

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UÇUCU KÜL DOLGULU ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİT
MALZEMELERİN OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANIMI**

ONUR YAKINLAR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MALZEME PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. AHMET TOPUZ**

İSTANBUL, 2011

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UÇUCU KÜL DOLGULU ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİT
MALZEMELERİN OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANIMI**

ONUR YAKINLAR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MALZEME PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. AHMET TOPUZ**

İSTANBUL, 2011

ÖNSÖZ

Proje çalışmalarım boyunca ihtiyacım olan tüm desteği benden esirgemeyen proje danışmanım Sayın Prof. Dr. Ahmet TOPUZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneyisel çalışma boyunca yardımlarından dolayı Arş. Gör. Alptekin KISASÖZ'e, Arş. Gör. Kerem Altuğ GÜLER'e, Toz Metal A.Ş.'ye ve Ayba Çelik'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Hayatım boyunca desteklerini benden eksik etmeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs, 2011

Onur YAKINLAR

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	ixi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xii
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı.....	1
1.3 Hipotez	1
BÖLÜM 2.....	2
METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER.....	2
2.1 Takviye Elemanları	3
2.1.1 Alümina (Al_2O_3)	3
2.1.2 Silisyum Karbür (SiC).....	3
2.1.3 Bor	4
2.1.4 Karbon Fiber.....	4
2.1.5 Titanyum Karbür (TiC)	4
2.2 Matris ve Takviye Elemanı Ara Yüzeyi.....	4
2.3 İslatma Kabiliyeti	5
2.4 Kimyasal Bağ	6
2.5 MMK Malzemelerinin Özellikleri ve Hesaplamaları.....	6
2.6 MMK Malzemelerin Üretim Yöntemleri.....	7
2.6.1 Katı Faz Üretim Yöntemleri.....	7
2.6.2 Sıvı Faz Üretim Yöntemleri	7
2.7 Partikül Takviyeli MMK Malzemelerin Üretim Yöntemleri	8

2.7.1	Toz Metalürjisi Yöntemi.....	8
2.7.2	Karıştırmalı Döküm Yöntemi.....	10
2.7.3	Basınçlı İnfiltrasyon Yöntemi	11
2.7.4	Osprey Yöntemi.....	12
BÖLÜM 3.....		13
AMK MALZEMELERDE KULLANILAN ALÜMİNYUM MATRİS MALZEMELERİ		13
3.1	Matris Malzemeleri	14
3.2	Matris Malzemesine Göre AMK Kullanım Alanları	15
BÖLÜM 4.....		16
UÇUCU KÜL		16
4.1	Kimyasal Bileşim.....	17
4.2	Yoğunluk	19
4.3	Ergime Sıcaklığı	19
4.4	Mekanik Dayanım	19
4.5	Kompozit Malzemedeki Uçucu Kül Seçiminin Önemi.....	20
4.6	Uçucu Kül Dolgulu Kompozitlerin Seri Üretim Riskleri.....	20
BÖLÜM 5.....		21
SERAMİK PARTİKÜL TAKVİYELİ AMK MALZEMELERİN OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE UYGULAMA ALANLARI.....		21
5.1	Seramik Partikül Takviyeli AMK Malzemeler	21
5.2	Uçucu Kül Dolgulu AMK Malzemelerden Örnek Uygulamalar	23
BÖLÜM 6.....		25
REFERANS ALINAN ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI.....		25
6.1	Karıştırmalı Döküm Yöntemi.....	25
6.2	Basınçlı İnfiltrasyon Yöntemi	28
6.3	Referans Çalışmaların Sonuçları	30
6.3.1	Üretim Yöntemleri.....	30
6.3.2	Mekanik Özellikler	31
BÖLÜM 7.....		35
DENEYSEL ÇALIŞMA.....		35
7.1	Toz Metalurjisi Yöntemi	35
7.1.1	Presleme	37
7.1.2	Sinterleme.....	40
7.1.3	Sertlik.....	43
7.1.4	Aşınma Dayanımı.....	44
7.1.5	Gözeneklilik ve Yoğunluk	45
7.1.6	Mikro Yapı İnceleme.....	48
7.2	Basınçlı İnfiltrasyon Yöntemi	53

7.2.1	Preform Yapımı	53
7.2.2	Porozite Oranı	57
7.2.3	Kimyasal Bileşimler.....	59
7.2.4	Gözeneklilik ve Yoğunluk	60
7.2.5	Mikro Yapı İnceleme.....	61
7.2.6	Sertlik.....	67
7.2.7	Aşınma Dayanımı.....	68
BÖLÜM 8.....		69
SONUÇLAR VE ÖNERİLER		69
KAYNAKLAR.....		71
ÖZGEÇMİŞ.....		74

SİMGE LİSTESİ

V_m	% matris hacmi
V_f	% fiber hacmi
ρ_c	Kompozit yoğunluğu
ρ_f	Fiber yoğunluğu
ρ_m	Matris yoğunluğu
E_f	Fiber elastisite modülü
E_m	Matris elastisite modülü
E_c	Kompozit elastisite modülü
σ_m	Matris gerilme değeri
σ_f	Fiber gerilme değeri
σ_c	Kompozit gerilme değeri
T_m	Ergime derecesi
SiO_2	Silisyum dioksit
Fe_2O_3	Demir oksit
CaO	Kalsiyum oksit

KISALTMA LİSTESİ

<i>AMK</i>	Alüminyum matrisli kompozit malzemeler
<i>MMK</i>	Metal matrisli kompozit malzemeler
<i>PVA</i>	Polivinil alkol
<i>MPa</i>	Megapascal
<i>CVD</i>	Kimyasal buhar biriktirme

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Takviye malzemesinin geometrisine göre MMK malzemeler	2
Şekil 2.2	Matris ve takviye elemanı gösterimi.....	5
Şekil 2.3	Islatma kabiliyeti gösterimi	5
Şekil 2.4	Toz metalürjisi yöntemi.....	8
Şekil 2.5	Sinterleme sonrası mikro yapı	9
Şekil 2.6	Karıştırmalı döküm yöntemi	10
Şekil 2.7	Basınçlı infiltrasyon yöntemi	11
Şekil 2.8	Osprey yöntemi	12
Şekil 3.1	Yıllara göre araçlarda kullanılan alüminyum	13
Şekil 4.1	Termik santrallerde uçucu kül depolama yeri	16
Şekil 4.2	Uçucu külün SEM görüntüsü	17
Şekil 5.1	Alümina takviyeli alüminyum motor bloğu	21
Şekil 5.2	Renault 9 aracının Bosch tarafından üretilen ön fren diski	22
Şekil 5.3	Mahle tarafından üretilen SiC takviyeli kompozit Audi pistonu.....	22
Şekil 5.4	BMW şaft askısı	23
Şekil 5.5	Uçucu kül takviyeli A356 matrisli kompozit motor parçası-1.....	23
Şekil 5.6	Uçucu kül takviyeli alüminyum matrisli kompozit motor parçası-2	24
Şekil 5.7	Uçucu kül dolgulu AMK motor parçası	24
Şekil 6.1	Karıştırmalı döküm düzeneği.....	25
Şekil 6.2	Si ve Al ₂ O ₃ yapılarının SEM görüntüsü	26
Şekil 6.3	Uçucu kül ilavesinin aşınma dayanımına etkisi	27
Şekil 6.4	Kompozit malzemenin kırılma yüzeyi	27
Şekil 6.5	Si ve Mg ilavesinin sertliğe etkisi	28
Şekil 6.6	Basınçlı infiltrasyon ünitesinin şematik gösterimi	29
Şekil 6.7	Basınçlı infiltrasyon sonucu SEM görüntüleri.....	29
Şekil 6.8	Tane boyutunun akma dayanımına etkisi	31
Şekil 6.9	Tane boyutunun % uzamaya etkisi	32
Şekil 6.10	Uçucu külün yoğunluğa etkisi.....	32
Şekil 6.11	Uçucu külün sertliğe etkisi	33
Şekil 6.12	Uçucu külün elastisite modülüne etkisi	33
Şekil 7.1	Alüminyum taneleri ile uçucu kül tanelerinin boyutsal dağılımı	35
Şekil 7.2	Çinko stearat içerikli %5 uçucu kül içeren tozun presleme görüntüsü	37
Şekil 7.3	Çinko stearat içerikli %10 uçucu kül içeren tozun presleme görüntüsü ..	37

Şekil 7.4	Basınç 500 MPa iken %5 uçucu kül içeren tozun görüntüsü.....	38
Şekil 7.5	Basınç 450 MPa iken %10 uçucu kül içeren tozun görüntüsü.....	38
Şekil 7.6	Basınç 550 MPa iken TM2 numunesinin presleme görüntüsü.....	39
Şekil 7.7	Basınç 600 MPa iken TM3 numunesinin presleme görüntüsü.....	39
Şekil 7.8	Basınç 600 MPa iken TM4 numunesinin presleme görüntüsü.....	40
Şekil 7.9	Basınç 550 MPa iken sertlik değerleri	43
Şekil 7.10	Basınç 600 MPa iken sertlik değerleri.....	44
Şekil 7.11	Aşınma testi düzeneği.....	44
Şekil 7.12	Aşınma testinde malzeme kaybı.....	45
Şekil 7.13	TM malzemelerin % gözeneklilikleri	46
Şekil 7.14	TM malzemelerin yoğunlukları.....	47
Şekil 7.15	Mikro yapı alan hesabı görüntüsü	47
Şekil 7.16	550 Mpa – TM5 numunesinin - S16 sinterleme görüntüsü	48
Şekil 7.17	600 Mpa - TM4 numunesinin - S16 sinterleme görüntüsü	48
Şekil 7.18	600 Mpa - TM4 numunesinin - S13 sinterleme görüntüsü	49
Şekil 7.19	600 Mpa - TM4 numunesinin - S16 sinterleme görüntüsü	49
Şekil 7.20	600 Mpa - TM4 numunesinin - S16 sinterleme görüntüsü	50
Şekil 7.21	600 Mpa - TM4 numunesinin - S16 sinterleme görüntüsü	50
Şekil 7.22	600 Mpa - TM4 numunesinin - S16 sinterleme görüntüsü	51
Şekil 7.23	TM nokta analizi görüntüsü	51
Şekil 7.24	Kuruma sonucu kalın ve ince tanelerin görüntüsü.....	55
Şekil 7.25	Dekstrin içerikli preform-1 görüntüsü	55
Şekil 7.26	Dekstrin içerikli preform-2 görüntüsü	56
Şekil 7.27	Dekstrin içerikli preform-3 görüntüsü	56
Şekil 7.28	İnfiltrasyon deney düzeneği.....	57
Şekil 7.29	Preform boşluk oranları	59
Şekil 7.30	Preformun mikro yapı alan hesabı görüntüsü	59
Şekil 7.31	Mikro yapı üzerindeki alan hesabı.....	59
Şekil 7.32	İnfiltrasyon yöntemiyle üretilen malzemelerin gözeneklilikleri.....	60
Şekil 7.33	İnfiltrasyon yöntemiyle üretilen malzemelerin yoğunlukları.....	61
Şekil 7.34	Preformun mikro yapısı (50x).....	61
Şekil 7.35	A413 infiltrasyonu (50X) -1	62
Şekil 7.36	A413 infiltrasyonu (50X) -2	62
Şekil 7.37	A413 infiltrasyonu (500X)	63
Şekil 7.38	A413 infiltrasyonu (1000X)	63
Şekil 7.39	A413 infiltrasyonu nokta analizi.....	64
Şekil 7.40	6063 infiltrasyonu (50X) -1.....	65
Şekil 7.41	6063 infiltrasyonu (50X) -2.....	65
Şekil 7.42	6063 infiltrasyonu (150X).....	66
Şekil 7.43	6063 infiltrasyonu (350X).....	66
Şekil 7.44	6063 infiltrasyonu (1000X).....	67
Şekil 7.45	İnfiltrasyon yöntemi ile üretilen malzemelerin sertlikleri	68
Şekil 7.46	İnfiltrasyon yöntemiyle üretilen malzemelerin aşınma testi	68
Şekil 8.1	Sertlik karşılaştırmaları.....	70

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1	Endüstride kullanılan alaşımlar ve kimyasal bileşimleri14
Çizelge 3.2	Matris malzemelerine göre AMK malzemeleri uygulamaları15
Çizelge 4.1	TS 639 standardına göre uçucu kül kimyasal bileşimi18
Çizelge 4.2	Türkiye’deki termik santrallerin uçucu küllerinin kimyasal bileşimleri ...18
Çizelge 4.3	Deneysel çalışmada kullanılan uçucu külün kimyasal bileşimi19
Çizelge 7.1	Tane boyutu analizleri36
Çizelge 7.2	Preslemede kullanılan tozların ağırlıkça oranları36
Çizelge 7.3	Numunelere uygulanan sinterleme parametreleri42
Çizelge 7.4	TM nokta analizi52
Çizelge 7.5	Toz metalürjisi optimum parametreler52
Çizelge 7.6	Preformda kullanılan bileşikler54
Çizelge 7.7	Preform deneylerinde ağırlıkça bileşim oranları54
Çizelge 7.8	Nokta analizi64
Çizelge 7.1	Tane boyutu analizleri36
Çizelge 7.2	Preslemede kullanılan tozların ağırlıkça oranları36
Çizelge 7.3	Numunelere uygulanan sinterleme parametreleri42
Çizelge 7.4	Basınç 550 MPa iken sertlik değerleri43
Çizelge 7.5	Basınç 600 MPa iken sertlik değerleri44
Çizelge 7.6	Aşınma testinde malzeme kaybı45
Çizelge 7.7	TM malzemelerin % gözeneklilikleri46
Çizelge 7.8	TM malzemelerin yoğunlukları.....47

UÇUCU KÜL DOLGULU ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANIMI

Onur YAKINLAR

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet TOPUZ

Alüminyum matrisli kompozit malzemeler otomotiv uygulamalarında tercih edilen malzemelerdir. Hafiflik, maliyet, geri dönüşüm gibi özelliklerinin yanı sıra; takviye elemanlarının avantajları ile kullanım alanı çeşitliliği de oldukça artmıştır.

Alüminyum; çeşitli üretim yöntemleriyle üretilebilir olup üretimde bazı zorlukları vardır. Bu zorlukların temeli alüminyumun çabuk oksitlenebilir olması ve kompozit malzeme oluşumundaki ıslatma probleminden kaynaklanır. Bu nedenle alüminyum kompozit malzemelerin üretiminden uygulanacak olan üretim yöntemlerinin tüm parametrelerine dikkat edilmelidir.

Uçucu kül dolgulu alüminyum matrisli kompozit malzemeler sağlayacağı avantajları açısından otomotiv sektöründe çok fazla uygulama alanı bulabilir. Ancak; üretim yöntemi açısından karşılaşılan sorunlar nedeniyle şu an için uygun değildir. Bu çalışmada; toz metalürjisi ve basınçlı infiltrasyon yöntemiyle uçucu kül dolgulu alüminyum matrisli kompozit üretimleri denenmiş ve şuan ki alüminyum uygulamaları ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum matrisli kompozit, uçucu kül, otomotiv sektöründe kullanılan alüminyum alaşımları, basınçlı infiltrasyon yöntemi, toz metalürjisi.

ABSTRACT

FLY ASH REINFORCEMENT ALUMINUM MATRIX COMPOSITES IN AUTOMOTIVE APPLICATIONS

Onur YAKINLAR

Department of Metallurgy and Materials Engineering
MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Ahmet TOPUZ

Aluminum matrix composites are preferred materials in automotive applications. Together with lightness, cost and recycling properties; advantages of reinforcement materials advantages supply the application variety in automotive industry.

Aluminum composites can be produced by different production methods. But; aluminum has some production difficulties. The main difficulties are oxidation and wetting problem. Because of these difficulties; all the parameters in production must be planned very well.

Fly ash reinforcement aluminum matrix composite materials can be used in different applications in automotive industry. But; because of the production difficulties fly ash composites are not available in today's industry application. In this study; powder metallurgy and pressure infiltration methods are tried for fly ash reinforcement aluminum matrix composites and compared with aluminum alloys that are used in today's application.

Key words: aluminum matrix composite, fly ash, aluminum alloys that are used in automotive application, pressure infiltration, powder metallurgy.

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Partikül takviyeli metal matrisli kompozitlerin kullanım yerleri, üretimleri, karakterizasyon çalışmaları incelenmiştir. Tez konusu olan uçucu kül dolgulu alüminyum matrisli kompozit malzeme konusunda bugüne kadar yapılmış çalışmalar araştırılmış, elde edilen bulgular literatür halinde verilmiştir.

1.2 Tezin Amacı

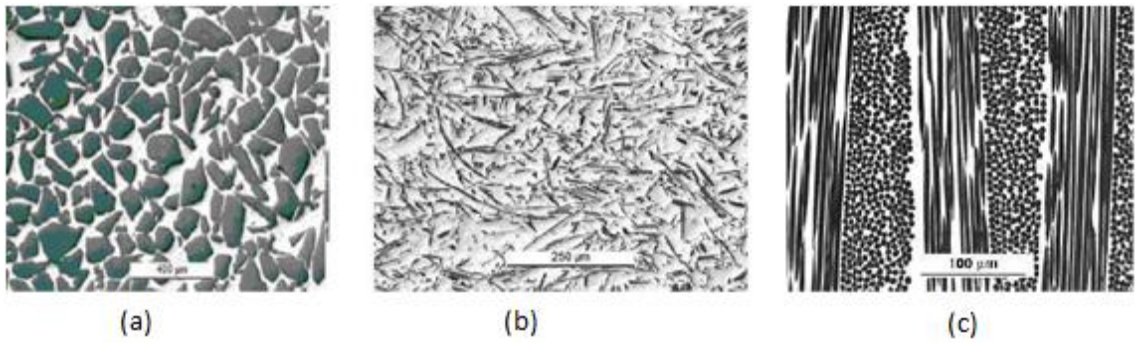
Uçucu kül dolgulu alüminyum matrisli kompozit malzemelerin değişik kül hacim oranlarına göre toz metalürjisi ve infiltrasyon yöntemleriyle üretiminin sağlanması; elde edilen örneklerin test ve karakterizasyon çalışmaları yapılarak otomotiv sektöründe kullanılabilirliklerinin araştırılmasıdır.

1.3 Hipotez

Çalışmalar sonucunda uçucu kül ve alüminyum arasındaki bağlanma probleminin çözülmesi ve elde edilen üretim yönteminin seri üretime uygunluğu araştırılıp otomotiv endüstrisinde uçucu kül dolgulu alüminyum matrisli kompozit malzemelerin kullanılabilmesi.

METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER

MMK malzemeler istenen ve gerekli özellikleri sağlamak üzere en az biri metal olan iki veya daha fazla farklı malzemenin bileşimiyle elde edilen yeni malzemelerdir. MMK malzemelerde takviye elemanı sürekli veya kısa fiber, partikül ve whisker şeklinde bulunabilir.



Şekil 2.1 Takviye malzemesinin geometrisine göre MMK malzemeler (a) partikül takviyeli, (b) kısa fiber takviyeli, (c) sürekli fiber takviyeli [1]

(a) Mukavemetin artmasıyla sonuçlanan matris içerisine parçacık şeklinde ilave edilen parçacık esaslı kompozitler, (b) Yüksek uzunluk/çap oranı nedeniyle daha büyük yük iletme özelliğine sahip olan kompozitler, (c) Tüm özellikleri iletebilen kompozit malzemeler olarak bilinir. MMK malzemelerinin sonuçta göstereceği malzeme özellikleri; takviye elemanının cinsi, şekli, boyutu gibi unsurların yanı sıra; üretim yöntemi, matris-fiber uyumu gibi etkenlere de bağlıdır. Bu parametreler göz önüne

alınarak elde edilecek başarılı MMK malzemelerin metal malzemelere olan üstünlükleri;

- Yüksek mukavemet/yoğunluk oranı
- Yorulma direnci
- Düşük termal genleşme katsayısı
- Aşınma direnci
- Korozyon direnci

Olarak sıralanabilir. Bu avantajlı özelliklerin yanı sıra; üretim yönteminin pahalı olması, üretim güçlüğü ve geri dönüşümün olmayışı gibi dezavantajları da mevcuttur.

2.1 Takviye Elemanları

MMK malzemelerde matris malzemesinin mekanik özelliklerini arttırmak için genellikle düşük yoğunluklu takviye elemanlarıdır. Bu nedenle; seramik esaslı takviye elemanları daha çok tercih edilir.

2.1.1 Alümina (Al_2O_3)

Yüksek sıcaklık dayanımı ve yüksek rijitliği nedeniyle tercih edilen takviye elemanıdır. En çok kullanıldığı matris malzemesi alüminyum alaşımlarıdır. Alümina SiC'e göre daha düşük dayanıma ve daha yüksek yoğunluğa sahiptir. Fakat maliyet açısından SiC'den daha avantajlıdır.

