında üretilmiş Al_2O_3/Al kompozitlerinin optik mikroskopta çekilmiş mikro yapı fotoğrafları görülmektedir. Tablo 6.1' de belirtildiği gibi artan partikül oranı ile Al kompozitlerinin yoğunluk değerleri düşmektedir. Şekil 6.3'te takviyesiz T/M alüminyumun içyapısı görülmektedir. Dağlama yapılmamasına karşın sinterlenmiş numunede tane sınırları belirgin olarak görülmektedir. Bu durum alüminyum tanelerinin üretim sırasında gelen yüzey oksitlerinden kaynaklanmaktadır. Yüzey oksitlerine rağmen kısmen indirgeyici atmosfer sayesinde sinterleme başarıyla gerçekleştirilmiş ve % 96 relatif yoğunluk elde edilmiştir. İhmal edilebilir düzeyde gözenek kalmıştır. Partikül oranı arttıkça relatif yoğunluk düşmekte ve dolayısı ile gözeneklilik artmaktadır. Dikkat çeken bir başka durum alümina tanelerinin sinterleme sonrası formunu koruyamadığı küçük tanelere ayrıldığı tespit edilmiştir. Özellikle yüksek partikül oranlarında (Şekil 6.3 d

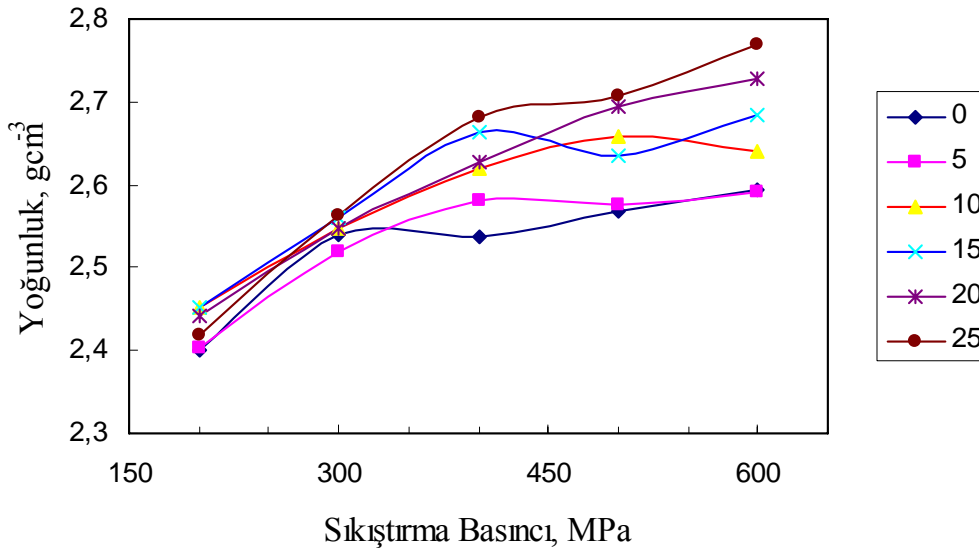
ve e) küçük tanecikler daha belirgin olarak gözlenmektedir. Alümina tanelerinin karıştırma sırasında sürtünme ve darbe, sıkıştırma sırasında mekanik zorlama ve sürtünme sinterleme sırasında termal şok ve kimyasal reaksiyon alümina seramik partiküllerini parçalamış olabilir. Özellikle alümina partiküllerinin içyapısında muhtemel safsızlıkların bulunması ve yüksek sinterleme sıcaklığında alüminyum metali bu safsızlıkları çözerek partikülleri parçaladığı düşünülmektedir. Ayrıca plastik deformasyona uğrayan Al taneleri yeniden kristalleşirken ve aynı zamanda difüzyon mekanizmaları yoluyla birbirlerine bağlanırken bu parçalanmış tanecikleri tane sınırlarından içeri aldığı gözlenmektedir.

Partiküllerin tane sınırlarında bir şekilde parçalanıp tane içlerine hareketi aslında avantajlı bir durumdur. Yapıya ikinci ve daha küçük tanelerin homojen dağılmasını sağlamaktadır. Bu durum Demir ve arkadaşlarının [32] yaptığı bir çalışmada iki farklı partikül ile sağlanmış ve aşınma özelliklerine olumlu etkisi gözlenmiştir. Bu çalışmada ise monolitik partikül ilavesi ile bi-modal partikül dağılımı sağlanabilmiştir. Büyük partiküller kompozitin aşınmasını geciktirirken küçük partiküller matriks aşınmasını geciktirmektedir. Dolayısıyla matriks aşınması geciken kompozitin partiküllerinin yoğun bir abrasif aşınmaya maruz kalması önlenmiş olur. Aşınma şartlarında aşınma kaybı azalarak malzemenin kullanım ömrü artmaktadır.

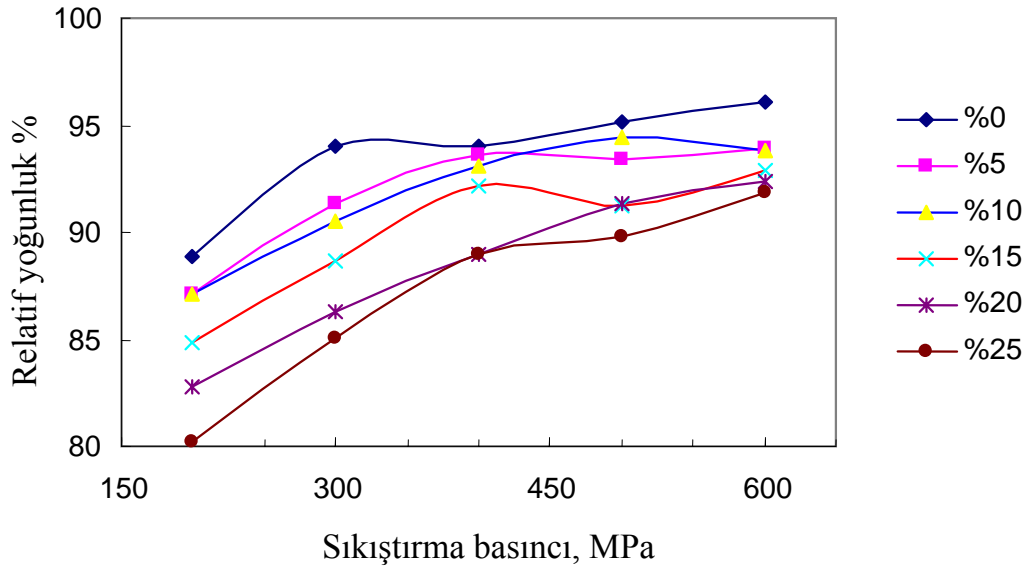
Şekil 6.4–6.6’da üretilen kompozitlerin sıkıştırma basıncına bağlı yoğunlaşma davranışları gözlenmektedir. Şekil 6.4’teki grafik incelendiğinde tüm numuneler için yoğunluk artışının sıkıştırma basıncı artışı ile olarak yükseldiği açıkça görülmektedir. 400 MPa sıkıştırma basıncına kadar uygulanan basınçlar hızlı bir yoğunlaşma etkisi gösterirken 400-600 MPa arası basıncın yoğunlaşmaya etkisi azalmıştır. Bu durum özellikle Şekil 6.5’teki sıkıştırma basıncı-relatif yoğunluk grafiğinde daha belirgin olarak görülmektedir. Dolayısıyla yüksek basınçlar yoğunlaşmaya etkisi olmakla birlikte basıncın daha fazla artırılması çok fazla yoğunlaşmaya katkı sağlamayacağı söylenebilir. Ancak % 95 yoğunlukların üzerindeki yoğunluklarda az bir artış veya gözeneklilikteki az bir azalma mekanik özellikleri fazlasıyla iyileştirmektedir.