2.1.2 Silisyum Karbür (SiC)

SiC malzemesinde kovalent bağlar mevcuttur ve bu özelliği ile yüksek elastisite modülüne sahip bir fiberdir. Genellikle CVD kaplama yolu ile üretilirler ve 1400 °C maksimum kullanım sıcaklığına sahiptir. Oksidasyon direncinin yüksek olması yüksek sıcaklıktaki üretimlerde mukavemetini koruyabilmesini sağlar. Alüminadan daha pahalı

olmasına karşın bor fiberden daha ucuzdur. Ekstrüzyon ve plastik şekil verme işlemlerinin yapılabilmesi de önemli bir avantajdır.

2.1.3 Bor

Bor fiber, borun genelde CVD yöntemi ile karbon veya tungsten altlık (çekirdek) üzerine kaplanması ile üretilir. Uygulanan ısı işlem ile hibrit yapı üzerindeki kalıntı gerilmeler giderilir. Bor çok yüksek elastisite modülüne sahiptir ancak çok pahalıdır. Isıl genleşme katsayısı oldukça düşük olan karbon fiberler, yaklaşık 1500 °C 'ye kadar mekanik özelliklerini korurlar.

2.1.4 Karbon Fiber

Karbon fiberlerin yoğunluğunun düşük olmasına rağmen çekme dayanımı ve elastisite modülü çok yüksektir. Bu da spesifik dayanımının çok yüksek olduğu anlamına gelir. Karbon fiberler 1500 °C'ye kadar mekanik özelliklerini koruyabilirler. Gelişen teknolojiyle beraber üzerinde en çok ar-ge yapılan fiberlerden biri konumuna gelmiştir.

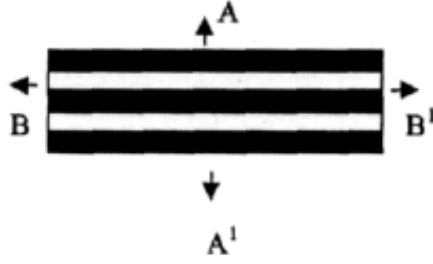
2.1.5 Titanyum Karbür (TiC)

TiC malzemesinin fiber olarak kullanılmasının başlıca nedeni yüksek sıcaklıklarda mekanik özelliklerini muhafaza edebilme özelliğidir. TiC malzemesinin yaygın olarak kullanılmamasının en büyük nedeni yoğunluğunun yüksek olmasıdır.

2.2 Matris ve Takviye Elemanı Ara Yüzeyi

MMK malzemelerde nihai ürünü en çok etkileyecek faktörlerden biri matris ve takviye elemanı ara yüzeyidir. Çünkü; ara yüzey bağının iyi oluşmadığı kompozit malzemelerde nihai üründen iyi mekanik özellikler beklenemez. Dolayısıyla; diğer parametreler ara yüzey bağını iyi oluşturacak şekilde ayarlanmalıdır.

Basit bir kompozit malzeme şematize edilecek olunursa;

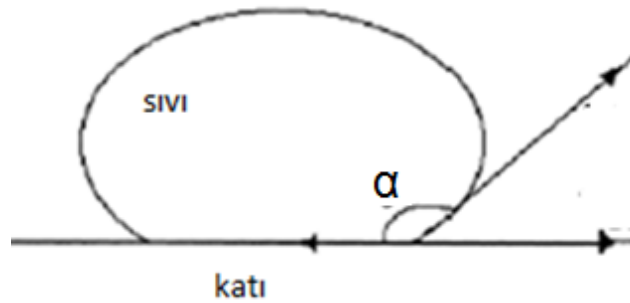


Şekil 2.2 Matris ve takviye elemanı gösterimi [2]

Matris ve takviye elemanının birbirine iyi bağlanmadığı durumlarda AA^1 boyunca çekme dayanımı yoktur. BB^1 boyunca çekme dayanımı da bağlanma kuvvetine bağlıdır. Bir başka deyişle; bağlanma kuvveti sayesinde matris üzerine gelen yükü takviye elemanına yükler. Eğer bağlanma kuvveti düşükse takviye elemanına yükleme gerçekleşmez ve mukavemet düşer.

Bu nedenle MMK malzemeler üretilirken elde edilecek malzemedeki ara yüzey bağı esas alınmalı ve sıcaklık, basınç gibi parametreler iyi bir ara yüzey bağı oluşturacak şekilde ayarlanmalıdır.

2.3 Islatma Kabiliyeti



Şekil 2.3 Islatma kabiliyeti gösterimi [2]

$\alpha = 180^\circ$ ıslatma yok

$\alpha = 0^\circ$ mükemmel ıslatma

$0^\circ < \alpha < 180^\circ$ kısmi ıslatma

Açıların durumuna göre serbest enerjiler için hesaplanması gereken eşitlik ise 2.5 eşitliğinde verilmiştir.

γ_{sv} : katı-hava ara yüzeyindeki serbest enerji

γ_{sl} : katı-sıvı ara yüzeyindeki serbest enerji

γ_{lv} : sıvı-hava ara yüzeyindeki serbest enerji

$$\cos\theta = (\gamma_{sv} - \gamma_{sl}) / \gamma_{lv} \quad (2.5)$$

Kompozit malzemelerde üretim sırasında matris malzemesinin takviye elemanını ıslatma şekli ve olması gereken açısal değerler verilmiştir. MMK malzemelerde üretim sırasında dikkat edilmesi gereken en önemli etkenlerden biri ıslatma kabiliyetidir. Matris malzemesinin takviye elemanını ıslatabilmesi ara yüzey bağına doğrudan etkiler.

Bu nedenle; kompozit malzeme üretiminde ıslatmanın yetersiz olduğu yerlerde Mg gibi ıslatma kabiliyetini arttırıcı ajanlar kullanılır. [3]

2.4 Kimyasal Bağ

Kompozit malzemelerin üretimi sırasında ara yüzeyde metalik, kovalent ve iyonik bağ gibi farklı kimyasala bağlar oluşur. Üretim sırasında oluşacak kimyasal bağlar nedeniyle kısmi ara yüzey bağ artışları da görülebilir. Ancak; matris malzemesi ve takviye elemanı arasındaki en iyi ara yüzey bağının oluşabilmesi için her zaman kontrollü bir kimyasal reaksiyon istenir. [4]

2.5 MMK Malzemelerinin Özellikleri ve Hesaplamaları

Genel olarak bakıldığında MMK malzemelerin mekanik özellikleri;

- Takviye elemanı oranına
- Takviye elemanı boyutuna
- Takviye elemanın matristeki homojen dağılımına

- Matris malzemesinin ve takviye elemanının özelliklerine

Sonuç olarak da;

- Matris ve takviye elemanı ara yüzeyine bağlıdır.

Kompozit malzemenin elastisite modülü, yoğunluk ve gerilim gibi özellikleri ise karışımlar kuralına göre belirlenir.

$$V_m + V_f = 1 \quad (2.1)$$

$$E_c = (E_f \times V_f) + (E_m \times V_m) \quad (2.2)$$

$$\rho_c = (\rho_f \times V_f) + (\rho_m \times V_m) \quad (2.3)$$

$$\sigma_c = (\sigma_m \times V_m) + (\sigma_f \times V_f) \quad (2.4)$$

Eşitlikleri ile gösterilir. 2.1 eşitliğinde verilen oranda matris ve fiber 1'i ifade ederken, kompozit malzemenin elastisite modülü (2.2), yoğunluk (2.3) ve gerilim (2.4) eşitlikleri ile hesaplanır.

2.6 MMK Malzemelerin Üretim Yöntemleri

Üretim yöntemlerinin sınıflandırılmasında faz ve takviye elemanının şekli önemli bir rol oynar. Buna göre; katı faz üretim yöntemleri ve sıvı faz üretim yöntemleri olarak sınıflandırılır. Deneysel çalışmalarda partikül takviyeli kompozit malzeme deneyleri yapıldığı için üretim yöntemlerinde de partikül takviyeli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri incelenmiştir.

2.6.1 Katı Faz Üretim Yöntemleri

- Toz metalurjisi yöntemi

2.6.2 Sıvı Faz Üretim Yöntemleri

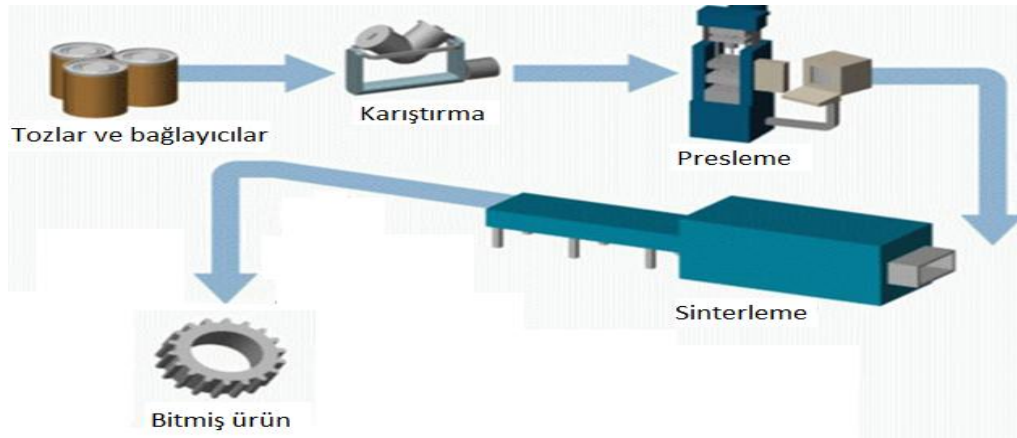
- Sıvı metal infiltrasyonu

- Sıvı metal sıkıştırma
- Plazma püskürtme

2.7 Partikül Takviyeli MMK Malzemelerin Üretim Yöntemleri

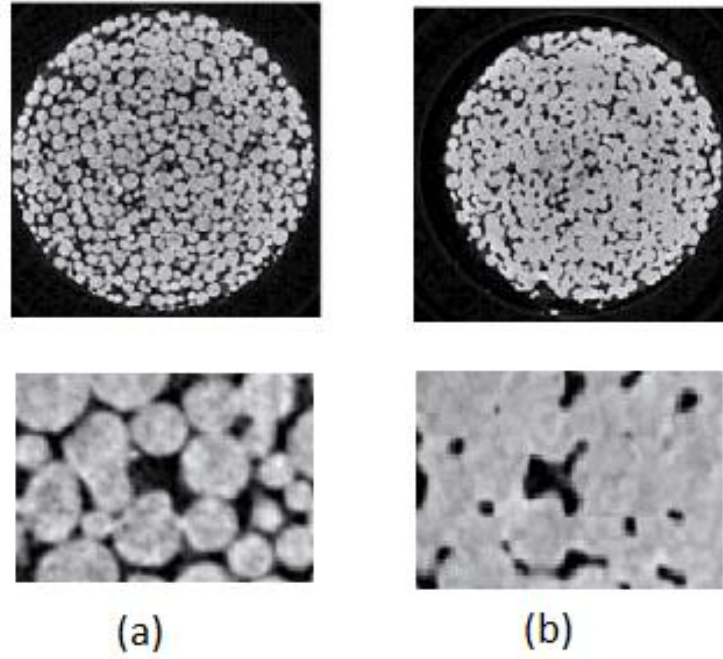
2.7.1 Toz Metalürjisi Yöntemi

Toz metalürjisi yönteminin esası; kompoziti oluşturacak malzeme tozlarının karıştırılması, preslenmesi ve sinterlenmesi esasına dayanır.



Şekil 2.4 Toz metalürjisi yöntemi [5]

Partikül takviyeli MMK malzemelerde en çok tercih edilen yöntemlerden biridir. Takviye elemanı olarak genellikle SiC, grafit ve TiC kullanılır. Matris malzemesi olarak ise alüminyum, titanyum ve bakır tercih edilen malzemelerdir. Katı faz yöntemi olması nedeniyle ıslatma problemi yoktur. Bu yöntemde en çok dikkat edilmesi gereken proses ise sinterlemedir. Tozlar arasında iyi bir bağ kuvveti oluşabilmesi için sinterleme prosesinin başarılı olması gerekir.



Şekil 2.5 Sinterleme sonrası mikro yapı [6]

Başarılı bir sinterleme prosesi sonrasında mikro yapı Şekil 2.5'teki gibi olmalıdır.

Avantajları;

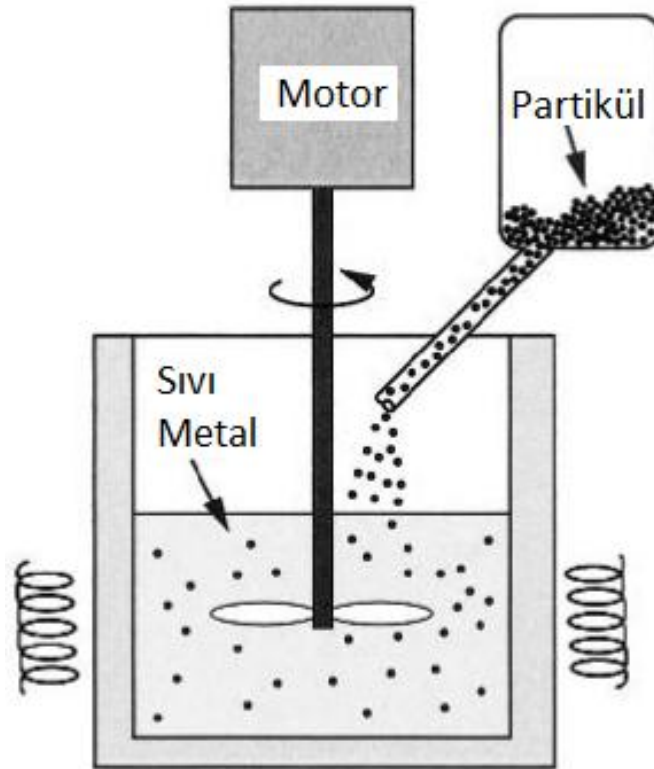
- Sıvı hale geçmeden gerçekleşen proseste malzemeler arasında mekanik özellikleri kötü yönde etkileyecek istenmeyen ara yüzey reaksiyonları gerçekleşmez.
- Tozların tam olarak karıştırıldığı takdirde homojenlik sıkıntısı olmayan bir prosestir. Sıvı faz yöntemlerinde takviye elemanının matris malzemesi içerisinde homojen dağılması ciddi bir problemdir.
- Yüksek ergime sıcaklıklarına sahip metal malzemeler için çok uygundur. Sinterleme sıcaklığı matris malzemesine ve takviye malzemesine göre değişken olup yaklaşık $0.8T_m$ sıcaklığında yapılır. Hem üretim kolaylığı hem de enerji kazanımı nedeniyle yüksek ergime derecelerine sahip metaller için en ideal yöntemdir.

- Ara yüzey reaksiyonlarının kontrolü daha kolay olduğu için yüksek takviye elamanı oranları kullanılabilir. Bu da mekanik özelliklere olumlu katkıda bulunur.

Dezavantajları;

- Sadece partikül takviyesi için uygundur. Fiber takviyelerinde karıştırma ve presleme aşamalarında fiberlerde kırılma ve parçalanma meydana gelmektedir.
- Büyük parçalar için uygun bir proses değildir. Çünkü yüksek basınçtaki preslemeyi büyük parçalara uygulamak yüksek maliyetli ve zordur.

2.7.2 Karıştırmalı Döküm Yöntemi



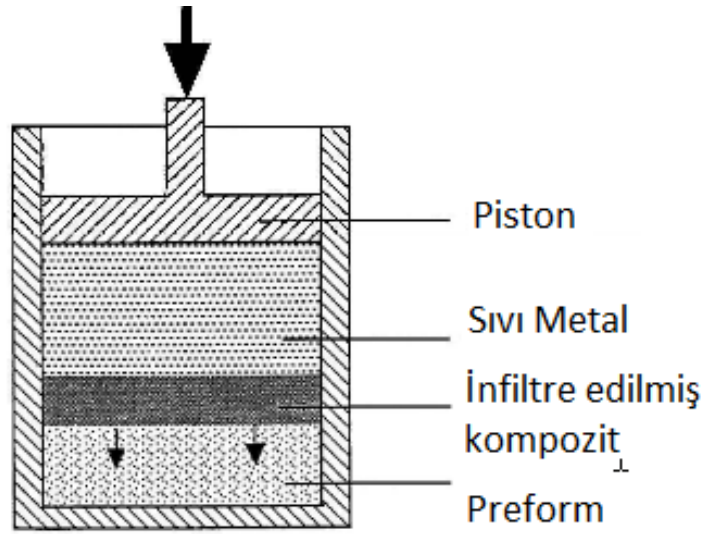
Şekil 2.6 Karıştırmalı döküm yöntemi [7]

Karıştırma yöntemi esas olarak; mekanik bir karıştırıcı yöntemiyle vorteks yaratma ve bu esnada sıvı metal içerisine takviye elemanlarının ilavesi prosesidir. Bu proseste en çok yaşanan problem sıvı içerisinde takviye elemanlarının topaklaşmasıdır. Bu

problemin önüne geçmek için ıslatabilirliği arttırıcı ilaveler, takviye elemanlarına ön ısıtma uygulama veya kaplama gibi önlemler alınır.

Uygulanış açısından en kolay yöntemlerden biridir. Bu nedenle MMK malzemelerde çok tercih edilen bir yöntemdir. Ancak; bu yöntemde belirli bir takviye elemanı oranından sonra topaklaşma kaçınılmaz olur. Bu nedenle; kompozit malzemedeki takviye elemanı oranı kısıtlıdır. [8]

2.7.3 Basınçlı İnfiltrason Yöntemi



Şekil 2.7 Basınçlı infiltrasyon yöntemi [2]

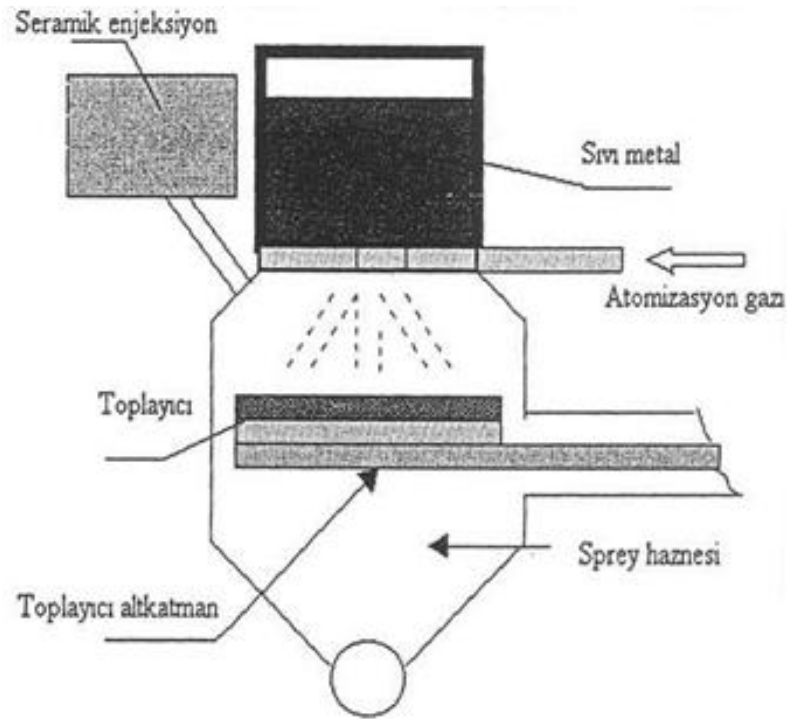
Proses; takviye elemanından elde edilmiş bir preforma basınç ile sıvı metal emdirilmesi esasına dayanır. Bu basınç proses parametrelerine göre uygulanış şekilleri gösterir.

- Altta preform üstte sıvı metal olacak şekilde sıvı metale üstten mekanik bir basınç uygulanabilir.
- Kapalı bir atmosfer içerisinde bulunan preforma uygulanacak gaz basıncı sayesinde metal infiltre edilebilir.
- Preformun üzerine sıvı metalin dökülür ve alttan vakumla metalin preforma infiltre edilebilir.

Bu yöntemdeki en kritik noktalardan biri homojen ve yüksek mukavemette bir preform oluşturmaktır. Takviye elemanlarının özelliklerine göre preform oluşturabilme kabiliyeti dikkate alınmalı ve buna göre bağlayıcı ve porozite yapıcı elemanlarla birlikte preform yapma prosesi uygulanmalıdır [9].

Bu yöntemde çok yüksek takviye hacim oranları elde edilebilir. Basınç sayesinde peformdaki tüm boşluklara metal infiltre edilebilir. Çok yüksek ara yüzey bağları elde edilir ve mekanik açıdan iyi sonuçlar alınacak kompozit malzemeler oluşturulabilir.