Şekil 6.6’da %15 Al₂O₃ içeren Al matriks kompozitlerin mikro yapı görüntüleri basınç artışına göre sıralanmıştır. Bu iç yapı görüntülerinde, partikül dağılımının yanı

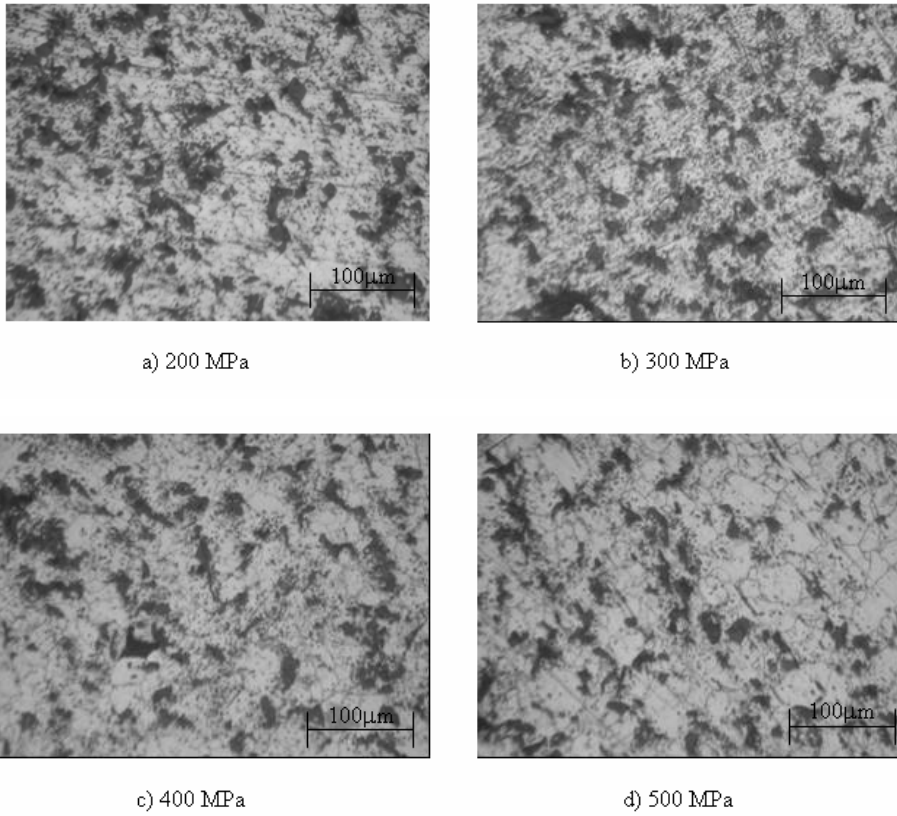
sıra gözenek dağılımının da basınç artışına göre incelenmesi düşünülmüştür. Ancak beklenen gözeneklilik değişimi bu mikro yapı görüntülerinde gözlenmemiştir. Tablo 6.1 ve Şekil 6.5'deki relatif yoğunluk değerleri sıkıştırma basıncına göre hissedilir şekilde artmasına karşın, mikro yapı görüntülerinde artan basıncın azalan gözeneklilik olarak yansması tam olarak tespit edilememiştir. Sadece 200 ve 300 MPa basınçta sıkıştırılan numunelerde gözeneklere rastlanırken daha yüksek basınçlarda sıkıştırılan numunelerde gözeneklilik tam olarak gözlenmemiştir. Bu durum mikro ve makro gözeneklerin oluşmasıyla veya partiküller arası matriks bulunmayan bölgelerin bulunmasıyla açıklanabilir. Az sayıda bulunan makro gözenekler 300x büyütme karesinin dışında bulunurken, mikro gözeneklerin bu büyütme oranında görüntülenemediği düşünülmektedir. Diğer dikkat çeken bir durum takviyesiz alaşımlarda (Şekil 6.2a) tane sınırları çok belirgin iken takviyeli alaşımlarda tane sınırlarının azaldığı ve belirsizleştiği gözlenmiştir. Takviye malzemelerinin sıkıştırma sırasında partikül yüzeylerini tahrip ederek oksitsiz temiz yüzeylerinin açığa çıkmasını sağlayarak tanelerin hacim difüzyonuna engel olan yüzey oksitlerini azaltır ve sinterleme sırasında partikülleri taneler içine alarak sintelenirler.



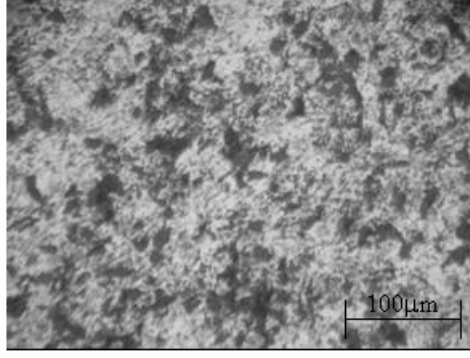
Şekil 6.4. Sıkıştırma basıncı artışına göre Al kompozitlerin yoğunluk değişimi



Şekil 6.5. Sıkıştırma basıncına göre Al kompozitlerin relatif yoğunluk değişimi



Şekil 6.6. 640°C de %8 H içeren Argon gazı altında sinterlenmiş %15 Al₂O₃/Al kompozitlerinde sıkıştırma basıncının mikro yapıya etkisi



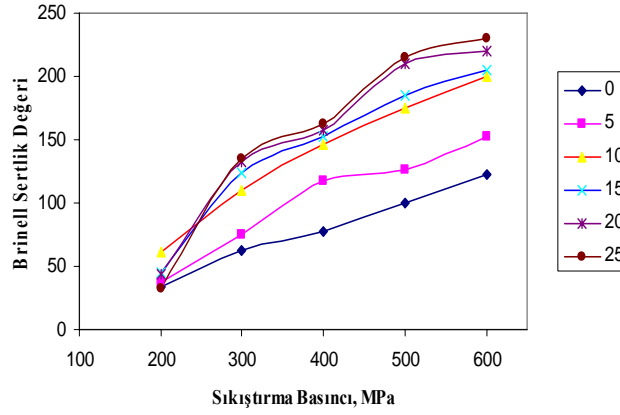
e) 600 MPa

Şekil 6.6. Devam

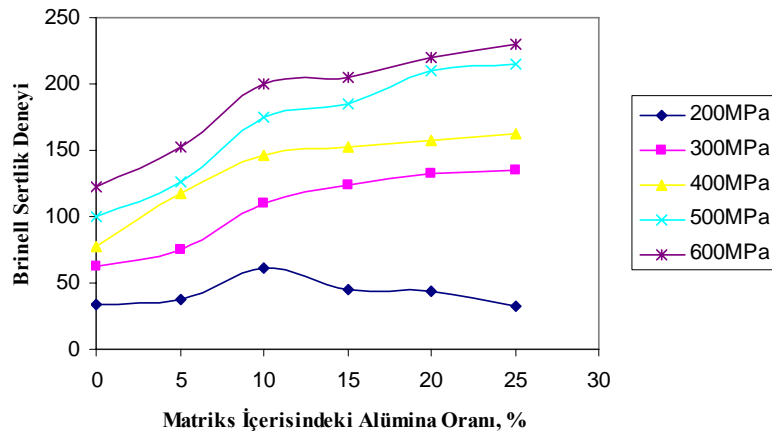
6.3. Alüminyum Metal Matriks Kompozitlerin Sertlik Sonuçları

Üretilen kompozitlerin sertlik değerleri Brinell sertlik cihazı ile 62.5 kg yük altında 2.5 mm bilye ile ölçülmüştür. Sonuçlar Şekil 6.7’de basınç artışına göre Şekil 6.8’de ise partikül artışına göre Brinell sertlik değerinde ki değişimler görülmektedir. Her iki parametre de sertlik değerini önemli ölçüde artırırken basıncını sertlik değerine etkisi daha dominanttır. 200 MPa sıkıştırma basıncında üretilen hiçbir numune önemli brinell sertlik değeri göstermemiş ve bütün partikül oranları için 50 BSD nin altında sonuç elde edilmiştir Basıncın 200 MPa dan 300 MPa çıkması ile düşük partikül oranlarında az bir artış gözlenirken % 25 partikül içeren kompozitte sertlik değeri adeta sıçrama göstermiş ve 138 BSD değerine ulaşmıştır. % 10 alümina partikül içeren Al kompozitte 600 MPa basınçta 150 BSD değerine ulaşılırken, % 25 alumina partikül içeren Al kompozitte aynı basınçta 230 BSD değerine ulaşmıştır. Bu değer bilinen alüminyum alaşımlarının en az iki katı değerinde bir sertlik artışıdır. Bu nedenle bu çalışmada partikül ilavesiyle gözenekliliğe rağmen beklenenin üzerinde bir sertlik artışı elde edilmesi başarılmıştır. Şekil 6.6’da da benzer sonuçlar sergilenmektedir. Her basınçta partikül oranında artış paralel olarak sertlik değerlerinde de artış gözlenmesine rağmen 200 MPa basınç değerlerinde düşüş gözlenmektedir. Bu sonuca göre de 200 MPa sıkıştırma basıncı çok fazla gözenek bırakıp yoğunluk ve buna bağlı sertlik değerlerini düşürmesinden dolayı T/M kompozitlerin üretiminde kullanılamaz. Tüm sonuçlar 400 MPa ve üzeri sıkıştırma

basınçlarında % 15 partikül oranında üretilen Al metal matriks kompozitlerin parça imalatında kullanılabileceği söylenebilir.



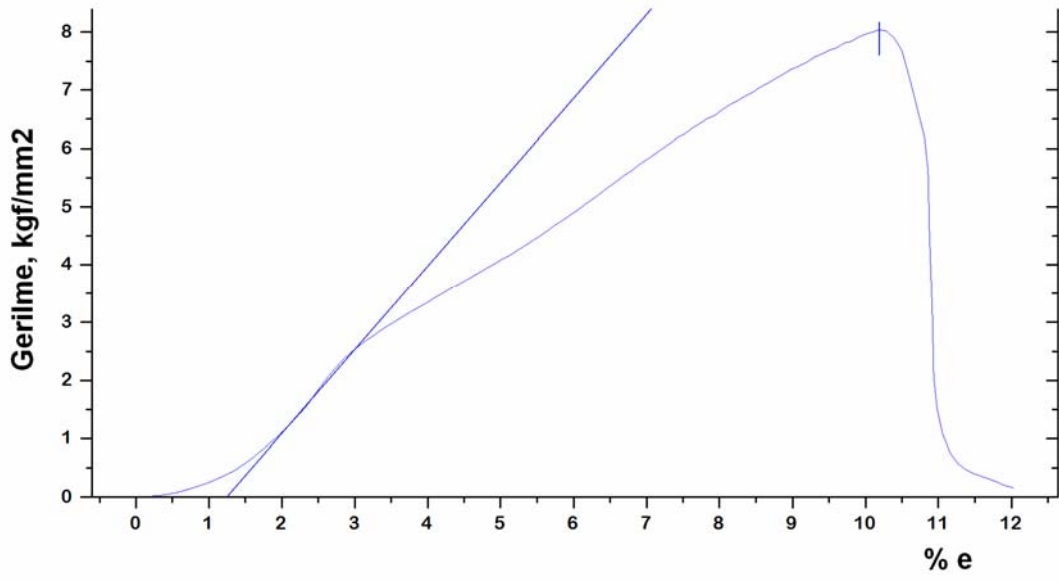
Şekil 6.7. Sıkıştırma basıncı ile brinell sertlik değeri arasındaki ilişki