2.7.4 Osprey Yöntemi

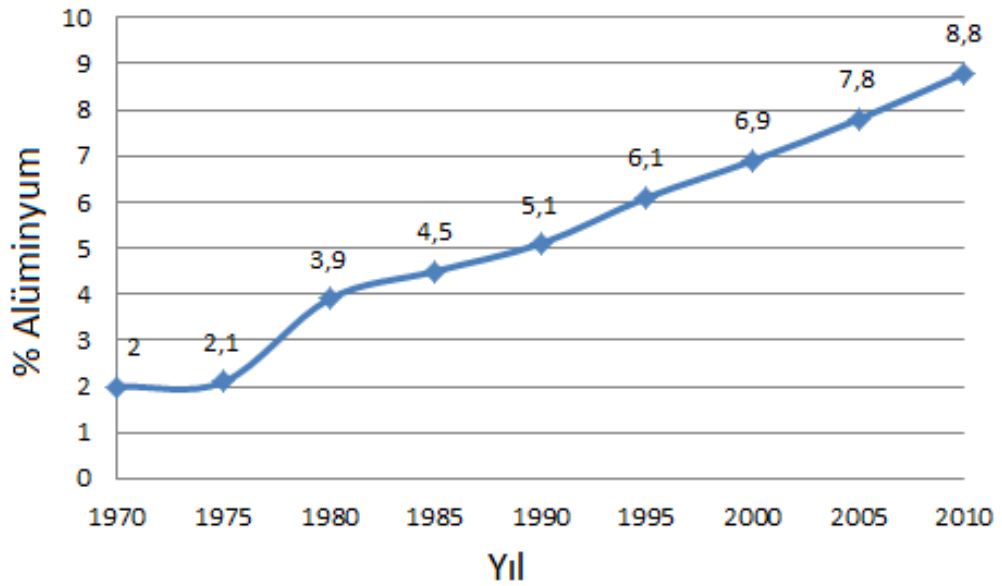


Şekil 2.8 Osprey yöntemi [1]

Daha çok partikül takviyeli MMK malzemelerde tercih edilir. Atomize edilmiş metalin takviye elemanlarının üzerine püskürtmesi ve ani katılaşma ile iyi bir yapışma elde edilmesi esasına dayanır. Ergime sıcaklığı düşük metallerde daha çok tercih edilir. Matris malzemesinin püskürtme sayesinde istenilen kalınlıkta oluşturulması sağlanabilir. Karmaşık parçaların üretimi için uygun bir yöntemdir ve takviye elemanları mesafesi ayarlanabilen ender üretim yöntemlerinden biridir.

AMK MALZEMELERDE KULLANILAN ALÜMİNYUM MATRİS MALZEMELERİ

Alüminyum alaşımları hafiflik, üretim kolaylığı ve takviye elemanlarıyla birlikte mekanik özelliklerinin iyileştirilebilmesi özellikleriyle otomotiv sektöründe çok fazla kullanılan metaller arasındadır. Bir otomobilde kullanılan alüminyumun yıllara göre değişen ağırlıkları alüminyum alaşımlarının otomotiv sektörü için önemini ortaya koymaktadır [10]. Şekil 3.1’de bir otomobilde kullanılan alüminyum ağırlığının yıllara göre değişimi verilmiştir.



Şekil 3.1 Yıllara göre araçlarda kullanılan alüminyum [11]

3.1 Matris Malzemesi Olarak Kullanılan Alüminyum Alaşımları

Endüstriyel uygulamalarda en çok kullanılan alüminyum alaşımları ve bu alaşımların kimyasal bileşimler Çizelge 3.1’te verilmiştir.

Çizelge 3.1 Endüstride kullanılan alaşımlar ve kimyasal bileşimleri [12]

Alaşım	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zi	Ti
1100	.095 Si + Fe		0.05-0.20	0.05	..	..	0.10	..
2011	0.40	0.7	5.0-6.0	..	..	..	0.30	..
2024	0.50	0.50	3.8-4.9	0.30-0.9	1.2-1.8	0.10	0.25	0.15
3003	0.6	0.7	0.05-0.20	1.0-1.5	..	..	0.10	..
5005	0.30	0.7	0.20	0.20	0.50-1.1	0.10	0.25	..
5052	0.25	0.40	0.10	0.10	2.2-2.8	0.15-0.35	0.10	..
5083	0.40	0.40	0.10	0.40-1.0	4.0-4.9	0.05-0.25	0.25	0.15
5086	0.40	0.50	0.10	0.20-0.7	3.5-4.5	0.05-0.25	0.25	0.15
6061	0.40-0.8	0.7	0.15-0.40	0.15	0.8-1.2	0.04-0.35	0.25	0.15
6063	0.20-0.6	0.35	0.10	0.10	0.45-0.9	0.10	0.10	0.10
7075	0.40	0.50	1.2-2.0	0.30	2.1-2.9	0.18-0.28	5.1-6.1	0.20

3.2 Matris Malzemesine Göre AMK Kullanım Alanları

AMK malzemelerin otomotiv sektöründe kullanım alanlarında seçilecek olan alüminyum matris malzemesi büyük önem taşır. Matris malzemesinin özelliklerine göre, mekanik özellikler ve üretim yöntemleri değişeceğinden uygulama alanları açısından da farklılık gösterir. Çizelge 3.2’de AMK malzemelerin endüstriyel uygulama alanları verilmiştir.

Çizelge 3.2 Matris malzemelerine göre AMK malzemeleri uygulamaları [11]

Alüminyum Alaşımı	Otomotiv Sektöründe Uygulama Alanı
2XXX Serisi	Gövde panelleri Mekanik bağlantı elemanları
3XXX Serisi	Isıtıcı göbekler Radyatör
5XXX Serisi	İç paneller Yapı elemanları
6XXX Serisi	Mekanik bağlantı elemanları Fren elemanları Pistonlar Şaftlar
7XXX Serisi	Gövde paneller Fren elemanları Hava pistonları Radyatör
A356	Motor blokları Şaft Fren elemanları

BÖLÜM 4

UÇUCU KÜL

Uçucu kül termik santraller çıkan atık üründür. 1200 – 1800 °C 'de yakılan kömürden %15 oranında atık ürün oluşur. Bu atık üründen tane boyutu küçük olan taneler baca çekişi sayesinde taşınarak hava ile temas eder ve uçucu kül oluşur. Uçucu küllerin tane boyutu 1 ile 200 μm arasında değişir. Ancak; filtre arkasından alınan uçucu küllerin tane boyutları 1- 10 μm arasında değişir ve filtreden geçtikleri için tane boyutları birbirine çok yakındır.



Şekil 4.1 Termik santrallerde uçucu kül depolama yeri [13]

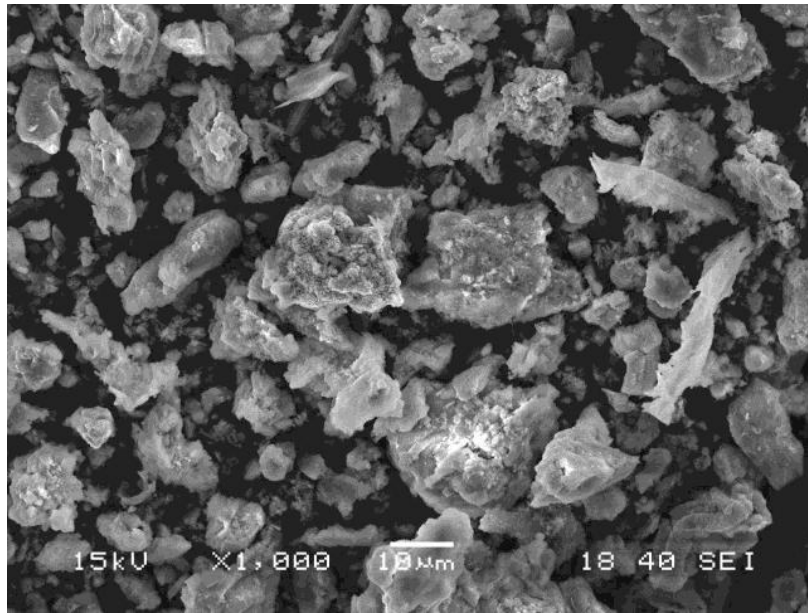
Termik santralde 100 ton kömürden 12 ton uçucu kül ortaya çıkmaktadır. Termik santrallerin üretim parametrelerine göre ve yakılan kömürün cinsine göre uçucu külün

kimyasal bileşimi değişiklik göstermektedir. Dünyadaki uçucu kül üretimi yılda yaklaşık 450 milyon tondur. Ancak; toplam uçucu kül miktarının sadece %6'sı çimento ve beton karışımlarında puzolan olarak kullanılmaktadır. Türkiye' de kömür yakan 11 enerji santrali bulunmaktadır. Ülkemizde yıllık uçucu kül üretimi yaklaşık 15 milyon ton civarındadır.

4.1 Uçucu Külün Kimyasal Bileşimi

Uçucu külün bileşimi yakılan kömürün taşkömürü veya linyit olmasına göre değişir. Taşkömürü ile elde edilen uçucu küllerde SiO_2 ve Al_2O_3 ve Fe_2O_3 toplamı %70'den fazladır. Ayrıca; CaO içeriği linyitte %10'dan daha azdır. Linyit kömüründe ise SiO_2 ve Al_2O_3 ve Fe_2O_3 toplamı %50'den fazladır. Ayrıca; CaO içeriği linyitte %10'dan daha fazladır.

Bileşimde SiO_2 ve Al_2O_3 bileşenlerinin fazla olması endüstriyel uygulamalara uygunluğu arttırmaktadır. Ayrıca; bileşimde CaO gibi uygulamalarda kötü etki yaratacak oksitlerin az olması gerekmektedir. Şekil 4.2'de uçucu külün SEM görüntüsü gösterilmiştir [10].



Şekil 4.2 Uçucu külün SEM görüntüsü [14]

Bu uygulamalara göre endüstriyel uygulamalar için ideal kimyasal bileşimin mevcut bir standardı vardır.

Çizelge 4.1 TS 639 standardına göre uçucu kül kimyasal bileşimi [15]

Kimyasal Bileşim	F Tipi	C Tipi	TS 639
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	En az %70	En az %50	En az %70
MgO	En çok %5	En çok %5	En çok %5
SO_3	En çok %5	En çok %5	En çok %5
$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	En çok %1.5	En çok %1.5	-
Nem	En çok %3	En çok %3	En çok %3
Yanma Kaybı	En çok %12	En çok %6	En çok %10

Türkiye’deki termik santrallerden çıkan uçucu küllerin kimyasal analizleri ise Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Türkiye’deki termik santrallerin uçucu küllerinin % bileşimleri [15]

Kimyasal Bileşim	Afşin Elbistan	Çatalağzı	Seyitömer	Soma (B)	Tunçbilek	Orhaneli	Yatağan	TS 639 Limitleri
SiO_2 (%)	27.4	56.8	40.6	39.8	56.4	48.8	51.2	-
Al_2O_3 (%)	12.8	24.1	9.1	22.3	23	19.6	22.9	-
Fe_2O_3 (%)	5.5	6.8	7.7	4.4	10.1	6.5	7.8	-
Si + Al + Fe (%)	39.7	87.7	57.4	66.5	89.5	68.4	81.9	>70
CaO (%)	47	1.4	19.9	25.4	2.1	10.1	13	-
MgO (%)	2.5	2.4	3.1	1.9	3.3	4	2.8	<5
SO_3 (%)	6.2	2.9	10.6	4.8	0.4	4.2	0.3	<5
Alkali (%)	0.3	3	1.4	0.4	0.9	1.7	2.9	-
Ti (%)	0.7	1.1	-	0.6	-	-	0.9	-

Endüstriyel uygulamalar için uygun kimyasal bileşim Çatalağzı ve Tunçbilek termik santrallerinden çıkmaktadır. Bu nedenle deneysel çalışmada Çatalağzı termik santrali uçucu külü tercih edilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan uçucu külün kimyasal bileşiminin, standartlarda belirtilen kimyasal bileşimlere uygunluğunun mukayese

edilmesi açısından Çizelge 4.3'te deneysel çalışmada kullanılan uçucu külün kimyasal bileşimi verilmiştir.

Çizelge 4.3 Deneysel çalışmada kullanılan uçucu külün kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşim	Kullanılan Çatalağzı Termik Santrali Kimyasal bileşimi
SiO ₂ (%)	57.4
Al ₂ O ₃ (%)	25.9
Fe ₂ O ₃ (%)	7.4
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (%)	90.7
CaO (%)	1.7
MgO (%)	3
SO ₃ (%)	3.2
Alkali (%)	0.7
Ti (%)	0.7

4.2 Yoğunluk

Yapısal olarak çöktürücü (F tipi) uçucu küller 2-2,5 gr/cm³ arasında değişirken, boşluklu (C tipi) küllerin yoğunlukları 0,3-0,5 gr/cm³ arasında değişmektedir. Yoğunluk açısından C tipi uçucu kül kullanım için çok yetersiz bir yoğunluğa sahiptir [16].

4.3 Ergime Sıcaklığı

Uçucu küllerin ergime dereceleri yapısal özelliklerine göre 1250-1400 °C arasında değişmektedir [16].

4.4 Mekanik Dayanım

Mekanik dayanım özellikleri uçucu külün yapısındaki boşluklara göre değişmektedir. Örneğin; 15 dakikalık bir öğütme sonucunda elde edilen külde boşluk oranı daha fazladır. Yoğunluğu 1,9 gr/cm³, spesifik yüzey alanı ise 2400 cm²/gr olarak ölçülmüştür. Ancak; 4 saatlik bir öğütme sonucunda toplam boşluk miktarı daha az olacağından mekanik özellikler de buna paralel olarak artacaktır. 4 saatlik öğütme sonucunda yoğunluk 2,67 gr/cm³ ve spesifik yüzey alanı 12000 cm²/gr olarak belirlenmiştir [17].

4.5 Kompozit Malzemede Uçucu Kül Seçiminin Önemi

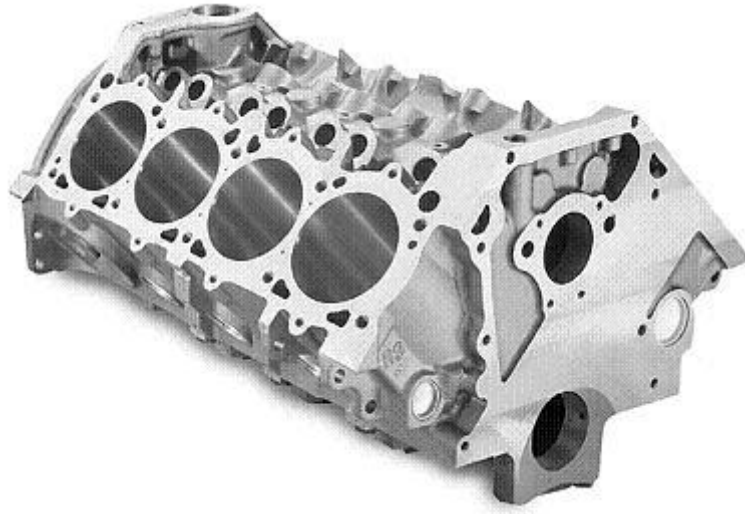
- MMK malzemelerde kullanılan takviye elemanları genellikle pahalıdır. Uçucu kül takviye elemanlarının yanı sıra; alüminyumdan da maliyeti çok daha düşüktür. Bu nedenle uçucu külün AMK malzemelerde seçimi maliyet açısından büyük önem taşır.
- Yüksek elektrik direnci, düşük termal iletkenlik ve düşük yoğunluk gibi özellikleri sayesinde hem daha dirençli hem de daha hafif malzemeler üretme imkanı sunar.
- Yoğunluğunun düşük olmasına rağmen yüksek sertlik, aşınma dayanımı gibi mekanik özellikleri sayesinde endüstriyel anlamda çok daha kullanışlı malzemeler ortaya koyulabilir.
- Kompozit malzemenin içerisinde alüminyumun yerine uçucu kül kullanılması daha az alüminyum kullanılması hem boksitten alüminyumun üretimini azaltma sebebiyle hem de uçucu külün doğaya olan etkilerini ortadan kaldırmasıyla çevre açısından da önemli bir etkiye sahiptir.

4.6 Uçucu Kül Dolgulu Kompozitlerin Seri Üretim Riskleri

- Uçucu kül, termik santral kaynağına göre kimyasal çeşitlilik gösterebilir. Bu nedenle; seri üretimde kimyasal bileşim farklılıkları görülebilir.
- Seri üretimde çok büyük ölçüdeki ergime havuzlarında sıvı alüminyum içerisindeki uçucu kül yoğunluk farkından dolayı dibe çökebilir. Bu durumda malzeme içerisinde homojenlik kaybolabilir.
- Karışımda yüzeyde oksit birikmesi dökümdeki akışkanlığı azaltabilir. Bu da dökümde olumsuz bir etki yaratır.
- Geri dönüşüm mümkün olmayabilir [14].

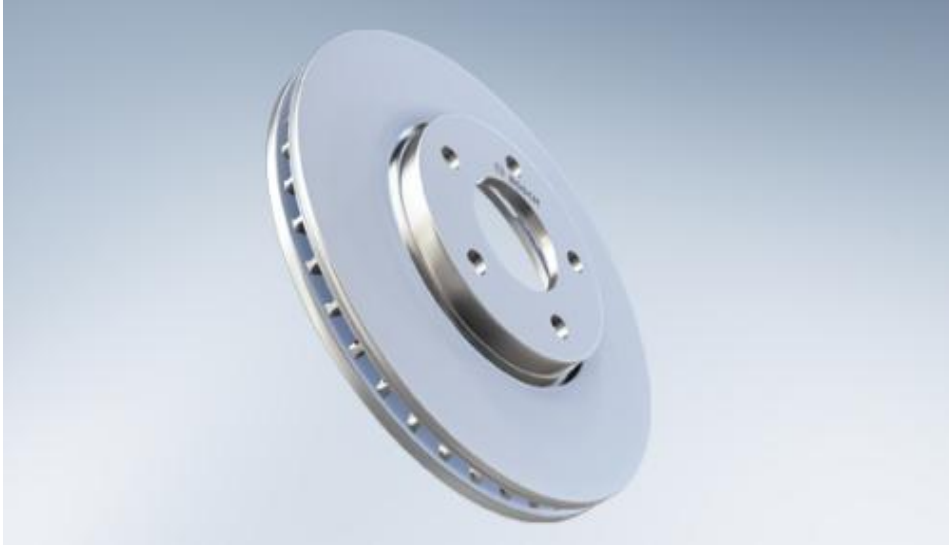
SERAMİK PARTİKÜL TAKVİYELİ AMK MALZEMELERİN OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE UYGULAMA ALANLARI

5.1 Seramik Partikül Takviyeli AMK Malzemeler



Şekil 5.1 Alümina takviyeli alüminyum motor bloğu [18]

Toplam araç ağırlığını azaltmak üzere tüm büyük otomobil üreticileri, dökme demir motor bloklarının yerine alüminyum esaslı kompozit motor bloğu teknolojileri geliştirmektedirler. Bu değişimin ağırlık kazancı 15-35 kg kadardır. AMK malzemeden üretilen motor blokları boyutsal kararlılık ve blok rijitliğini geliştirerek motordaki sürtünmeyi azaltıp motorun verimini arttırmaktadır [19].



Şekil 5.2 Renault 9 aracının Bosch tarafından üretilen ön fren diski [20]

SiC takviyeli fren elemanlarının aşınma dayanımının diğer kompozit malzemelere oranla daha iyi olduğu görülmüş ve son zamanlarda büyük otomobil üreticileri tarafından fren elemanları olarak tercih edilmeye başlanmıştır.



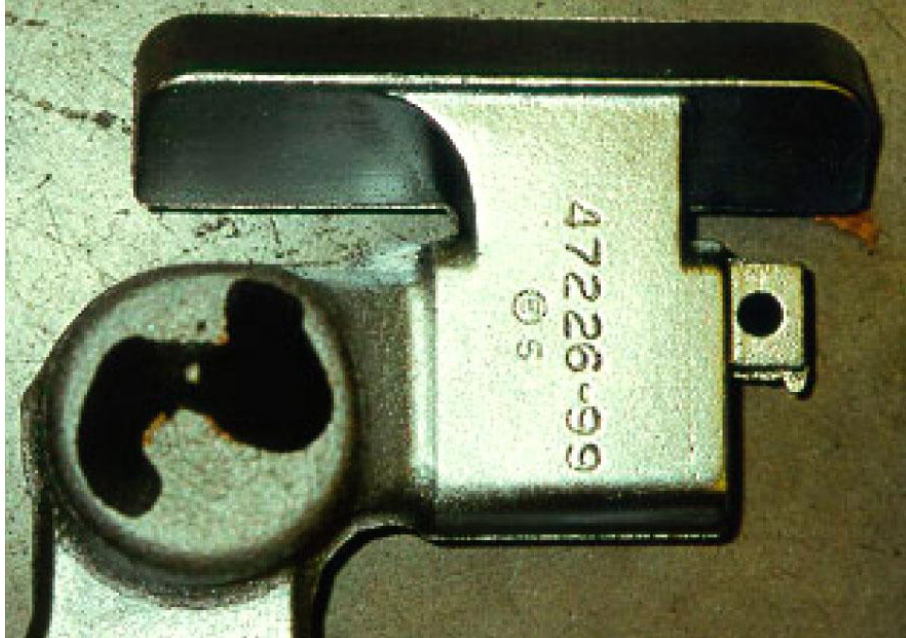
Şekil 5.3 Mahle tarafından üretilen SiC takviyeli Alüminyum kompozit Audi A3 pistonu [21]



Şekil 5.4 BMW şaft askısı [22]

Yolcu ve yük taşıtlarında bu kompozitler, öncelikle hafiflikleri sebebiyle şaft olarak kullanım alanı bulmaktadır. Spesifik modüllerinin hem çelikten hem de alüminyumdan önemli miktarda yüksek olabilmesi nedeniyle bu kompozitlerde daha uzun şaft üretmek mümkündür. Bu uygulama için genellikle 6xxx serisi Al alaşımları kullanılmaktadır.