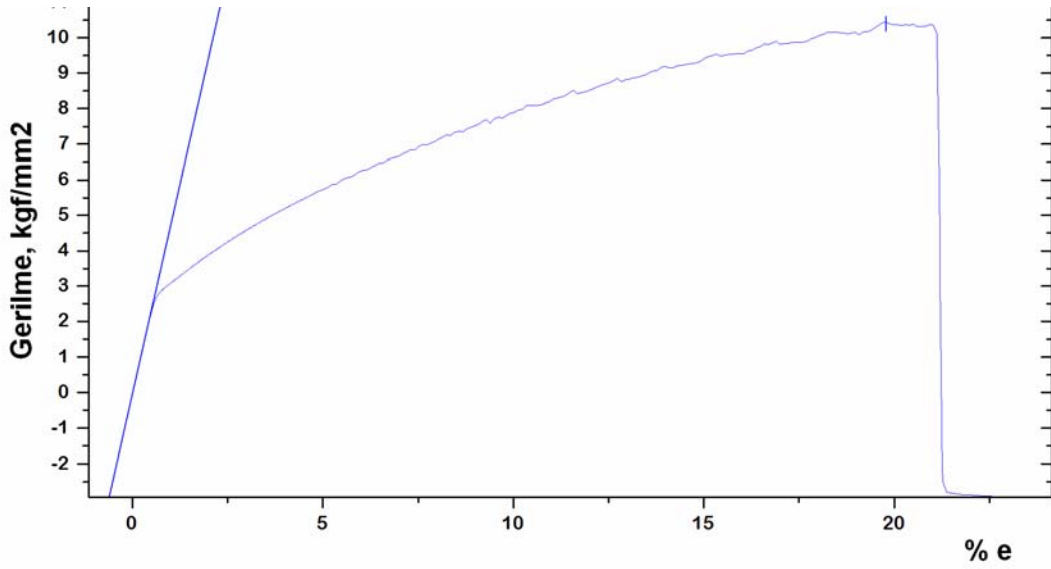
Şekil 6.8. Matriks içindeki yüzde alümina oranı ile brinell sertlik değeri arasındaki ilişki

6.4. Alüminyum Metal Matriks Kompozitlerin Çekme Deneyi Sonuçları

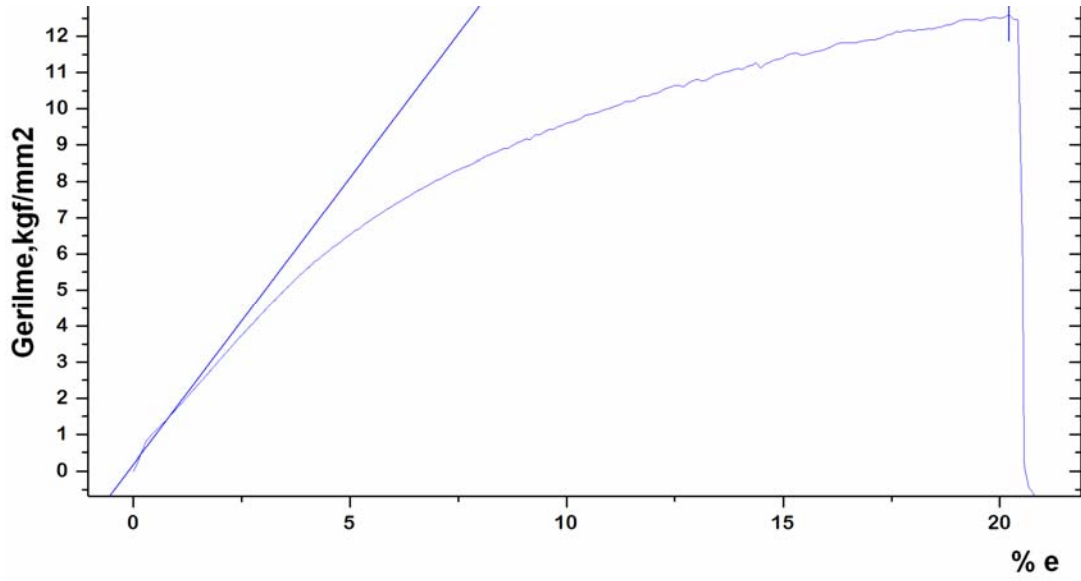
Al_2O_3 ve SiC katkılı alüminyum metal matriksli kompozit malzemelerle yatay konumda çalışan çekme cihazıyla yapılan çekme deneylerine ait çizilen grafikler ve deney sonuçları aşağıda verilmiştir.