5.2 Uçucu Kül Dolgulu AMK Malzemelerden Örnek Uygulamalar



Şekil 5.5 Uçucu kül takviyeli alüminyum matrisli kompozit motor parçası-1 [14]



Şekil 5.6 Uçucu kül takviyeli alüminyum matrisli kompozit motor parçası-2 [14]

Şekil 5.5 ve 5.6’da verilen uygulamalar karıştırmalı döküm yöntemiyle kum kalıba döküm prosesi ile elde edilmiştir.



Şekil 5.7 Uçucu kül dolgulu AMK motor parçası [14]

Şekil 5.7’de görülen motor parçası uygulaması ise basınçlı döküm yöntemi ile üretilmiştir.

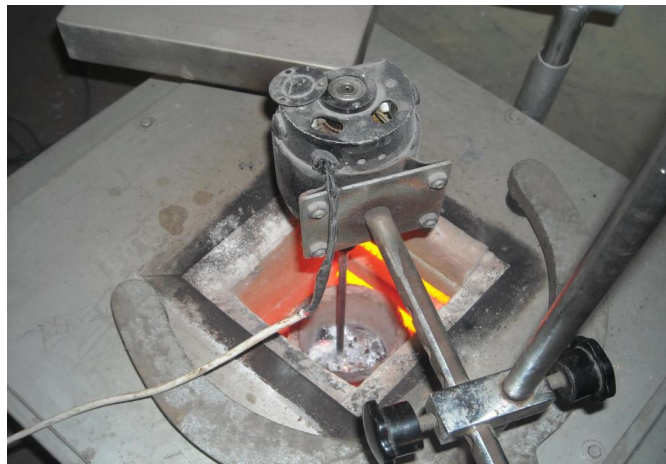
BÖLÜM 6

REFERANS ALINAN ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI

Referans alınan çalışmaların birçoğu karıştırmalı döküm yöntemiyle üretilmiştir. Bu nedenle çalışmalarda genellikle ısıtma kabiliyeti üzerinde durulmuş ve buna bağlı olarak ara yüzey bağlarının kuvvetlenmesi sağlanmaya çalışılmıştır.

6.1 Karıştırmalı Döküm Yöntemi

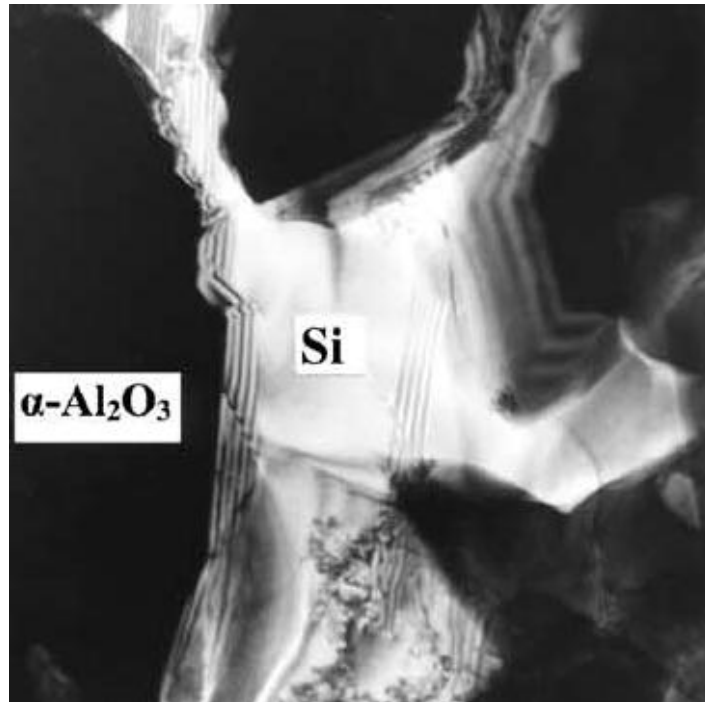
Şekil 6.1'deki gibi bir düzenekte yapılan prosesin esası ergimiş alüminyumun içerisine ilave edilen uçucu kül partiküllerinin karıştırıcı bir çubukla belirli bir süre karıştırılıp kalıba dökülmesi esasına dayanır.



Şekil 6.1 Karıştırmalı döküm düzeneği [2]

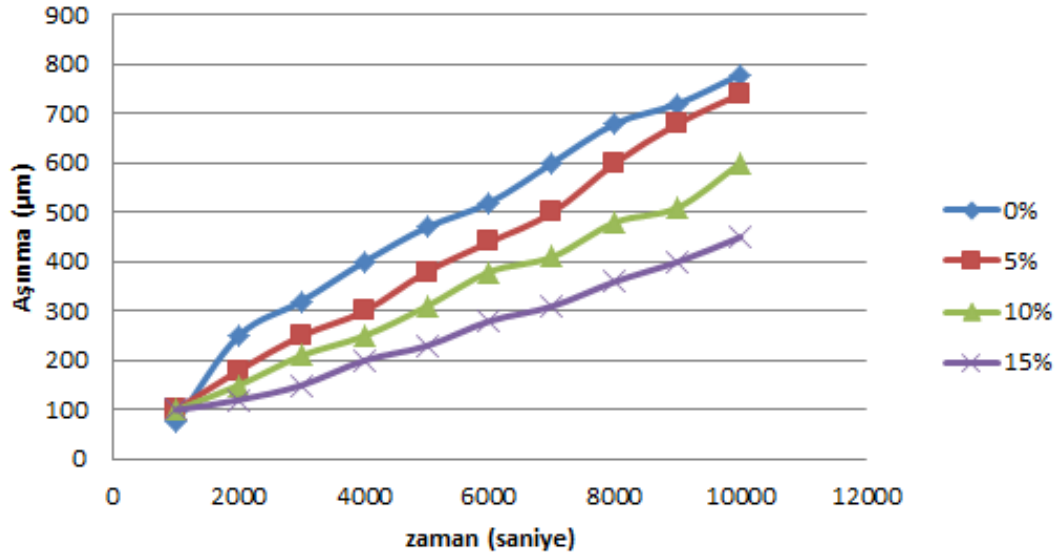
M. Ramachandra ve K. Radhakrishna karıştırılmalı döküm yöntemi üzerinde yaptıkları çalışmada ıslatma kabiliyetini arttırma amacıyla %12 Si takviyeli kompozit malzeme üretilmiş ve aşınma testleri yapmıştır. Sonuç olarak; aşınma dayanımının uçucu kül takviyesiyle %20-30 oranında arttığı, ancak; ara yüzeyde oluşan boşluklar nedeniyle korozyon hücrelerinin oluşması nedeniyle uçucu kül oranının artmasıyla korozyon dayanımının azaldığı gözlenmiştir [23].

R.Q Guoa ve P.K. Rohatgi ise üretim aşamalarındaki kimyasal reaksiyonları incelemiştir. 850 °C'de sıvı alüminyum ve uçucu külün karıştırılmasındaki kimyasal reaksiyonlarla uçucu kül içerisinde bulunan SiO_2 ve Fe_2O_3 oksitlerinin Fe ve Si elementlerine indirgendiğini, dolayısıyla da ilk yapıda bulunandan daha fazla Al_2O_3 meydana geldiğini ve bu reaksiyonun 10 saat boyunca devam ettiğini gözlemişlerdir. Bu kimyasal reaksiyon sonucunda yapıda daha fazla Al_2O_3 olması sebebiyle kompozit malzemenin aşınma dayanımının daha yüksek çıkması da çalışmanın sonuçları arasındadır [16].



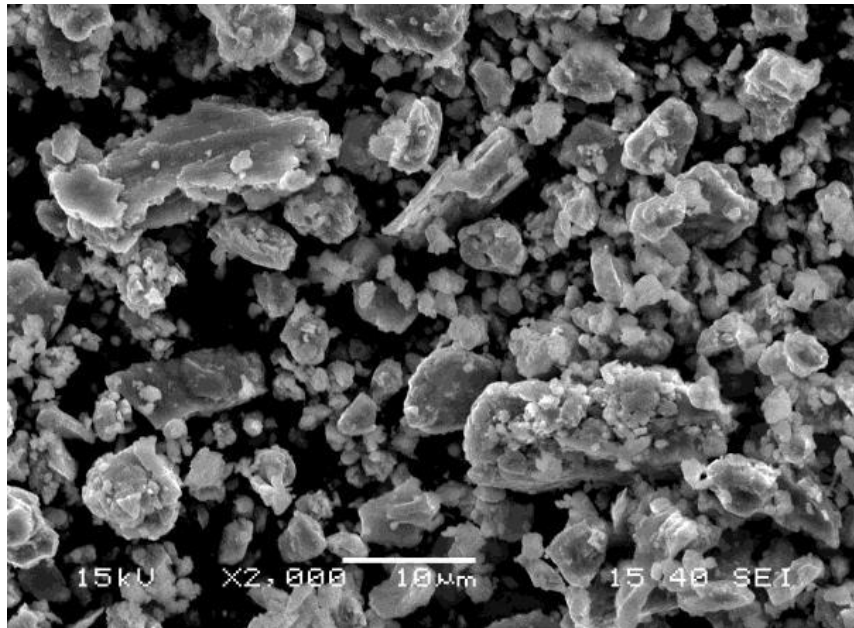
Şekil 6.2 Si ve Al_2O_3 yapılarının SEM görüntüsü [16]

Şekil 6.2'de kompozit malzeme oluşumu sırasında SiO_2 indirgenerek Si olduğu ve Al_2O_3 oluştuğu açıkça görülmektedir [24]



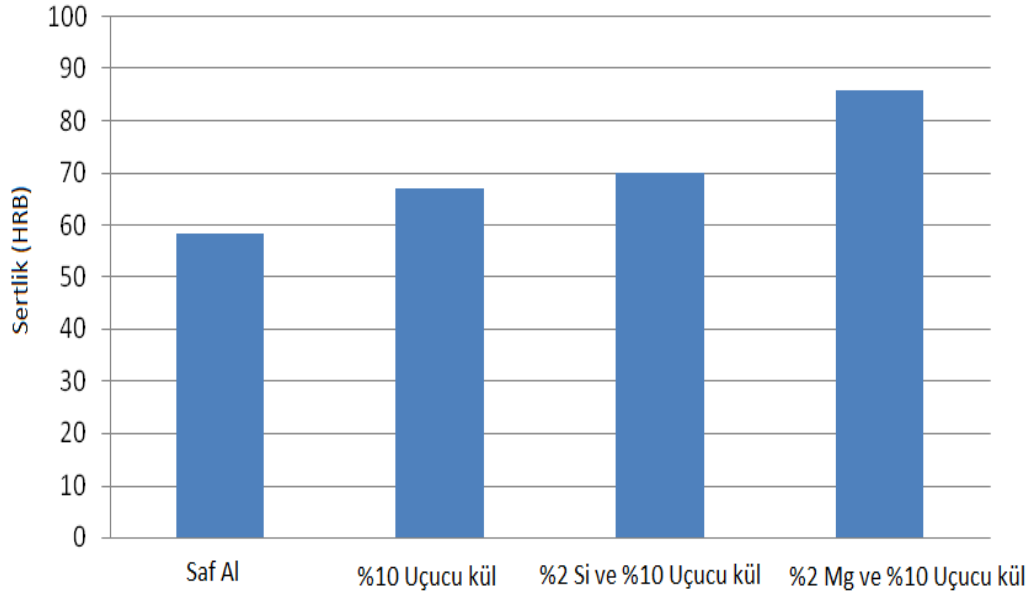
Şekil 6.3 Uçucu kül ilavesinin aşınma dayanımına etkisi [16], [24]

Aşınma dayanımını inceleyen Sudarsan ve M.K. Surappa ise tane boyutu üzerinde çalışmalar yapmış ve 53 – 106 μm aralığındaki uçucu küllerin aşınma dayanımı açısından daha verimli olduğu sonucuna varmıştır. Şekil 6.1’de verilen μm cinsinden kayıp malzemedeki yükseklik azalışı ile hesaplanan aşınma miktarını göstermektedir. Ayrıca; kırılma yüzeylerinin incelenmesinde ise uçucu kül oranının artmasıyla birlikte daha kırılma bir kırılma yüzeyi elde etmişlerdir [25]



Şekil 6.4 Kompozit malzemenin kırılma yüzeyi [25]

S. Sarkar, S. Sen ve S. C. Mishra ise karıştırmalı döküm yöntemi ile %17 oranına kadar uçucu külün alüminyumun içerisinde çözünemediğini, Si ve Mg ilavesinin ıslatma kabiliyetini arttırdığını ortaya koymuşlardır [18]. Çizelge 6.5'te Si ve Mg ilavesinin kompozit malzemeye olan etkisi verilmiştir.

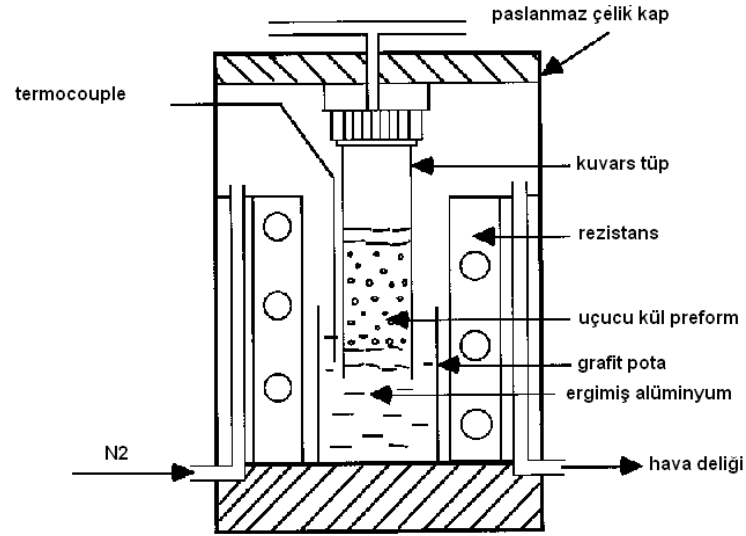


Şekil 6.5 Si ve Mg ilavesinin sertliğe etkisi [26]

Çizelge 6.2'de de görüldüğü gibi Si ilavesiyle ıslatma kabiliyeti artmış, sonuç olarak sertlik de artmıştır. Bunun yanı sıra; Mg ilavesi Si ilavesine göre ıslatma kabiliyetini daha çok arttırdığı için sertlik de çok daha yüksek çıkmıştır [27]

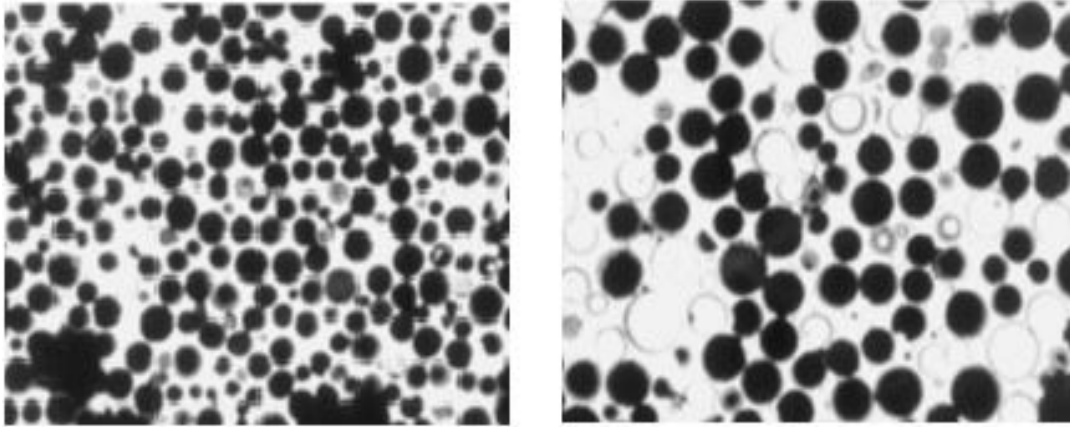
6.2 Basıncılı İnfiltrasyon Yöntemi

Basıncılı infiltrasyon yöntemi uçucu külden elde edilen preformun üzerine ergimiş alüminyumun dökülmesi ve farklı yollarla basınç uygulanıp alüminyumun preforma infiltre edilmesi esasına dayanır.



Şekil 6.6 Basıncılı infiltrasyon ünitesinin şematik gösterimi[28]

P.K. Rohatgi ve N. Gupta çalışmada basıncılı infiltrasyon yöntemiyle çalışmalar yapmış ve bu yöntemle ıslatma kabiliyetinin daha az etkili olduğunu bu nedenle daha fazla uçucu kül takviyesi yapılabileceğini ortaya koymuşlardır. Bu yöntemle deneysel çalışmalarında hacimce %20-65 arasında uçucu kül takviyesi yapılabilmektedir [29].



Şekil 6.7 Basıncılı infiltrasyon sonucu SEM görüntüleri [29]

Mikro yapı incelemelerinde homojen bir yapı elde edilmiş ve iyi mekanik sonuçlar alınmıştır. Ayrıca; preform yapımından önce uçucu kül tanelerine Ni kaplama yapılmasının da infiltrasyonu artırıcı bir etki yarattığı çalışmada gözlenmiştir.

Yine basıncılı döküm yöntemi ile deneysel çalışmalar yapan J. Sobczak, J. Bienias ve çalışma ekibi basıncılı döküm ve kokil döküm arasındaki farklar için bir sonuç elde etmiştir. Elde ettikleri sonuçlar; basıncılı döküm ürünlerinin daha homojen yapıya sahip,

daha az gaz boşlukları içeren ve ara yüzey bağlarının çok daha yüksek olmasıdır. Bu çalışmada da uçucu kül ve alüminyum ara yüzey bağı için basınçlı dökümün önemini göstermektedir.

6.3 Referans Çalışmaların Sonuçları

6.3.1 Üretim Yöntemleri

Karıştırmalı döküm yöntemi prosesin uygulanışı açısından en kolay yöntemdir. Çünkü; karıştırmalı bir döküm sisteminin içerisinde eritilen alüminyuma uçucu kül ilavesi ile malzeme elde edilir [30].

Ancak; uçucu kül içeriği açısından ıslatma özelliği çok problemli olan bir malzemedir. Dolayısıyla; karıştırmalı döküm sistemindeki en büyük sorun olan ıslatma problemi ciddi bir sıkıntı yaratmaktadır. Karıştırmalı döküm yönteminde ıslatma problemini ortadan kaldırmak için uçucu kül yüzeyini Ni kaplama, ön ısıtma uygulama ve karıştırma esnasında ıslatma kabiliyetini artırıcı Mg gibi ajanların karıştırılması genellikle tercih edilir. Ancak; yine de karıştırmalı döküm yönteminde %10-15 'den fazla uçucu kül içeren kompozit malzemelerde ıslatma probleminden kaynaklanan aşınma direncinde ve sertlikte büyük azalmaların görüldüğü bilinmektedir [2].

Toz metalürjisi yöntemi ıslatma probleminin olmamasından dolayı ön plana çıkan bir yöntemdir. Esas olarak; alüminyum ve uçucu kül tozlarının bağlayıcı bir tozla karıştırılır. Toz karışımının alüminyumun ergime derecesine yakın bir derecede sinterleme yapılmasıyla uçucu kül, alüminyum ara yüzey bağı sağlanmış olur.

Buradaki önemli faktörler alüminyumun çabuk oksitlenmesinden dolayı atmosfer kontrolünü çok iyi yapmak ve sinterlemede tozların bağlanması için gerekli sıcaklık, zaman ve tane boyutu gibi parametrelere dikkat etmektir [29].