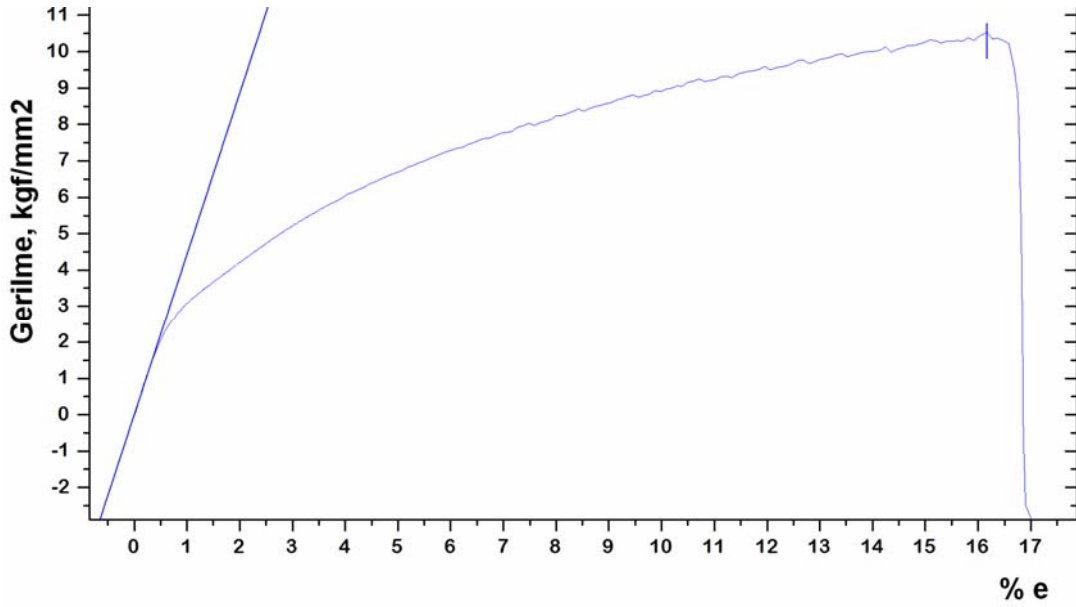
Şekil 6.9. Saf Al matrisli numune ile yapılan çekme deneyine ait çizilen gerilme(σ) -%e grafiği. Soldaki eğri “gerçek σ -gerçek e” grafiğidir.



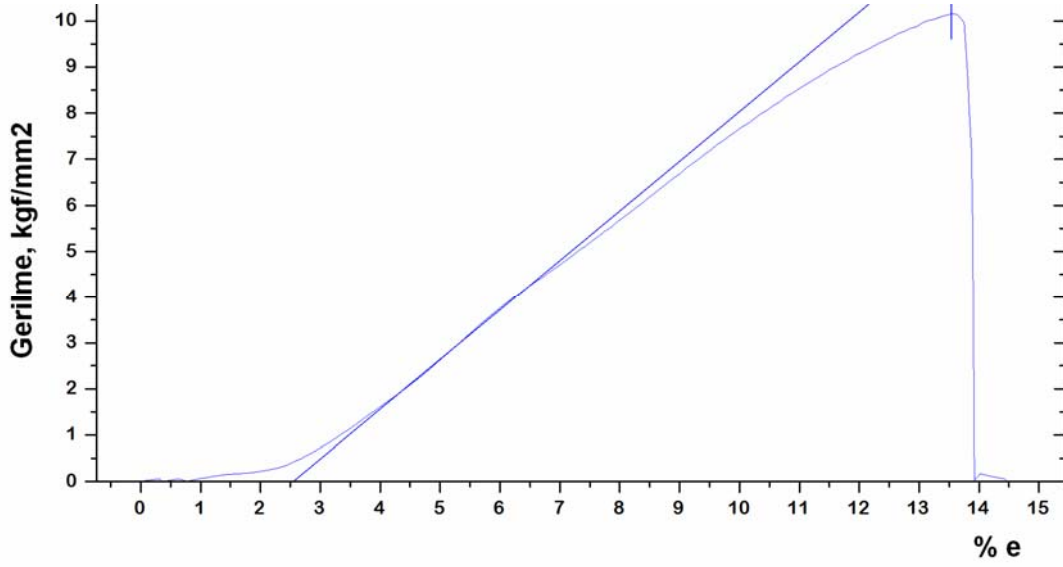
Şekil 6.10. Al matrisli numune + %5 SiC katkıli numunelerle yapılan çekme deneyine ait çizilen gerilme(σ) -%e grafiği. Soldaki eğri “gerçek σ -gerçek e” grafiğidir.



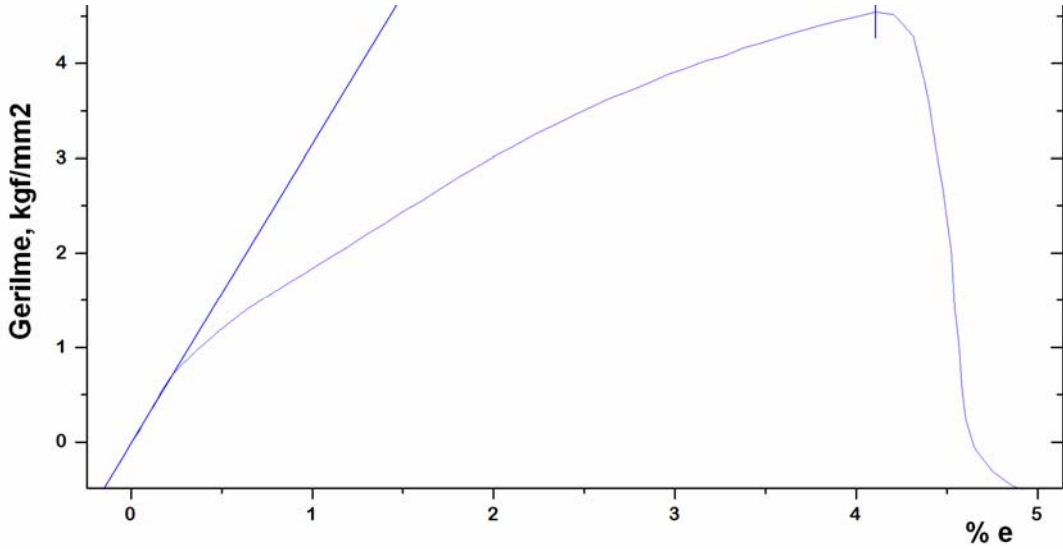
Şekil 6.11. Al matrisli numune + % 10 SiC katkılı numunelerle yapılan çekme deneyine ait çizilen gerilme(σ) -%e grafiği. Soldaki eğri “gerçek σ -gerçek e” grafiğidir.



Şekil 6.12. Al matrisli numune + % 15 SiC katkılı numunelerle yapılan çekme deneyine ait çizilen gerilme(σ) -%e grafiği. Soldaki eğri “gerçek σ -gerçek e” grafiğidir.



Şekil 6.13. Al matriksli numune + % 20 SiC katkılı numunelerle yapılan çekme deneyine ait çizilen gerilme(σ) -%e grafiği. Soldaki eğri “gerçek σ -gerçek e” grafiğidir.



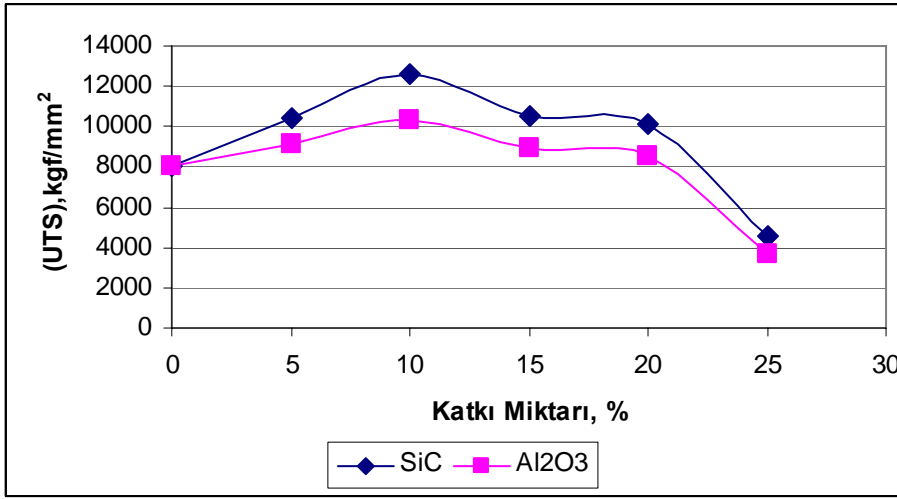
Şekil 6.14. Al matriksli numune + % 25 SiC katkılı numunelerle yapılan çekme deneyine ait çizilen gerilme(σ) -%e grafiği. Soldaki eğri “gerçek σ -gerçek e” grafiğidir.

Aynı çekme deneyleri %5, %10, %15, %20 ve %25 Al₂O₃ içeren numunelerle de yapılmıştır. Bu deneyler her bir numune için 2 deney yapıp ortalaması alınmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bütün sonuçlar Tablo 6.2’de toplu halde verilmiştir.

Tablo 6.2. Çekme deneyinde kullanılan numuneler ve elde edilen sonuçlar

Numuneler	σ_{UTS} (max. gerilme), (MPa)	E (Young Modülü), kgf/mm²
Saf Al	80,44	144,278
% 5 SiC	104,57	473,893
% 10 SiC	126,01	158,355
%15 SiC	105,37	443,664
%20 SiC	101,61	107,855
%25 SiC	45,44	316,004
% 5 Al₂O₃	91,00	464,000
% 10 Al₂O₃	103,40	201,029
% 15 Al₂O₃	89,05	389,090
% 20 Al₂O₃	85,00	112,500
% 25 Al₂O₃	36,51	300,560

Bu sonuçlara göre SiC ve Al₂O₃ katkılı numunelerle yapılan çekme deneyleri sonucu bulunan “maksimum çekme gerilmesi (σ_{UTS})- % katkı oranı” grafiği karşılaştırmalı olarak Şekil 6.15’te verilmiştir.



Şekil 6.15. Farklı katkı miktarlarında bulunan σ_{UTS} değerleri

Şekil 6.15'e bakıldığında hiç katkısız, saf Al numunenin maksimum çekme gerilmesi değerinin 8044 kgf/mm^2 olduğu görülür. %5 SiC ilave edilmiş numunelerle yapılan çekme deneyi sonuçlarına göre bu değer 10457 kgf/mm^2 ve %10 SiC'lü numunelerde ise 12601 kgf/mm^2 değerine yükselir. SiC takviyesinin miktarı artırılıp %15'e çıkarıldığında ise σ_{UTS} değeri 10537 kgf/mm^2 , %20 SiC ve %25 SiC takviyeli numunelerde de sırasıyla 10161 kgf/mm^2 ve 4544 kgf/mm^2 değerlerine düşmektedir.

Benzer durum alümina (Al_2O_3) takviyeli numunelerde de görülmektedir. Saf alüminyumlu numunenin maksimum çekme gerilmesi 8044 kgf/mm^2 iken artan katkı Al_2O_3 miktarıyla %5 ve %10 Al_2O_3 içeren numunelerde sırasıyla 9100 kgf/mm^2 ve 10340 kgf/mm^2 değerlerine çıkmıştır. SiC takviyeli kompozit numunelerde de görüldüğü üzere %10 Al_2O_3 içeriğinden sonra katkı miktarı artırılrsa bile maksimum çekme mukavemetinde (σ_{UTS}) azalma görülmüştür. %15, %20 ve %25 Al_2O_3 ilaveli kompozit numunelerin σ_{UTS} değerleri sırasıyla 8905 kgf/mm^2 , 8500 kgf/mm^2 ve 3651 kgf/mm^2 değerlerine düşmektedir.

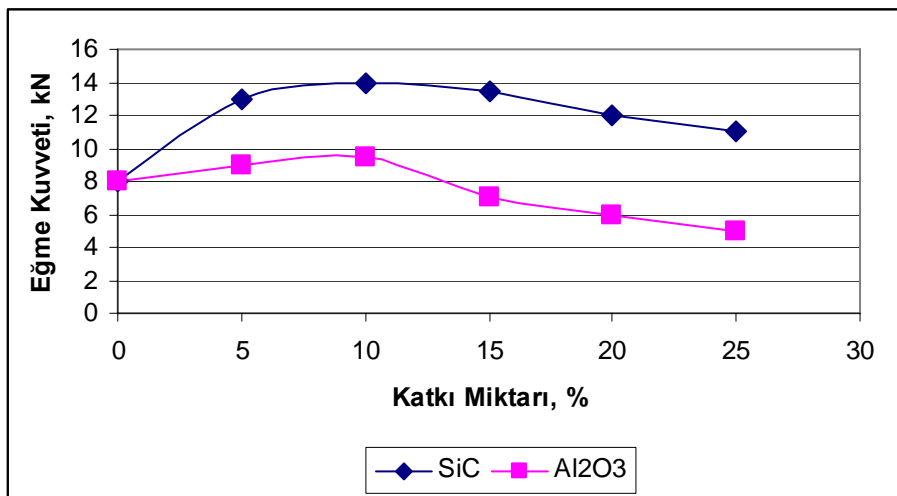
6.5. Alüminyum Metal Matriks Kompozitlerin Eğme Deneyi Sonuçları

Saf Al + %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında SiC ve Al₂O₃ katkı içeren numunelerle Şekil 5.X 'de belirtilen biçimde standart numuneler hazırlanarak 3-nokta eğme deneyi yapılmış ve sonuçlar aşağıda Tablo 6.3'te verilmiştir.