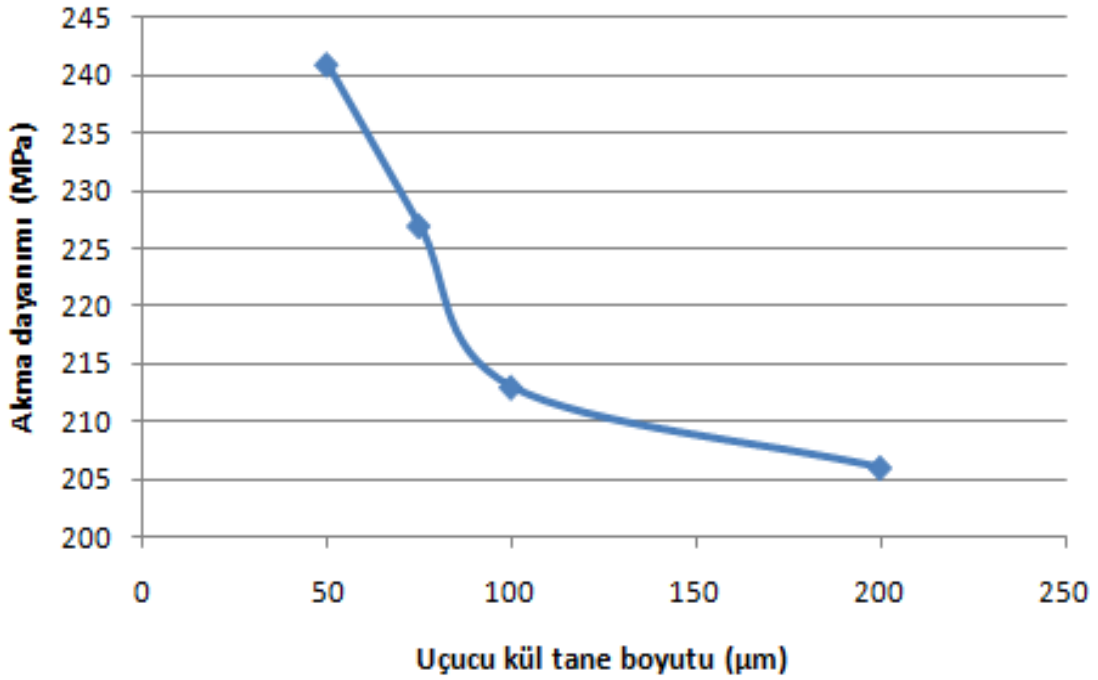
Basınçlı infiltrasyon yöntemi uygulanış ve sonuç değerler açısından en verimli yöntemdir. Çünkü; ıslatma problemi basıncın uygulanmasıyla çözülür ve toz metalürjisi yönteminde meydana gelen bağlanma problemi de engellenir. Basınçla gözeneklilik oluşumu engellenir ve sonuç olarak meydana çıkan ürün mekanik özellikler açısından daha iyidir.

Bu yöntemdeki kritik noktalar ise; preform yapımı ve gözeneklilik kontrolüdür. Preformda homojen gözeneklilik oluşumu basınca dayanıklılık için mekanik özelliklere dikkat edilmeli, infiltrasyonda ise gözenekliliğin oluşmaması için basıncın ve alüminyum alaşımının seçimi önemlidir.

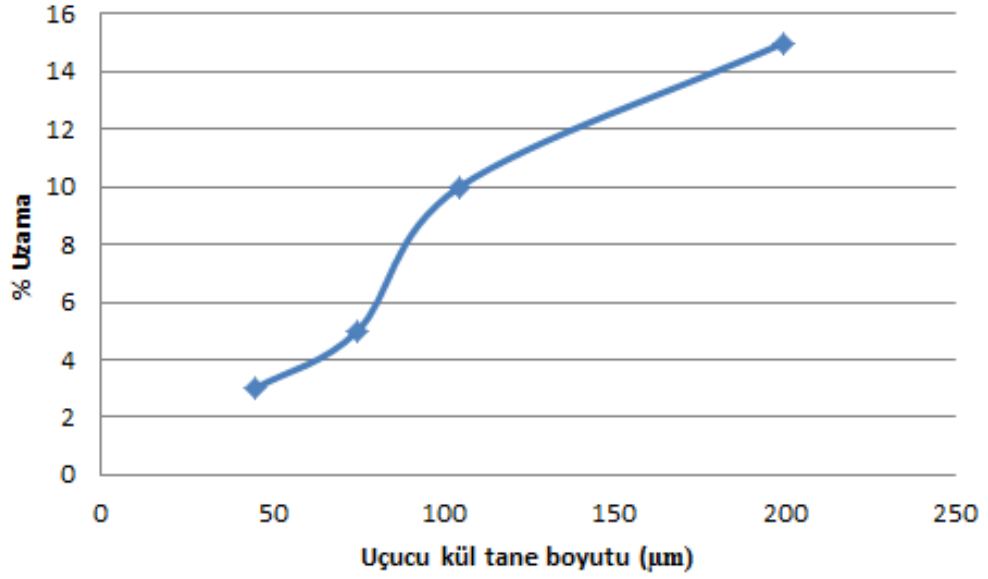
Deney çalışmalarına başlamadan önce alternatifini deneyeceğimiz malzemelerin belirlenmesi gerçekleştirilmiştir [26].

6.3.2 Mekanik Özellikler

Artan uçucu kül tane boyutlarıyla birlikte malzemenin akma dayanımında düşüş meydana gelmiştir. Şekil 6.8’de tane boyutlarının akma dayanımına etkisi görülmektedir.



Şekil 6.8 Tane boyutunun akma dayanımına etkisi [14]



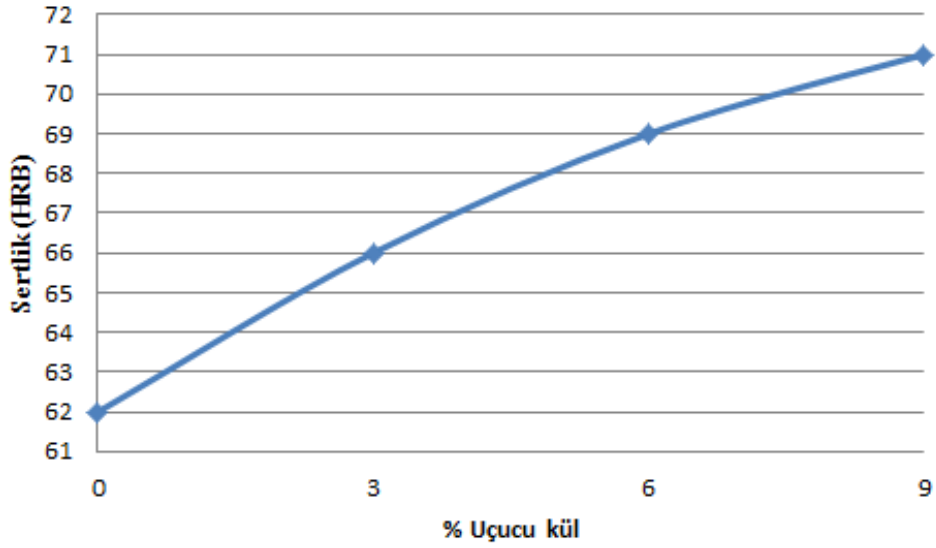
Şekil 6.9 Tane boyutunun % uzamaya etkisi [14]

Akma dayanımının aksine uçucu kül tane boyutunun artışıyla birlikte % uzama miktarında bir artış meydana gelmiştir.



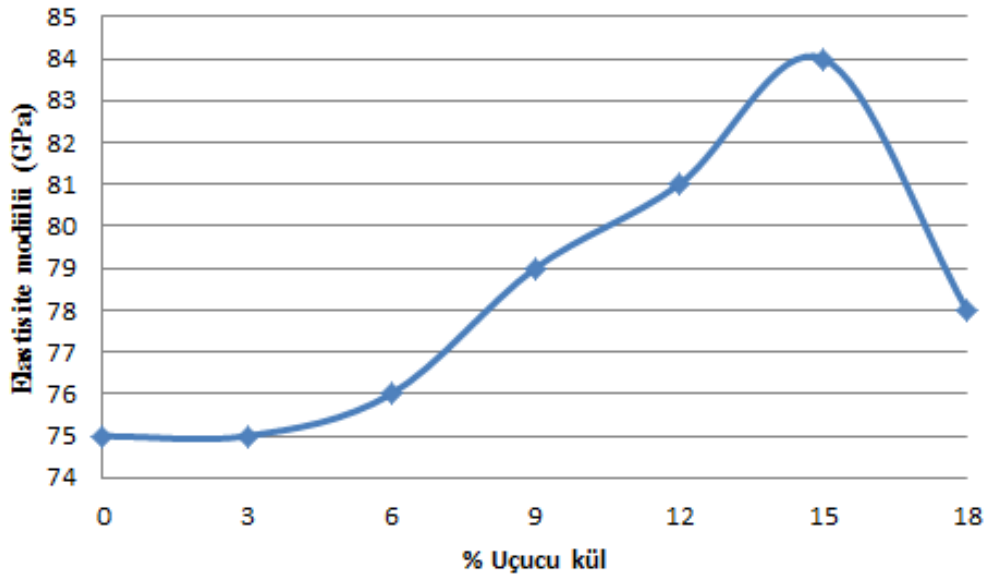
Şekil 6.10 Uçucu külün yoğunluğa etkisi [14]

Çöktürücü tip uçucu külün yoğunluğu 2.2 gr/cm^3 'tür. Alüminyuma uçucu kül ilavesi arttıkça yoğunlukta da bir düşüş meydana gelir. Ancak; uçucu külün yanı sıra, üretimde oluşacak gözenekliliğin de yoğunluğa önemli bir etkisi vardır [33].



Şekil 6.11 Uçucu külün sertliğe etkisi [31]

Çöktürücü tip uçucu külün yoğunluğu 2.2 gr/cm^3 'tür. Sertliğin artışıyla uçucu külün içerisinde bulunan Al_2O_3 miktarı etkilidir. Ancak; uçucu külün içerisinde bulunan sertlik arttırıcı oksitlerin malzemeye etki edebilmesi için matris ve takviye elemanı arasındaki ara yüzey bağı çok iyi olmalıdır(33).



Şekil 6.12 Uçucu külün elastisite modülüne etkisi [32]

Özellikle %5 uçucu kül oranından daha büyük oranlarda elastisite modülünde ciddi bir artış gözlenmiştir. Ancak; belirli bir orandan sonra alüminyumun içerisinde çözebileceği uçucu kül miktarının üstüne çıkılır ve bu orandan sonra mekanik özelliklerde bir azalma

görülür. Özellikle karıştırmalı döküm yönteminde %15'ten fazla yapılan uçucu kül ilavelerinde bu özellik dikkat çekmiştir. Ancak; basınçlı infiltrasyon yöntemi ile yapılan çalışmalarda % 65'e kadar uçucu kül takviyesi yapılabildiğı, mekanik özelliklerde bu şekilde bir düşüş yaşanmadığı referans çalışmalarda açıkça görülmüştür.

Bu nedenle; deneysel çalışma bölümünde basınçlı infiltrasyon yöntemi ve uçucu kül dolgulu AMK malzemelere alternatif bir üretim yöntemi olabilecek toz metalürjisi yöntemleri denenmiştir [31].

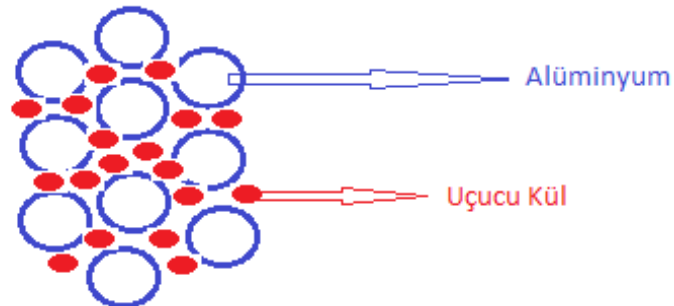
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1 Toz Metalurjisi Yöntemi

Karıştırmalı döküm yönteminde meydana gelen ıslatma probleminin önüne geçilebilmesi açısından alternatif olabilecek iki yöntemden biri toz metalürjisidir.

Yapılan çalışmada öncelikle tane boyutu ve kullanılacak toz karakteristikleri seçilmiştir. Alüminyumun net olarak uçucu külle olan birleşebilme karakterizasyonunu yapabilmek için %99.9 saflıkta alüminyum tozu seçilmiştir. Uçucu kül ise Çatalağzı Termik Santrallerinden alınan yüksek Al_2O_3 ve SiO_2 içerikli uçucu kül seçilmiştir.

Tane boyutu açısından alüminyum ve uçucu kül arasındaki birleşebilme problemini en aza indirebilmek için matris malzemesi olan alüminyum daha büyük boyutta, dolgu malzemesi olan uçucu kül ise alüminyum taneleri arasında kalacak şekilde daha küçük seçilmiştir.



Şekil 7.1 Alüminyum taneleri ile uçucu kül tanelerinin boyutsal dağılımı

Alüminyum tozlarının boyutları 100 μm 'dir. Çatalağzı Termik Santrallerinden alınan uçucu kül filtre edilmiş uçucu küldür. Filtreden geçmesi nedeniyle çok küçük tane boyutlarına sahiptir. Filtreden geçtiği için ve tane boyutları birbirine çok yakın olduğu için elek analizi yapılmamıştır. Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Metalürji Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarlarında bulunan lazer tane boyutu ölçüm cihazıyla tane boyutu ölçülmüş. Farklı numunelerden alınan tane boyutlarının analizi aşağıda verilmiştir.

Çizelge 7.1 Tane boyutu analizleri

	1. Analiz	2. Analiz	3. Analiz	Ortalama Tane Boyutu
Tane Boyutu (μm)	4.74	5.72	5.03	5.16

Ortalama tane boyutu 5.16 μm 'dir. Analizlerde görüldüğü gibi tane boyutları birbirine çok yakındır. Bu nedenle toz metalürjisinde kullanılacak külün filtreden geçmiş uçucu kül olması önemli bir etkindir.

Presleme işlemine geçmeden önce uçucu kül tanelerinin nemini almak amacıyla 200 °C de 2 saat süreyle kurumaya bırakılmıştır ve toz karıştırma işlemi yapılmıştır. Toz karıştırma işlemi mekanik karıştırıcıda her bir toz 45 dakika süre olmak üzere karıştırılmıştır.

Çizelge 7.2 Preslemede kullanılan tozların ağırlıkça oranları

	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5
Alüminyum (%)	99	94	89	84	79
Uçucu Kül (%)	-	5	10	15	20
Stearik asit (%)	1	1	1	1	1

7.1.1 Presleme

Presleme işlemi Toz Metal A.Ş bünyesinde bulunan toz metal presleme cihazlarıyla yapılmıştır. Presleme işleminde ilk çalışmalarda malzemede parçalara ayrılma, çatlama ve çapak oluşumu gözlenmiştir. Bunun nedeni; bağlayıcı olarak çinko stearat seçilmesi olduğu ortaya çıkmıştır. Çünkü; çinko stearat demir içerikli malzemeler için daha kullanışlıdır. Şekil 7.2 ve 7.3'te çinko stearat içeren malzemelerin kırılganlığı görülmektedir. Bu nedenle farklı bağlayıcılar denenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 7.2 Çinko stearat içerikli %5 uçucu kül içeren tozun presleme görüntüsü



Şekil 7.3 Çinko stearat içerikli %10 uçucu kül içeren tozun presleme görüntüsü

Demir dışı metallerin preslenmesinde hem bağlayıcı özelliği açısından hem de kalıptan çıkarken malzemenin aşınmaması açısından kullanılması gereken malzemenin stearik asit olduğuna karar verilmiştir. Stearik asitle yapılan preslemelerde çok düzgün ve hatasız sonuçlar elde edilmiştir.

Preslemede düşük presleme basınçlarında malzemelerde dağılma gözlenmiştir (500 MPa'dan az). Bunun sebebi ise uçucu kül tanelerinin şekil oluşturma kabiliyetinin düşük olmasıdır. Düşük basınçlarda preslenen malzemeler sinterlenmemiştir. Şekil 7.4 ve 7.5'te 500 MPa basınçtan düşük basınçlardaki preslemelerde malzemelerin dağıldığı görülmektedir.



Şekil 7.4 Basınç 500 MPa iken %5 uçucu kül içeren tozun görüntüsü

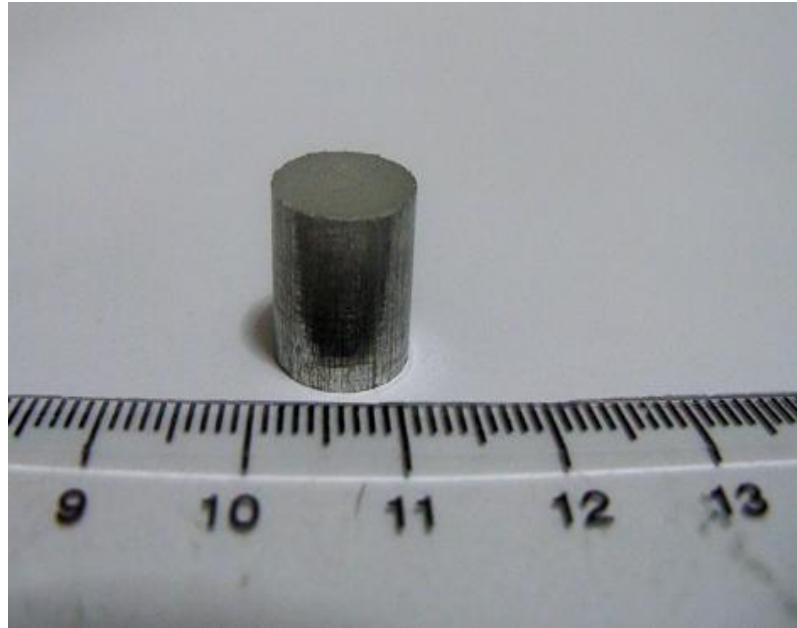


Şekil 7.5 Basınç 450 MPa iken %10 uçucu kül içeren tozun görüntüsü

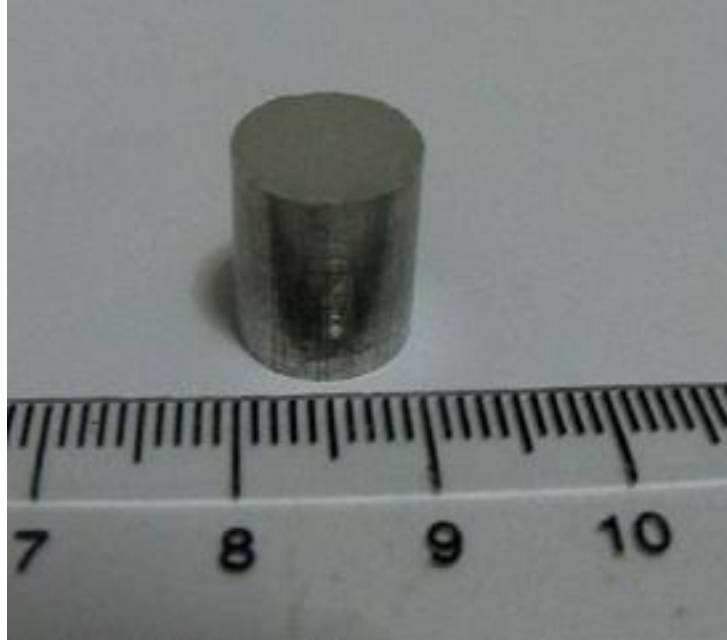
Ancak; yüksek basınçlarda (500 MPa'dan yüksek) çok daha düzgün ve sert malzemeler elde edilmiştir. Deneysel çalışma içerisinde 600 MPa, 650 MPa ve 700 MPa pres basınçları denenmiştir. Şekil 7.6, 7.7 ve 7.8'de görülen malzemelerde hem bağlayıcının doğru seçilmesi, hem de basıncın düzgün seçilmesi sonucunda düzgün malzemeler görülmektedir.



Şekil 7.6 Basınç 550 MPa iken TM2 numunesinin presleme görüntüsü



Şekil 7.7 Basınç 600 MPa iken TM3 numunesinin presleme görüntüsü



Şekil 7.8 Basınç 600 MPa iken TM4 numunesinin presleme görüntüsü

Presleme sonuçlarında 650 MPa ve 700 MPa basınçlardaki preslemelerde kalıptan çıkma sırasında malzemede çatlaklar ve aşınmalar gözlenmiştir. 550 ve 600 MPa basınçlarındaki preslemelerde ise en iyi sonuçlar alınmıştır. Hem malzemedeki gözenekliliklerin minimum olduğu, hem de yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi sonuçların alındığı basınçlar 550 ve 600 MPa basınçlarıdır.

7.1.2 Sinterleme

Toz metalürjisi yöntemi ile yapılan deneysel çalışmanın en problemli prosesi sinterleme prosesidir. Sinterlemede alüminyumun çok çabuk oksit tabakası oluşturması ve tam bir ergime olmamasından dolayı alüminyum taneleri ile kül taneleri arasında yeterli birleşmenin sağlanamaması önemli etkenlerdir.

Öncelikle; yapılan araştırmalarda Ar gazı altında sinterleme işleminin yapılması kararlaştırılmıştır. Sinterleme işlemi Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Metalurji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Nanoteknoloji laboratuvarında bulunan kapalı atmosfer sinterleme fırınında yapılmıştır.

Sinterleme işlemi 500 – 550 – 600 – 650 °C sıcaklıklarda 1-1,5 ve 2 saat sürelerde denenmiştir. İlk sonuçlarda 500 – 550 °C sıcaklıklarda ve 1- 1,5 saat sinterleme

sürelerinde malzemelerin sinterlemelerinde başarı sağlanamamıştır. Süre olarak 2 saat sinterleme süresi ve 600 – 650 °C derecelerde yapılan sinterleme sıcaklıklarında yapılan proseslerde mikro yapılarda sinterleme gözlenmiştir.