Tablo 6.3. Üç-nokta eğme deneyinde kullanılan numuneler ve elde edilen sonuçlar

Numune	F _{eğme} , kN (SiC)	F _{eğme} , kN (Al ₂ O ₃)
Saf Al	8	8
% 5	13	9
% 10	14	9,2
%15	13,5	7
% 20	12	6
% 25	11	5

SiC ve Al₂O₃ takviyeli kompozit numunelerle yapılan 3-nokta eğme deneyi sonuçlarına göre “eğme kuvveti (F_{eğme}) - % katkı miktarı” grafiği karşılaştırmalı olarak Şekil 6.16'da verilmektedir.



Şekil 6.16. Farklı katkı miktarlarında bulunan F_{eğme} değerleri

SiC ve Al₂O₃ katkılı metal matriksli kompozit numunelerle yapılan 3-nokta eğme deneyi sonuçlarına bakıldığında çekme deneyi sonuçlarında rastlanan durumla bir benzerlik göze çarpmaktadır. Numunelerin eğme kuvveti (F_{eğme}) % 10 katkı miktarına kadar artmakta, daha sonra katkı miktarı arttıkça eğme kuvveti azalmaktadır.

Saf Al malzemenin eğme kuvveti 8 kN olarak bulunmuştur. SiC takviyeli Al matriksli kompozit numunelerde katkı miktarı % 5 ve %10'a yükseldikçe F_{eğme} de 13 kN ve 14 kN'a yükselmektedir. Fakat bu noktadan sonra düşüşe geçmekte ve % 15, % 20 ve % 25 SiC takviyeli numunelerde sırasıyla 13,5 kN, 12 kN ve 11 kN değerlerine gerilemektedir.

Benzer durum Al₂O₃ takviyeli numunelerde de söz konusudur. Saf Alüminyumlu numunenin 8 kN olan eğme kuvveti, % 5 ve % 10 Al₂O₃ içeren malzemelerde 9 kN ve 9,2 kN'a yüksekmekte; bu değerden sonra mukavemet (tıpkı aynı numunelerin maksimum çekme gerilmelerinin düştüğü gibi) düşmeye başlamakta ve % 15, % 20 ve % 25 Al₂O₃ içeren alaşımlarda sırasıyla 7 kN, 6 kN ve 5 kN değerlerine gerilemektedir.

BÖLÜM 7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Düşük yoğunlukları ve düşük ergime derecelerinden dolayı endüstride çok çeşitli alanları bulan alüminyum alaşımlarının, mekanik özellikleri ve aşınma davranışları istenen düzeyde olmadığından dolayı bu özelliklerini geliştirmek için matriks içerisine yüksek mekanik özellikli alümina partikülleri toz metalurjisi yöntemiyle ilave ederek başta sertlik ve aşınma, çekme-basma gibi mekanik özelliklerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Üretilen numunelerin yoğunluk değerleri sıkıştırma basıncı ve partikül oranı artışı Al kompozitlerin yoğunluklarını yükseltmektedir. Alüminanın yoğunluğunun alüminyumdan yüksek olması partikül artışıdaki yoğunluk artışına sebep olurken toz karışımların sıkıştırma basıncı ile daha sıkı paketlenmesi yoğunluk artışına sebep olmuştur. Sistemdeki partikül artışının relatif yoğunlukları düşürmesi partikül temasından kaynaklanmaktadır. Partiküller sıkıştırma sırasında plastik deformasyon göstermeyeceklerinden partikül-partikül temas artışı hem kalıntı gözenek artışına sebep olmakta hem de sıkıştırma yükünün matriks metaline transferini önlemektedir.

Numunelerin mikro yapı görüntülerinde görüldüğü gibi, saf malzemelerde üretimden gelen yüzey oksitleri sebebiyle tane sınırlarının belirgin olduğu fakat genel olarak bakıldığında %96'lara varan relatif yoğunluk elde edilmiştir. İhmal edilebilir düzeyde gözenek kalmıştır. Mikro yapı resimlerinde alümina partikül miktarı arttıkça mikro yapıya dağılmış küçük partiküllerin arttığı görülmektedir. Bu durumda büyük partiküller kompozitin aşınmasını geciktirirken küçük partiküller matriks aşınmasını geciktirmesi sebebiyle avantaj olarak kabul edilmektedir. Üretilen kompozitlerin sertlik değerleri Brinell sertlik cihazı ile 62.5kg yük altında 2.5mm bilye ile ölçülmesiyle 200 MPa gibi düşük basınçlarda kompozit malzemelerden beklenen sonuçlar elde edilemediği fakat basınç ve alümina takviye miktarının artışıyla sertliğin doğrusal olarak arttığı görülmektedir.

Alüminyum metal matriksli, % 5, % 10, % 15, % 20 ve % 25 oranlarında SiC ve Al₂O₃ takviyeli kompozit malzemelerin çekme deneyi sonuçlarına bakıldığında 8044 kgf/mm² olan takviyesiz, saf alüminyum numunelerin maksimum çekme gerilmesi, σ_{UTS} değerlerinin her iki farklı takviye elemanı için de % 10 değerine kadar arttığı; fakat bu değerden sonra artan katkı miktarıyla birlikte azalmaya başladığı görülmüştür. % 25 SiC ve Al₂O₃ numunelerinde σ_{UTS} sırasıyla 4544 kgf/mm² ve 3651 kgf/mm² değerlerine kadar düşmektedir.

Alüminyum metal matriksli, % 5, % 10, % 15, % 20 ve % 25 oranlarında SiC ve Al₂O₃ takviyeli kompozit malzemelerin 3-nokta eğme deneyi sonuçlarına bakıldığında 8 kN olan takviyesiz, saf alüminyum numunelerin eğme kuvveti, $F_{eğme}$ değerinin her iki farklı takviye elemanı için de % 10 değerine kadar yükseldiği; fakat bu orandan sonra artan katkı miktarıyla düştüğü gözlenmiştir. Burada SiC için durum daha iyidir. % 25 SiC katkılı numunelerin eğme kuvveti düşmesine rağmen 11 kN değerine gerilemiştir ki bu değer yine de hiç katkısız, saf Alüminyumun eğme kuvveti olan 8 kN'dan daha yüksektir. Al metal matriksli kompozit malzemelerin eğme mukavemetlerini artırmada "SiC" takviye başarıyla kullanılabilir. Yine de ideal içerik % 10 SiC katkısıdır. Bununla beraber alümina (Al₂O₃) takviyeli kompozit malzemelerde ise % 10 Al₂O₃ içeriğine kadar eğme kuvveti 8 kN'dan 9,2 kN'a kadar artırılabilen fakat % 25 Al₂O₃ ilaveli numunelerde 5 kN'luk değerle saf alüminyumun bile altına inilmekte, eğme mukavemeti çok düşmektedir. SiC takviyeli Al-matriksli kompozit üretmek daha uygundur. Al₂O₃ takviye ancak % 10'luk Al₂O₃ içeriğine kadar elverişli olabilir.

KAYNAKLAR

- [1] ERKALFA, H., BAYKARA, T., ÖZKAN, O.T.,”Silicon Carbide and Alumina Composite “Ceramics for Ceramic Foam Filters”, High performances Ceramics, Inter ceramics, Vol.49,No.3,pp,170, 2000
- [2] CÖCEN,Ü.,ÖNEL,K.Ç,”Metal Matriks Kompozitler”, Metalurji Dergisi, s.104, Ekim, 1996.
- [3] SMITH F. W., Çeviri: ERDOĞAN M., University Of Central Florida, Mühendislik Alaşımının Yapı ve Özellikleri Demir Dışı Alaşımalar Cilt:2 ANKARA Ekim 2001, Nobel.
- [4] WOLFGANG WEISSBACH , Malzeme Bilgisi ve Muayenesi 2000, İstanbul Birsen Yayınevi.
- [5] www.afsa.co.za/technical/introtoaluminium.html
- [6] ROBERTS S.G. Aluminium Alloys Engineering “C” High Performance Alloys, 2000.
- [7] ASM Handbook Vol. 2 Chapter 1, s:65-68-172.
- [8] ASTM HANDBOOK Vol. 2 Chapter 1, s:8
- [9] STUBBINGTON C..A., “Materials Trends in Military Airframes”, Metals and Materials, 1988,p.424.
- [10] ASTM HANDBOOK Vol. 3 Chapter 2.,s.52.
- [11] EJIÖFOR J. U. and REDDY R.G. “Developments in The Processing and Properties of Particulate Al-Si Composites”,JOM p.31-37,1997.
- [12] www.kutuphanem.net
- [13] www.mpif.org
- [14] BAKSAN, B., GÜRLER, R., “Toz Metalurjisinin Savunma Sanayiinde Uygulanması”, Osmangazi Üniversitesi, Metalurji Enstitüsü.
- [15] web.sakarya.edu.tr/~aokurt/dersler/toz_dersnotu.pdf
- [16] www.turktoz.gazi.edu.tr

- [17] SARITAŞ, S., “Toz Metalurjisi Genel Bilgiler ve Tanımlar”
- [18] ASLANOĞLU, Z., “Toz Hazırlama Yöntemleri W₆₅ Ag₃₅ Elektrik Kontaklarının Üretim Süreçlerine Etkilerinin İncelenmesi”, Sakarya Üniversitesi 1998
- [19] DEMİRKESEN E., Kompozit Malzemeler, İ. T. Ü. Kimya Fakültesi, 1. baskı 1991, s. 1-5.
- [20] KAYALI, E.S., ENSARI, C., DIKEÇ, F., “Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri” İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi, İSTANBUL 1996
- [21] ALTINKÖK, N., “Otomotiv Sektöründe Kullanılan Al₂O₃ ve SiC Partikül Destekli Metal Matriks Kompozit Üretimi ve Mekanik Davranışlarının İncelenmesi” Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya, 2002
- [22] ASM HANDBOOK, Volume 21. Composites.
- [23] SURESH, K.R., NIRANJAN, H.B., JEBARAJ, P.M., CHOWDIAH M.P. ”Tensile and wear properties of aluminium composites” Wear 255(2003) 638-642.
- [24] HUNT W. H., Jr., “Automotive Applications of Metal-Matrix Composites” Aluminum Consultants Group, Inc. Daniel B. Miracle, Air Force Research Laboratory.
- [25] KURNAZ S.C., “Alümina Fiber Takviyeli Çinko-Alüminyum Metal Matrisli Kompozitlerin Basınçlı Döküm Yöntemi ile Üretilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Malzeme Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, 1999.
- [26] Aluminium Metal Matrix Composites Consortium, Technologies Research Corporation a Subsidiary of the National Center For Manufacturing Sciences 3025 Boardwalk Drive An Arbor, Michigan 48108 USA.
- [27] ŞAHİN Y., Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Kitabevi, Ankara, 2000.
- [28] ILGAZ U. “Seramik Partikül Takviyeli Al-Si Esaslı Metal Matriksli Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri” İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 1997.
- [29] YARALI Y. , “SiC takviyeli MMK Malzemelerinin Aşınma Davranışları” Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı Lisans Tezi, , 2000.

- [30] AKBULUT H. “Alümina Fiber Takviyeli Al-Si Metal Matrisli kompozitlerin Üretimi ve Mikroyapı Özellik İlişkilerinin İncelenmesi” İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Mühendisliği Malzeme Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, 1994.
- [31] ASM Handbook Cast Metal-Matrix Composites Vol:8 Casting p:840-853.
- [32] ŞEVIK, H.,“Alümina Partikül Takviyeli Al-Si Esaslı Kompozitlerin Basınçlı Döküm Yöntemi İle Üretilmesi Ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004.
- [33] DEMİR A., ALTINKÖK, N., FINDIK, F. AND OZSERT, I., “The wear behaviours of dual ceramic particles (Al_2O_3/SiC) reinforced aluminium metal matrix composites”, *Key Engineering Materials*, V. 266, .1079-1082, 2004

ÖZGEÇMİŞ

F.Alpaslan EKERER 23.05.1978'de Çorum Osmancık'ta doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Sakarya'da tamamladı. 1996 yılında Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Öğretmenliği Bölümünde başladığı eğitimini 2000 yılında tamamladı. 2001 yılında Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Bölümünde Yüksek Lisans çalışmalarına başladı. 2005 yılında Sakarya Emniyet Müdürlüğünde Polis Memuru olarak göreve başladı.