Bu deneylerde elde edilen sonuçlara göre optimum süre ve sıcaklığın bulunmasında veri aralıkları daraltılmıştır. Malzemeler 2 saat süreyle 600 – 620 – 630 – 640 ve 650 °C sıcaklıklarda sinterlenmiştir. Bu sıcaklıklarda elde edilen sonuçlarda ise 600 °C optimum sıcaklık olarak belirlenmiştir. 600 °C'nin üstündeki sıcaklarda artış oldukça sertliklerde düşüş gözlenmiştir. Bunun nedeni ise alüminyumun ergime noktasına yakın sıcaklıklarda kısmi ergimelerin olması ve aşırı tane büyümelerinin meydana gelmesidir.

Sonuçta optimum süre ve sıcaklığın bulunmasına rağmen mikro yapıda gözenekliliklerin olması ve sertlik değerlerinin çok düşük olması sinterleme işleminin yeterli olmadığı sonucunu ortaya koymuştur. Bu nedenle süre ve sıcaklık değerli dışında malzemeye olumlu etki edecek değişiklikler denenmiştir.

İlk olarak sinterlenmenin başarılı olmaması alüminyumun oksit tabakası oluşturmuş olabileceği düşüncesini ortaya koymuştur.

Bu sebeple Ar gazı basıncı 0,5 bar olarak uygulanırken, basınç 5 bara çıkarılmış ve sonuçta oksit tabakalarının oluşmadığı ve sinterleme prosesinin ciddi bir başarıyla sağlanmış olduğu görülmüştür.

İkinci olarak; gözeneklilik olmayan yerlerdeki bölgelerde de sertliğin düşük çıkması probleminin ise alüminyum ve uçucu kül tanelerinin arasındaki ısınma farklılıklarında olabileceği düşünülmüş ve kademeli ısıtma yapılmıştır.

Kademeli ısıtmayla tüm tanelerin aynı ısılara ulaşması aşama aşama gerçekleştirilip sinterleme yapıldığı için sertlik değerlerinde direk ısıtmaya oranla ciddi bir fark meydana gelmiştir. Kademe kademe yapılan tüm proses parametreleri Çizelge 7.3'de verilmiştir.

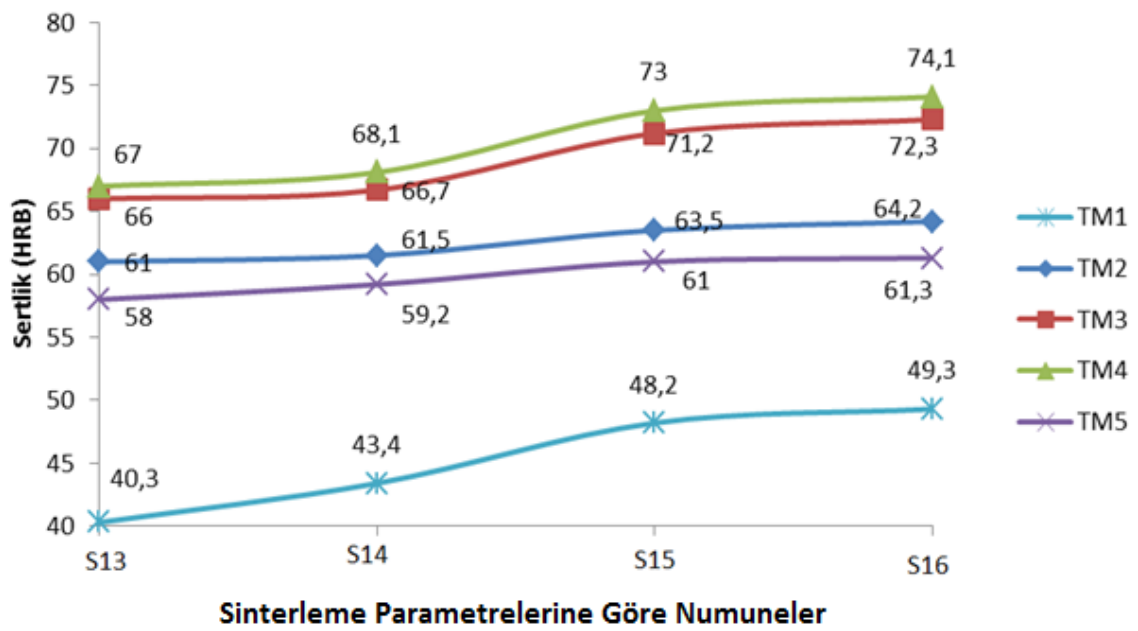
Çizelge 7.3 Numunelere uygulanan sinterleme parametreleri

	SICAKLIK (°C)	SÜRE (saat)	Ar GAZI BASINCI (bar)	ISITMA ŞEKLİ
S 1	500	1	0,5	hızlı
S 2	550	1	0,5	hızlı
S 3	600	1	0,5	hızlı
S 4	650	1	0,5	hızlı
S 5	500	1,5	0,5	hızlı
S 6	550	1,5	0,5	hızlı
S 7	600	1,5	0,5	hızlı
S 8	650	1,5	0,5	hızlı
S 9	500	2	0,5	hızlı
S 10	550	2	0,5	hızlı
S 11	600	2	0,5	hızlı
S 12	650	2	0,5	hızlı
S 13	550	2	5	hızlı
S 14	600	2	5	hızlı
S 15	550	2	5	kademeli
S 16	600	2	5	kademeli

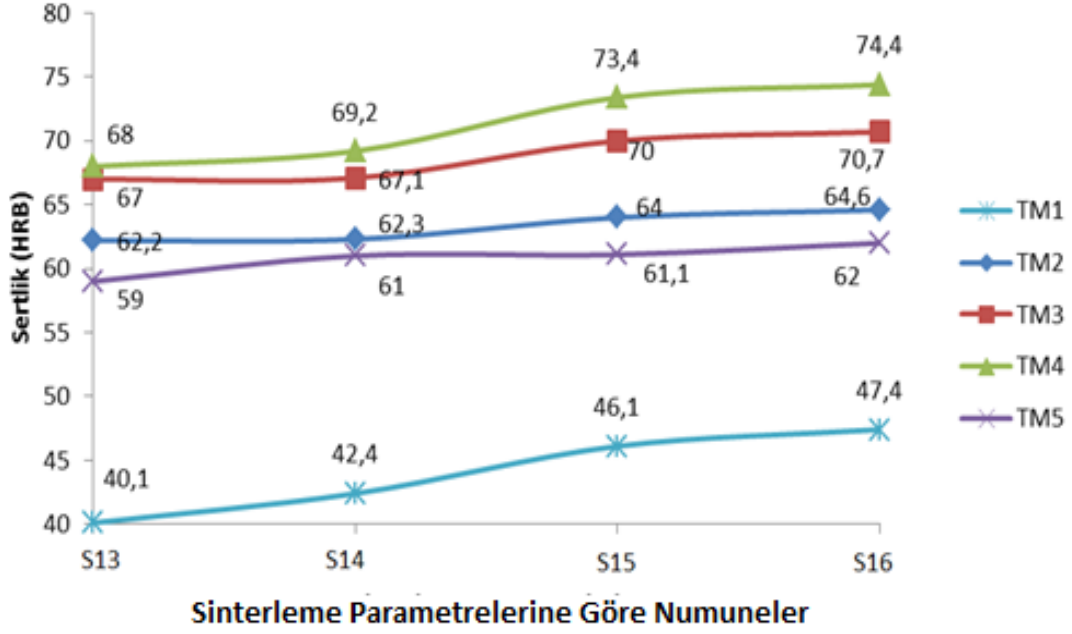
7.1.3 Sertlik

Sinterleme işleminin düşük sürelerde olması nedeniyle ilk 8 numune başarısız olmuştur. Dolayısıyla; ilk 8 numunenin sertlik değeri alınmamıştır. 9-10-11 ve 12. numunelerde ise Ar gazı basıncının yetersiz olması nedeniyle taneler arası tam birleşme sağlanamamıştır. Bu nedenle; sertlik ölçülürken ağırlık yükleme sırasında malzemelerde çatlama meydana gelmiştir. Dolayısıyla; malzeme sertlikleri kıyaslamasında 13-14-15 ve 16. numuneler ele alınmıştır.

Numune kıyaslaması açısından sırasıyla %5, %10, %15 ve %20 uçucu kül içeren TM2, TM3, TM4 ve TM5 numuneleri ele alınmıştır. Preslemede ise sertlik değerleri birbirine çok yakın olan 550 ve 600 MPa presleme basınçları ele alınmış ve iki basınç için ayrı grafik çizilmiştir.



Şekil 7.9 Basınç 550 MPa iken sertlik değerleri

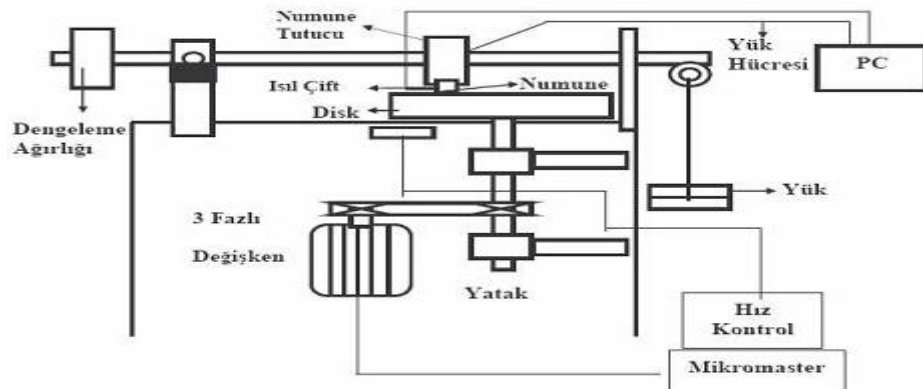


Şekil 7.10 Basınç 600 MPa iken sertlik değerleri

Grafikteki sonuçlar ele alındığında 550 ve 600 MPa basınçları arasında çok fark olmadığı görülmüştür. Sadece TM5 numunesinde uçucu kül oranının yüksek olması sebebiyle basıncın yüksek olması sertlik değerini biraz daha arttırmıştır. Sonuç olarak; %15 uçucu kül içeren numunenin sertlik değeri en yüksek çıkmıştır. Bu değerden daha yüksek orandaki uçucu kül bileşimlerinde dağılma olmuş ve sinterleme tam olarak sağlanamamıştır.

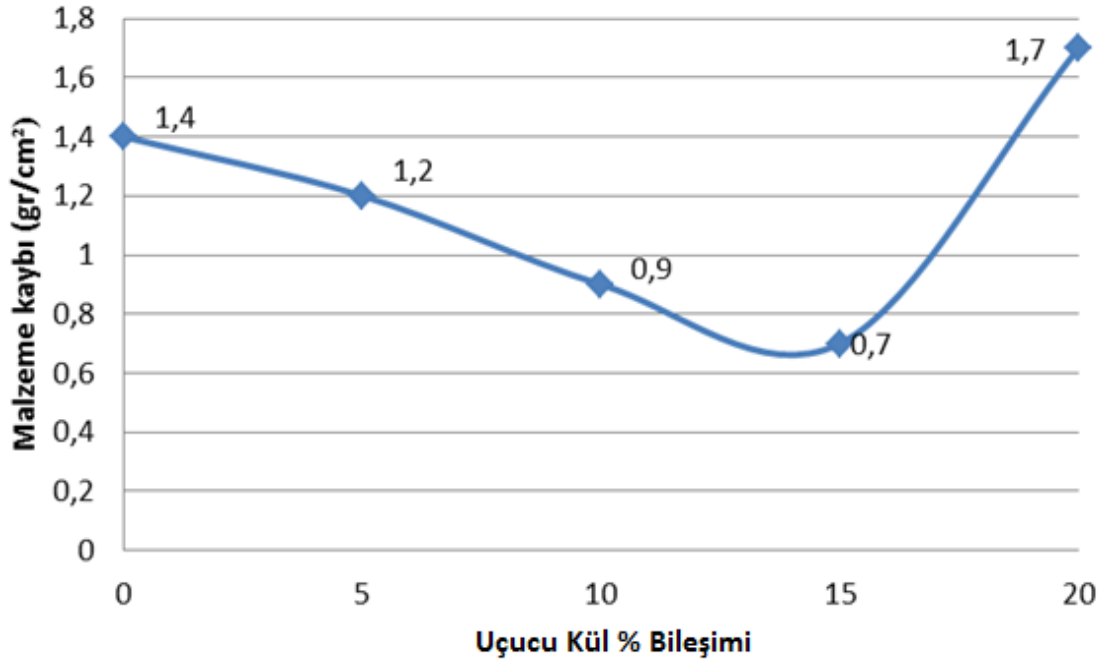
7.1.4 Aşınma Dayanımı

Aşınma testi Şekil 7.11’de verilen düzeneikle yapılmıştır.



Şekil 7.11 Aşınma testi düzeneği [33]

Deneyde aşındırıcı olarak SiC zımpara kullanılmıştır. Deney 3 dakika boyunca toplamda 500 devirde yapılmıştır. Temas çapı 10 mm olarak hazırlanan numunelerin üzerlerine uygulanan basınç 250 gr/cm²dir. Şekildeki deney tüm malzemeler için uygulandıktan sonra elde edilen malzeme kayıpları grafiği Şekil 7.12’de verilmiştir.



Şekil 7.12 Aşınma testinde malzeme kaybı

Aşınma dayanımı, toz metalürjisi yöntemi ile üretilen numuneler için sinterleme başarısını açıkça ortaya koyan bir test olmuştur. Çünkü; sinterleme prosesinin başarısız olduğu numunelerde taneler arası bağ yetersiz olduğu için kopmalar ve malzeme kayıpları meydana gelmiştir.

%20 uçucu kül bileşiminde malzeme kaybının fazla çıkması tamamen sinterlemenin başarısız olmasından kaynaklanır. Sinterleme başarısı sağlanabilseydi %15’ten daha az bir malzeme kaybı meydana gelmeliydi. Bu nedenle; sertlik karşılaştırmalarında da görüldüğü gibi aşınma dayanımında da %15 uçucu kül oranı en ideal sonuçları veren bileşim oranı olmuştur.

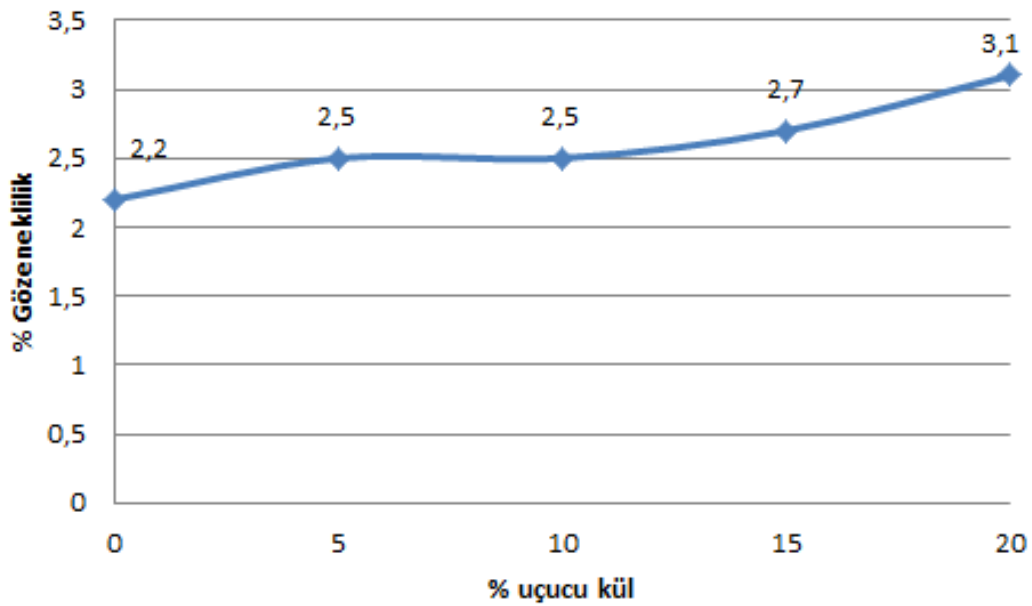
7.1.5 Gözeneklilik ve Yoğunluk

Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen kompozit malzemelerin gözeneklilik ve yoğunluklarının ölçümünde Archimedes testinden faydalanılmıştır. Archimedes testi

ASTM C20-80a standardına göre yapılmıştır. Standart olarak 2010 yılı düzenlemesi esas alınmıştır. Preformun sırasıyla 2 saat kaynayan suda ve 12 saat durgun suda bırakılması esasına dayanır. Malzemenin kuru ağırlığı (W_1), 2 saat kaynayan suda ve 12 saat durgun suda bekledikten sonra su içindeki ağırlığı (W_2) ve sudan çıkarılıp neminin hafifçe alınmasından sonraki ağırlığı (W_3) olmak üzere;

$$\% \text{ porozite} = \frac{W_3 - W_1}{W_3 - W_2} \times 100 \quad (7.1)$$

eşitliği ile hesaplanır.



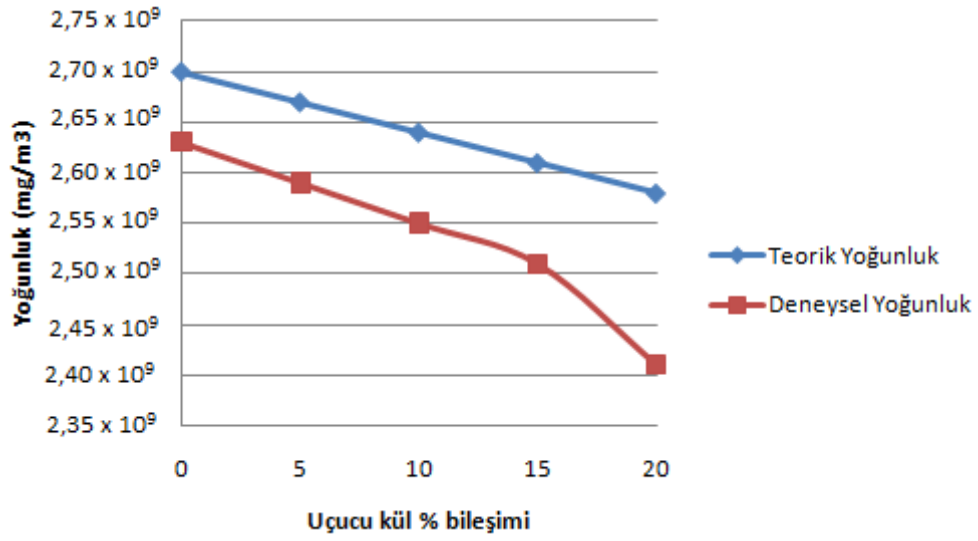
Şekil 7.13 TM malzemelerin % gözeneklilikleri

Yoğunluk hesabı ise yine Archimedes testine göre yapılır. Malzemenin yoğunluğu (d_m), malzemenin ağırlığı (W_1), suyun yoğunluğu (d_s), malzemenin suyun içindeki ağırlığı (W_2) olmak üzere;

$$\rho_m = \frac{W_1 \times d_s}{W_1 - W_2} \quad (7.2)$$

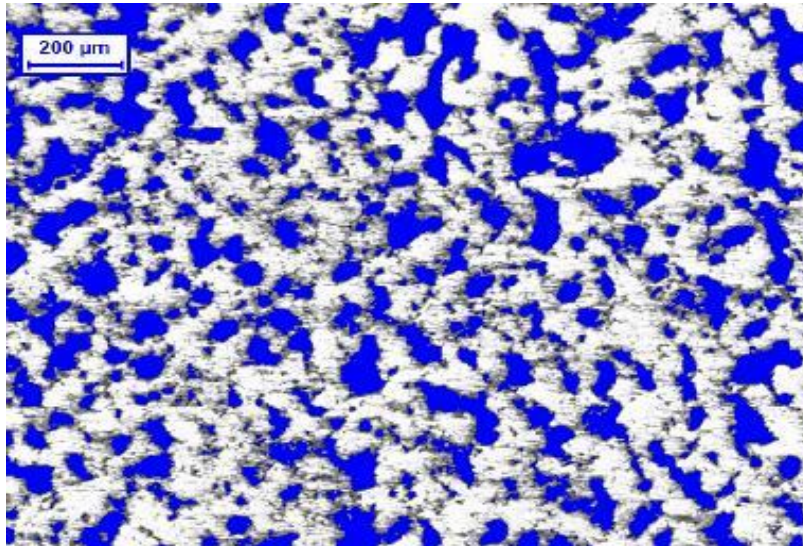
Formülü ile hesaplanır. Teorik yoğunluk hesabında ise; malzemenin yoğunluğu (ρ_m), alüminyumun yoğunluğu (ρ_a), uçucu külün yoğunluğu (ρ_u), alüminyumun hacimsel oranı (V_a) ve uçucu külün hacimsel oranı (V_u) olmak üzere;

$$\rho_m = (V_a \times \rho_a) + (V_u \times \rho_u) \quad (7.3)$$



Şekil 7.14 TM malzemelerin yoğunlukları

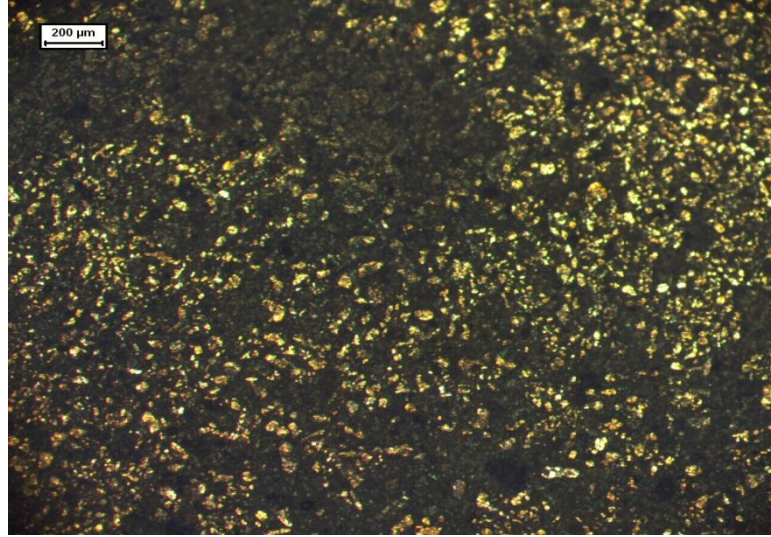
Yukarıda görülen teorik yoğunluk ve deneysel yoğunluk arasındaki farkları Archimedes testi sonucunda ortaya çıkan gözeneklilikler ile ilgilidir. Şekilde çizelgede de görüldüğü gibi özellikle %20 orandaki uçucu kül bileşiminde teorik yoğunluk ve deneysel yoğunluk arasındaki fark oldukça fazladır. Bunun sebebi de sinterlemenin yeterince olmaması ve gözenekliliklerin fazla olmasıdır.



Şekil 7.15 Mikro yapı alan hesabı görüntüsü

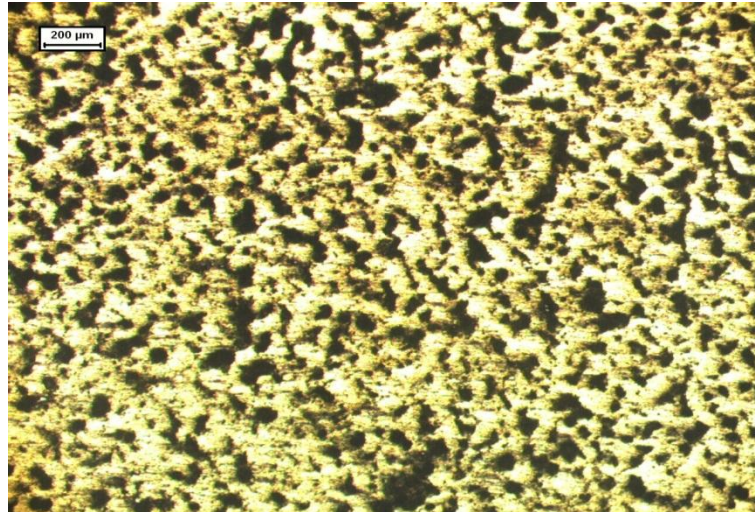
Mikro yapı alan hesabında verilen uçucu kül alüminyum oranlarına göre hesaplamalar da deneysel hesaplamalara çok yakın çıkmıştır.

7.1.6 Mikro Yapı İnceleme



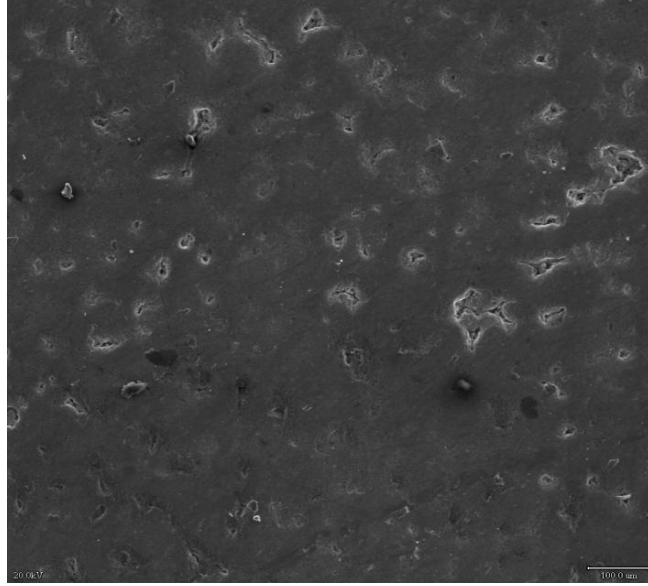
Şekil 7.16 550 Mpa – TM5 numunesinin - S16 sinterleme görüntüsü (50X)

Mikro yapıda alüminyum taneleri ile uçucu kül taneleri arasında sinterlemenin gerçekleşmediği, taneler arasında bağ olmadığı açıkça görülmektedir. Tane numune hazırlama işlemi uygulanmış bir yüzeyden daha çok kırık bir yüzeyin numunesi gibi görülmektedir. Bu görüntü de sinterlemenin başarısız olduğunun göstergesidir.



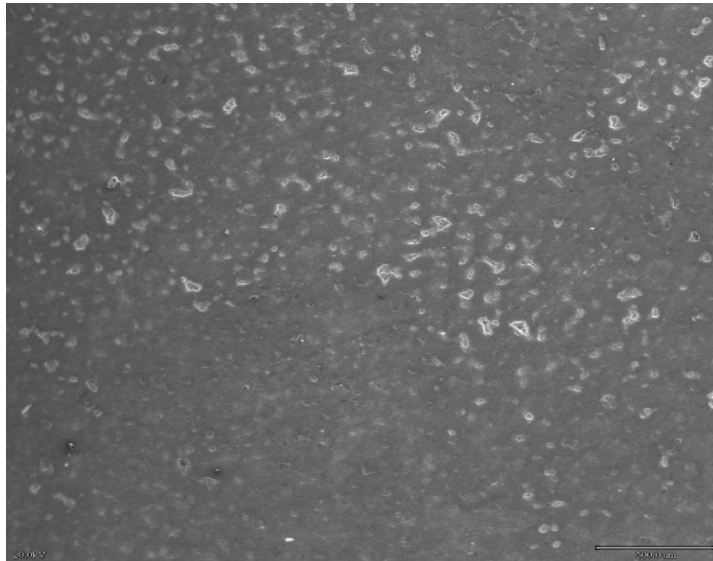
Şekil 7.17 600 Mpa - TM4 numunesinin - S16 sinterleme görüntüsü (50X)

Şekil 7.17'deki mikro yapıda da açıkça görüldüğü gibi numunede alüminyum ve toz taneleri düzenli bir dağılıma göstermiştir. Şekilde bulunan siyah bölgelerin içerisinde boşlukların da olabileceği düşünülmüş ve numunenin tarayıcı elektron mikroskopunda (SEM) da görüntüleri alınmıştır.

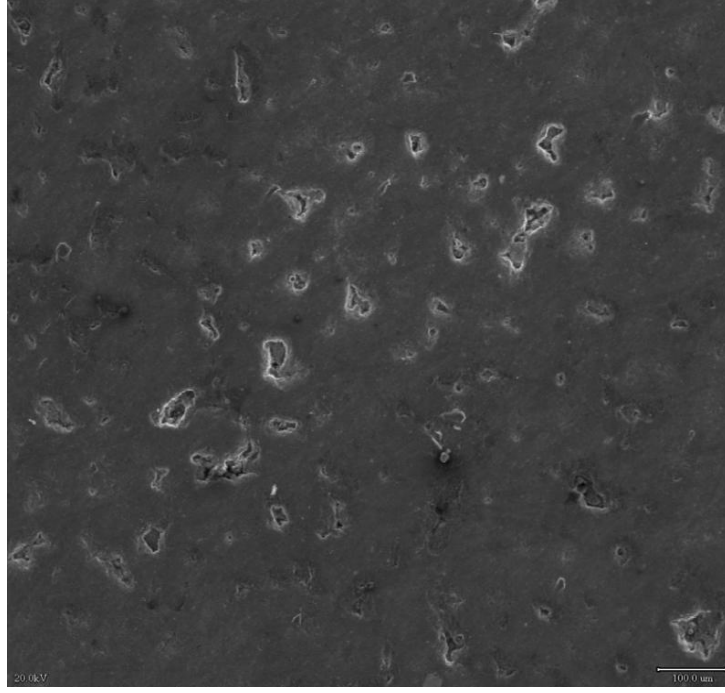


Şekil 7.18 600 Mpa - TM4 numunesinin - S13 sinterleme görüntüsü (100X)

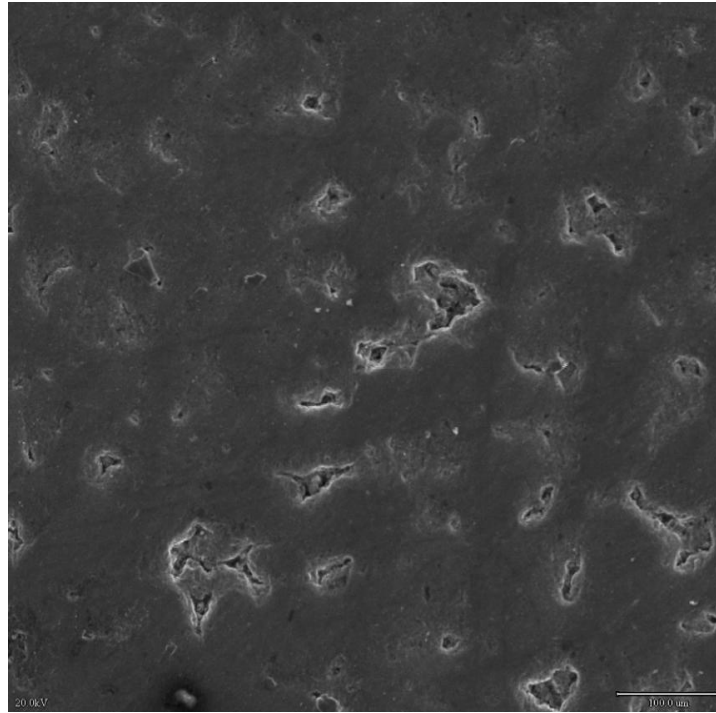
Şekil 7.18'de görülen yer yer boşluklar sinterlemenin bazı bölgelerindeki başarısızlığı göstermektedir. S13 sinterleme şartında hızlı ısıtma nedeniyle uçucu küllerin alüminyum tanelerine bağlanması tam sağlanamamıştır. Şekilde görüldüğü gibi boyları uçucu kül tanelerine yakın büyüklükte olan (2-5 μm) gözenekler bulunmaktadır.



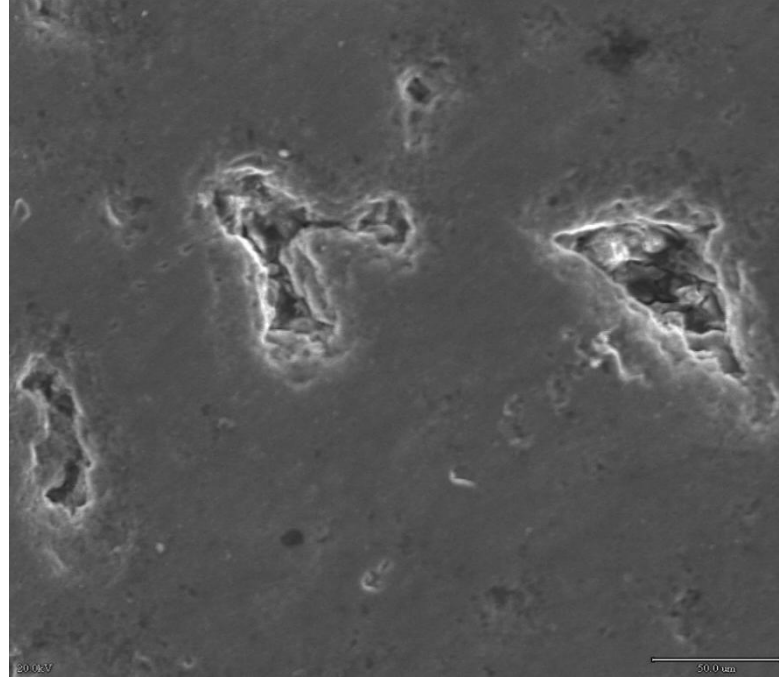
Şekil 7.19 600 Mpa - TM4 numunesinin - S16 sinterleme görüntüsü (35X)



Şekil 7.20 600 Mpa - TM4 numunesinin - S16 sinterleme görüntüsü (100X)

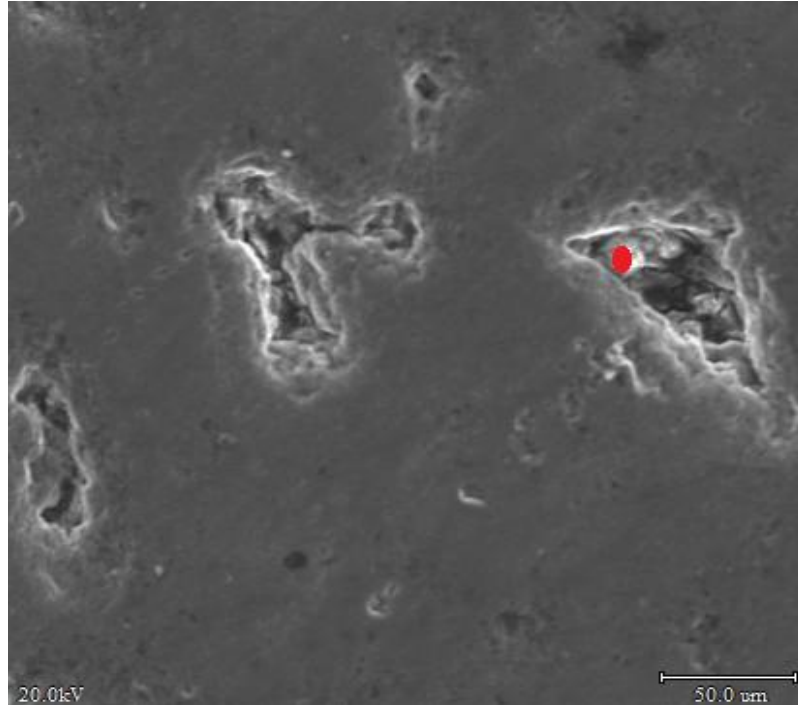


Şekil 7.21 600 Mpa - TM4 numunesinin - S16 sinterleme görüntüsü (150X)



Şekil 7.22 600 Mpa - TM4 numunesinin - S16 sinterleme görüntüsü (350X)

Büyültme oranının artmasıyla da yapıda düzensizlik ve boşluk olmadığı, sinterlemenin başarılı olduğu açıkça görülmüştür.



Şekil 7.23 TM nokta analizi görüntüsü

Ayrıca; şekildeki işaretli bölgeye yapılan nokta analizinde hem kül bileşimlerinin hem de alüminyumun istenilen oranlarda çıkması yapılan prosesin başarısını ortaya koymaktadır. Çizelge 7.4'te Şekil 7.23'de yapılan nokta analizinin kimyasal bileşimi verilmiştir.

Çizelge 7.4 TM nokta analizi

Kimyasal Bileşim	%
O	4.52
Al	79.85
S	2.04
Cl	4.51
K	1.16
Ca	7.92

Şekil 7.17'de taneler arası bağ meydana gelmiştir. Mikro yapıda da görüleceği gibi malzemenin sinterlenmesinde başarı sağlanmıştır. Ayrıca; alüminyum taneleri ve uçucu kül tanelerinin düzenli dağılımı da açıkça görülmektedir.

Sonuç olarak; toz metalürjisi yöntemi ile elde edilen uçucu kül dolgulu alüminyum matrisli kompozit malzemeler için optimum parametreler ve malzeme bileşimi belirlenmiştir. Bu parametreler Çizelge 7.5'da verilmiştir.

Çizelge 7.5 Toz metalürjisi optimum parametreler

Parametreler	Optimum Değerler
Ağırlıkça % uçucu kül değeri	15
Ağırlıkça % stearik asit	1
Presleme Basıncı (Mpa)	600
Sinterleme Sıcaklığı (°C)	600
Sinterleme Süresi (saat)	2
Ar gazı basıncı (bar)	5
Isıtma şekli	kademeli

7.2 Basınçlı İnfiltrasyon Yöntemi

Otomotiv sektöründe kullanılan alüminyum kompozit malzemelerin en yaygın üretim yöntemi basınçlı döküm yöntemleridir. Ancak; sıvı alüminyumun içerisine uçucu kül tanelerinin eklenmesi, karışımın kalıba dökülüp basınç uygulanması gibi klasik basınçlı döküm yöntemleri ıslatma problemi nedeniyle uçucu kül dolgulu alüminyum kompozit malzemeler için uygun değildir.

Bu problemi aşabilmek için infiltrasyon yöntemi denenmiştir. Deneyin esası uçucu kül tanelerinden gözenekli preform meydana getirip sıvı alüminyum preformun üzerine koyma ve basınç uygulayarak kompozit malzeme oluşturma esasına dayanmaktadır.

Hem teorik hem de deneysel açıdan basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretilen uçucu kül dolgulu alüminyum kompozit malzeme literatürü çok sınırlı olduğu için deneysel çalışmada birçok parametre değiştirilerek optimum sonuca ulaşılmıştır.

Basınçlı infiltrasyon sisteminin esası olan yukarıdan basınç sistemi yerine hassas döküm prensibinde alt tarafta derece ve üst tarafta sıvı alüminyum olacak şekilde proses yapılmış ve vakumla kompozit malzeme oluşturulmuştur.

7.2.1 Preform Yapımı

Basınçlı infiltrasyon yönteminde en önemli nokta preform oluşturacak dolgu malzemesinin preform oluşturabilme kabiliyetidir. Çünkü; sonuçta oluşacak preformun homojen gözenekliliğe sahip ve uygulanacak basınca dayanabilecek yeterlilikte olması gerekmektedir.

Preform yapabilmek için ana dolgu maddesinin yanı sıra sonuçta porozitenin oluşabilmesi için porozite yapıcı, karışımın sertleşmesi için sertleştiriciye ihtiyaç vardır. Bileşikler Çizelge 7.6'da verilmiştir.

Çizelge 7.6 Preformda kullanılan bileşikler

Ana Dolgu Maddesi	Sertleştirici	Porozite Maddesi
Uçucu kül	Kolloidal Silika	Dekstrin
		PVA

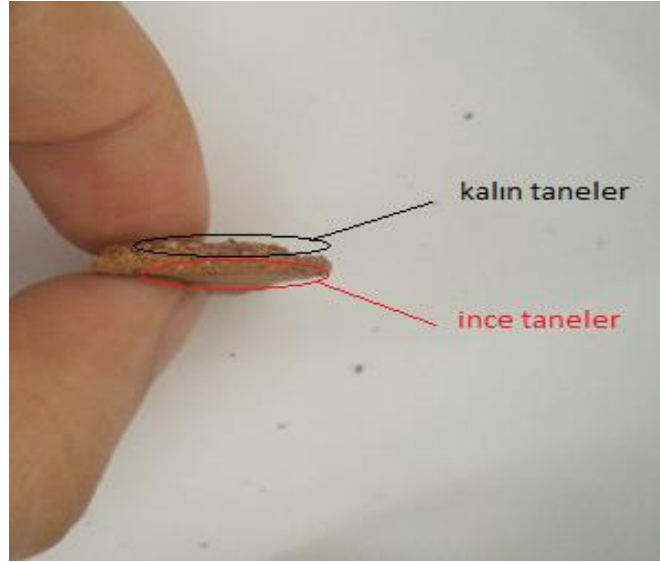
Deneysel çalışmada ilk aşamada porozite maddesi olarak dekstrin kullanılmıştır. Preform yapımı için ağırlıkça %40, %45, %50, %55 ve %60 oranında uçucu kül denenmiştir. Preform, için %30 luk dekstrin çözeltisinin daha uygun olduğu çalışmada saptanmıştır. Dekstrin çözeltisi, uçucu kül ve %5 kolloidal silika 1 saat boyunca karıştırılmıştır.

Çizelge 7.7 Preform deneylerinde ağırlıkça bileşim oranları

	Uçucu Kül (%)	Dekstrin Çözeltisi (%)	Kolloidal Silika (%)
Preform 1	40	55	5
Preform 2	45	50	5
Preform 3	50	45	5
Preform 4	55	40	5
Preform 5	60	35	5

Karışım hazırlandıktan sonra 4-5 gün kadar havada kurumaya bırakılmıştır. Çünkü fırında yapılan hızlı kurutmalarda ani büzüşmeden kaynaklanan çatlamlar meydana gelmiştir. Kuruma işleminin ardından uçucu külün pişirme sıcaklığı olan 950 °C de 3 saat pişirilmiştir. Sonuçta; dekstrin yapıdan uzaklaşmış ve poroziteli bir yapı oluşmuştur.

Ancak; dekstrinin jelleşme özelliğinin kötü olması nedeniyle preform kurumaya bırakıldığında sulu bir çözelti halinde kalmakta ve büyük taneler alt tarafta, küçük taneler üst tarafta birikmektedir. Dolayısıyla; homojen bir yapı oluşmamaktadır.



Şekil 7.24 Kuruma sonucu kalın ve ince tanelerin görüntüsü

Preform 1,2 ve 3 te oluşan numunelerin gözeneklilikleri çok olduğundan yeterli mukavemet sağlanamamış ve pişirme esnasında preformlarda çatlama, hatta dağılma meydana gelmiştir. Preform ve 4 ve 5'te daha düzgün yapılar elde edilse de dekstrinin jelleşme özelliğinin olmamasından dolayı hem homojen olmayan hem de mukavemeti kötü malzemeler meydana gelmiştir.



Şekil 7.25 Dekstrin içerikli preformun görüntüsü



Şekil 7.26 Dekstrin içerikli preformun görüntüsü

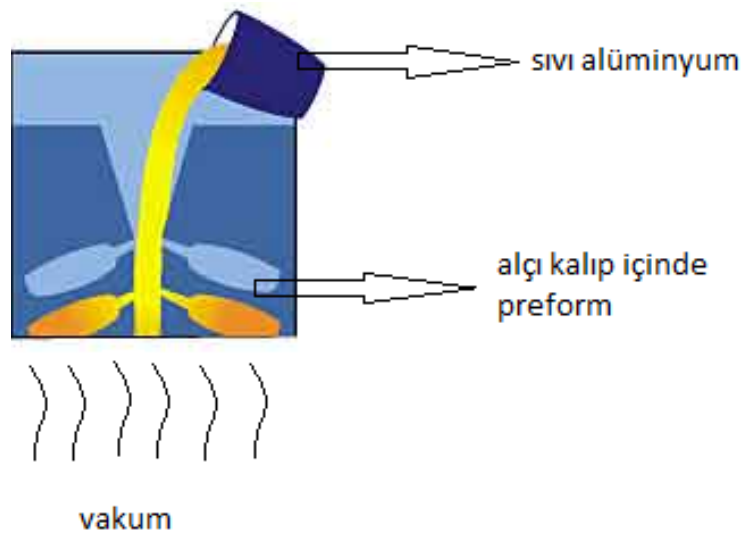


Şekil 7.27 Dekstrin içerikli preformun görüntüsü

Dekstrinde alınan sonuçlardan sonra preform yapımı için PVA kullanılmıştır. PVA dekstrine göre hem jelleşme özelliği hem de homojenliği daha yüksek olan bir maddedir. PVA denemelerinde kullanılan PVA çözeltisinin uçucu kül ıslatabilirliği denenmiş ve sonuç olarak %45 uçucu kül, %50 PVA ve %5 koloidal silika oranının en doğru oran olduğu saptanmıştır. Çünkü; uçucu külün yeteri kadar ıslanmadığı durumlarda mukavemet çok düşük kalmıştır.

Preform 3-4 gün kurumaya bırakıldıktan sonra 950 °C'de 3 saat pişirilmiştir. Sonuçta elde edilen preformda homojen dağılımı olan gözeneklilik yapısı ve yeterli mukavemet olduğu görülmüştür.

Preformda istenen özelliklerin elde edilmesinin ardından alüminyumun preforma infiltrasyonu işlemine geçilmiştir. Basınçlı infiltrasyon işleminde genel olarak kullanılan preformun üzerine dökülen sıvı alüminyuma yukarıdan uygulanan basınç yerine vakumlu basınç uygulanmıştır. Vakum makinesi içerisine yerleştirilen preform üzerine dökülen alüminyuma alttan vakum uygulanmış ve preformun gözeneklerine alüminyum girmesi sağlanmıştır.



Şekil 7.28 İnfiltrasyon deney düzeneği [33]

Vakum işleminden önce sıcaklık farkı nedeniyle vakum işleminin engellenmemesi için preform vakum işleminden önce 700 °C'ye ısıtılmıştır.

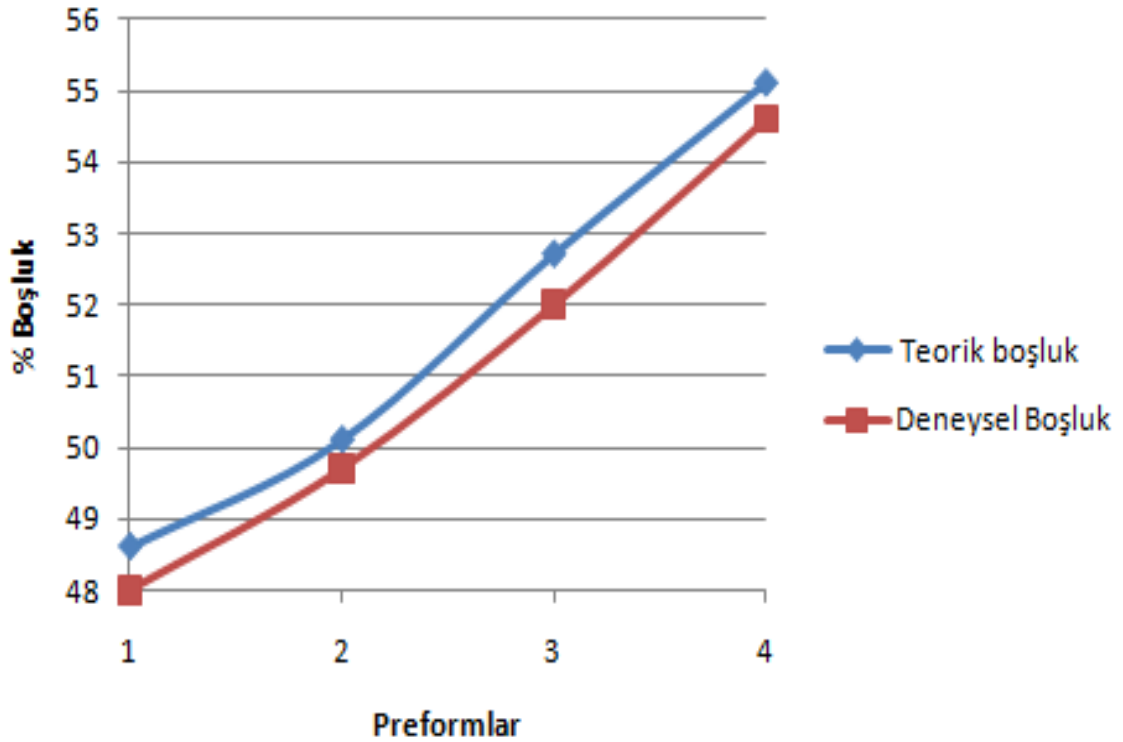
İnfiltrasyon işleminde elde edilen 2 farklı malzemede A413 ve 6063 alaşımı kullanılmıştır.

7.2.2 Porozite Oranı

Preformların porozite hesabı için archimedes testi uygulanır. Archimedes testi ASTM C20-80a standartına göre yapılmıştır. Standart olarak 2010 yılı düzenlemesi esas alınmıştır. Preformun sırasıyla 2 saat kaynayan suda ve 12 saat durgun suda bırakılması esasına dayanır. Preformun kuru ağırlığı (W_1), 2 saat kaynayan suda ve 12 saat durgun

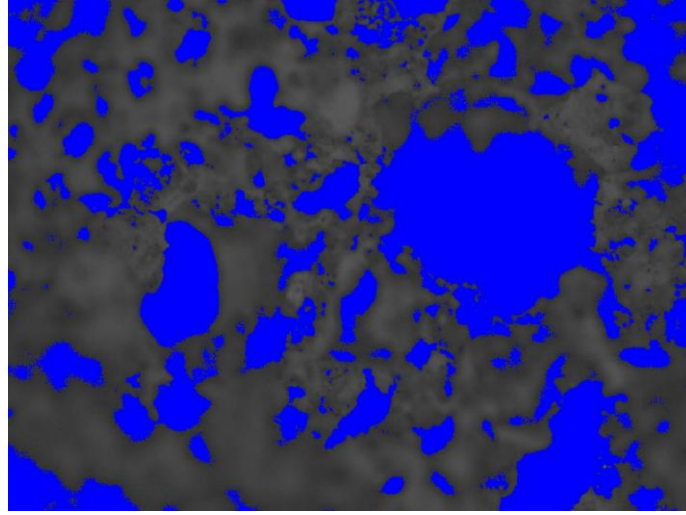
suda bekledikten sonra su içindeki ağırlığı (W_2) ve sudan çıkarılıp neminin hafifçe alınmasından sonraki ağırlığı (W_3) olmak üzere; Eşitlik 7.1'e göre gözeneklilik oranı belirlenmiştir.

Farklı 3 preforma yapılan test sonucunda elde edilen boşluk miktarları Şekil 7.29'da verilmiştir.



Şekil 7.29 Preform boşluk oranları

Archimedes testi sonrasında preformlarda birbirlerine yakın boşluk oranları elde edilmiştir. Bunun yanı sıra; teorik boşluk olarak verilen mikro yapı alan hesabında yapılan boşluk hesapları da deneysel hesaplamalara oldukça yakın değerlerde çıkmıştır. Şekil 7.30'te toplam mavi renkli bölgeler boşluk, toplam gri renkli bölgeler preform olmak üzere alan hesabı görüntüsü verilmiştir. Mikro yapıda alınan ortalama alan hesabı, deneysel çalışmada elde edilen alan hesabına çok yakın değerlerde çıkmıştır.

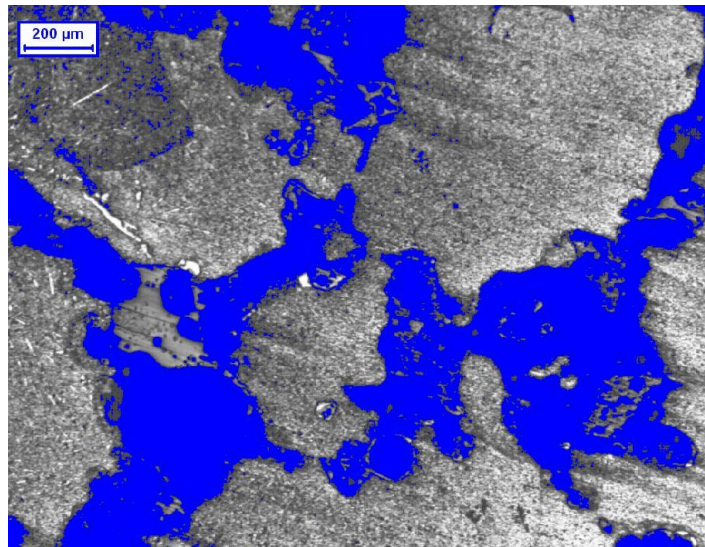


Şekil 7.30 Preformun mikro yapı alan hesabı görüntüsü

7.2.3 Kimyasal Bileşimler

Bu yöntemde toz metalurjisi yöntemi gibi hammaddelerin tartılıp karıştırılması gibi bir uygulama yoktur. Bu nedenle kimyasal bileşim için hesaplamalar yapılmıştır. Teorik kimyasal bileşim olarak preformda Archimedes testinde elde edilen boşluklara tamamen alüminyum dolması halinde elde edilecek kimyasal bileşimdir ve boşluk oranı kadar alüminyum anlamına gelir.

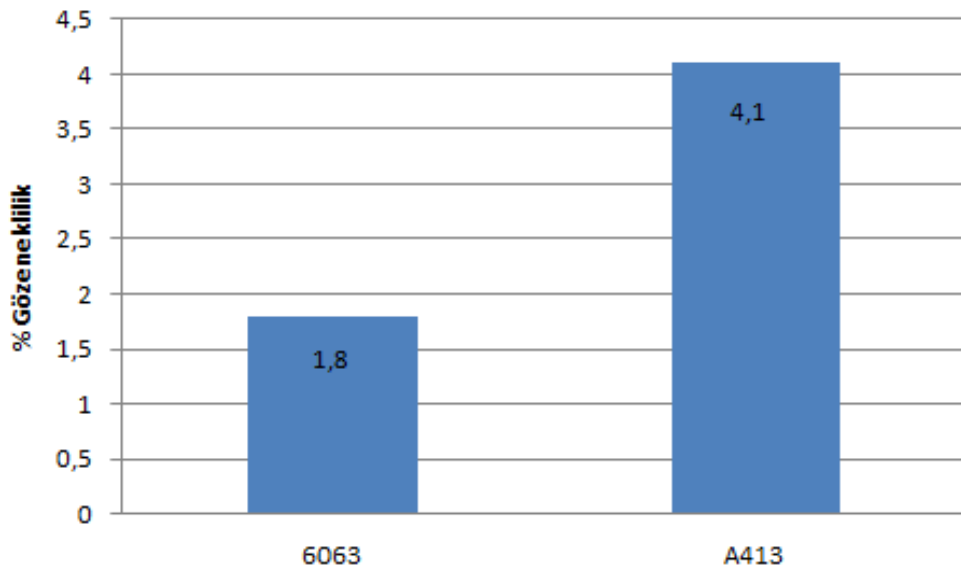
Bu teorik bilginin yanı sıra; kimyasal hesap için alan hesabı yapılmış ve uçucu kül alüminyum oranı belirlenmiştir. Alan hesabı ile elde edilen oranlar boşluk oranlarına çok yakın çıkmıştır.



Şekil 7.31 Mikro yapı üzerindeki alan hesabı

7.2.4 Gözeneklilik ve Yoğunluk

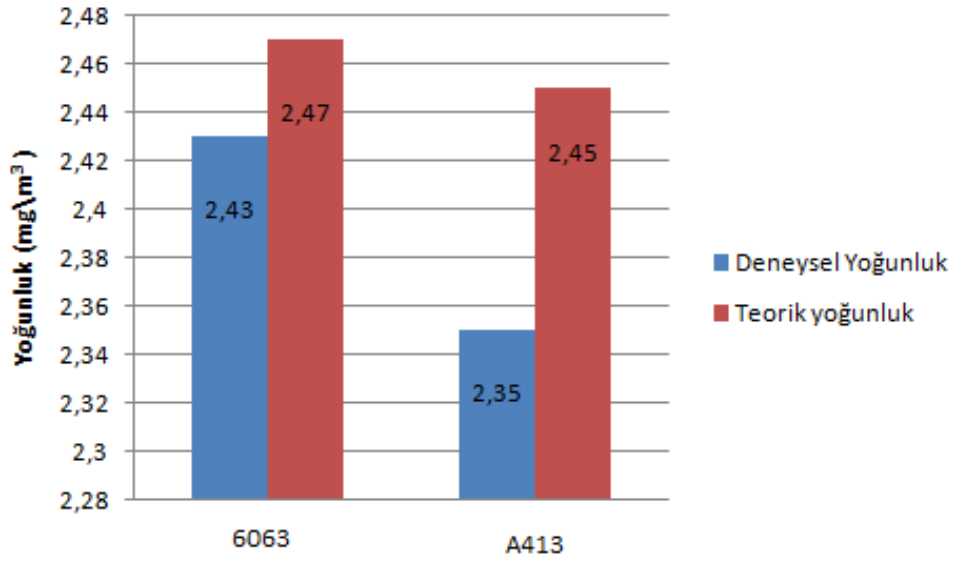
Kompozit malzemenin gözeneklilik ve yoğunluk hesabı için yine Archimedes testinden yararlanılır. Archimedes testi ASTM C20-80a standartına göre yapılmıştır. Standart olarak 2010 yılı düzenlemesi esas alınmıştır. Malzemenin sırasıyla 2 saat kaynayan suda ve 12 saat durgun suda bırakılması esasına dayanır. Malzemenin kuru ağırlığı (W_1), 2 saat kaynayan suda ve 12 saat durgun suda bekledikten sonra su içindeki ağırlığı (W_2) ve sudan çıkarılıp neminin hafifçe alınmasından sonraki ağırlığı (W_3) olmak üzere; (7.1) formülüne göre gözeneklilik oranı belirlenmiştir.



Şekil 7.32 İnfiltrasyon yöntemiyle üretilen malzemelerin gözeneklilikleri

Şekil 7.32de görüldüğü gibi A413 alaşımında infiltrasyon çok fazla sağlanamadığı için gözeneklilik oranı yüksek çıkmıştır.

Yoğunluk testi de Archimedes testi ile yapılır. Malzemenin yoğunluğu (d_m), malzemenin ağırlığı (W_1), suyun yoğunluğu (d_s), malzemenin suyun içindeki ağırlığı (W_2) olmak üzere; (7.2) formülünden deneysel hesaplama yapılır. Teorik yoğunluk hesabında ise; malzemenin yoğunluğu (d_m), alüminyumun yoğunluğu (d_a), uçucu külün yoğunluğu (d_u), alüminyumun hacimsel oranı (V_a) ve uçucu külün hacimsel oranı (V_u) olmak üzere; (7.3) formülünden hesaplamalar yapılır.

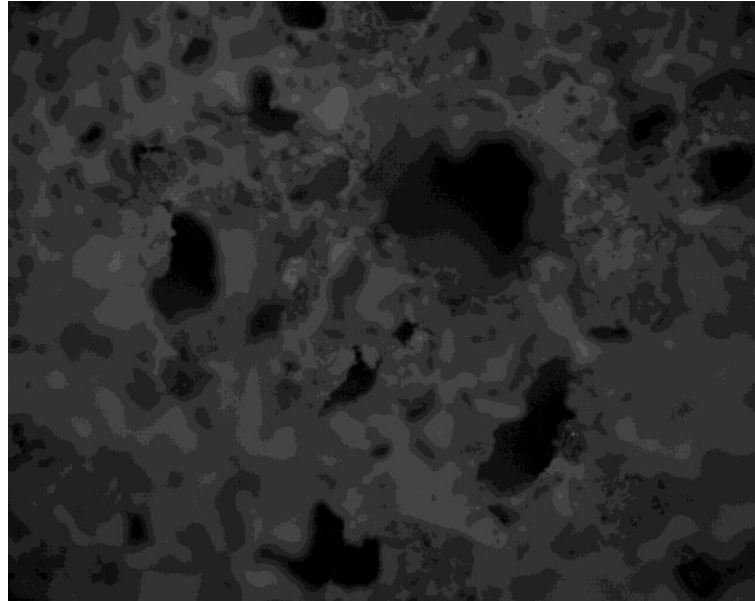


Şekil 7.33 İnfiltrasyon yöntemiyle üretilen malzemelerin yoğunlukları

Sonuçlardan 6063 infiltrasyonunun çok daha iyi sonuç verdiği anlaşılmaktadır. A413 infiltrasyonunda ise gözeneklilikteki yoğunluk düşüşünden dolayı teorik yoğunluk ve deneysel yoğunluk arasında ciddi bir fark vardır.

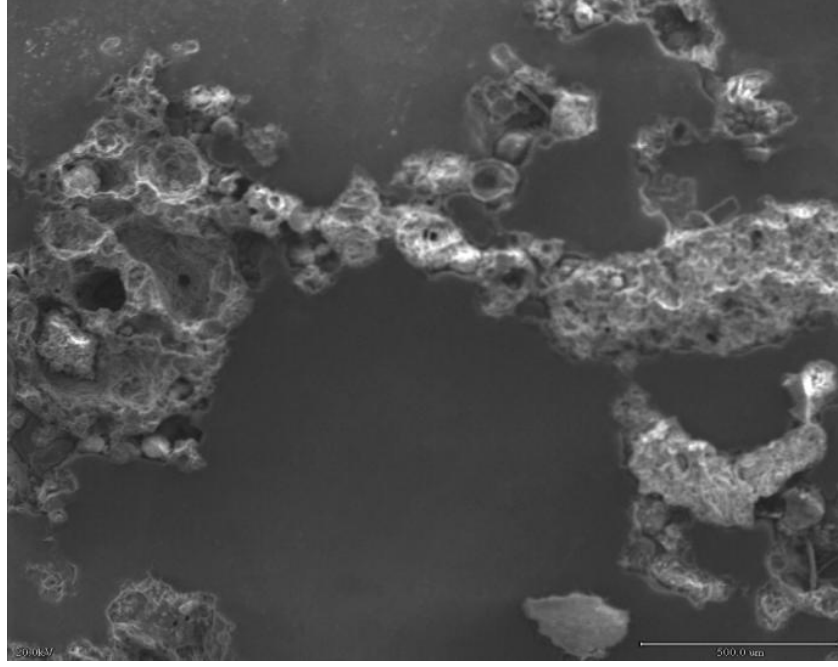
7.2.5 Mikro Yapı İnceleme

Mikro yapı inceleme kısmında preformun gözenekliliklerinin görüntüsü, A413 alaşımı ile yapılan infiltrasyonun ve 6063 ile yapılan infiltrasyonun görüntüleri yer almaktadır.

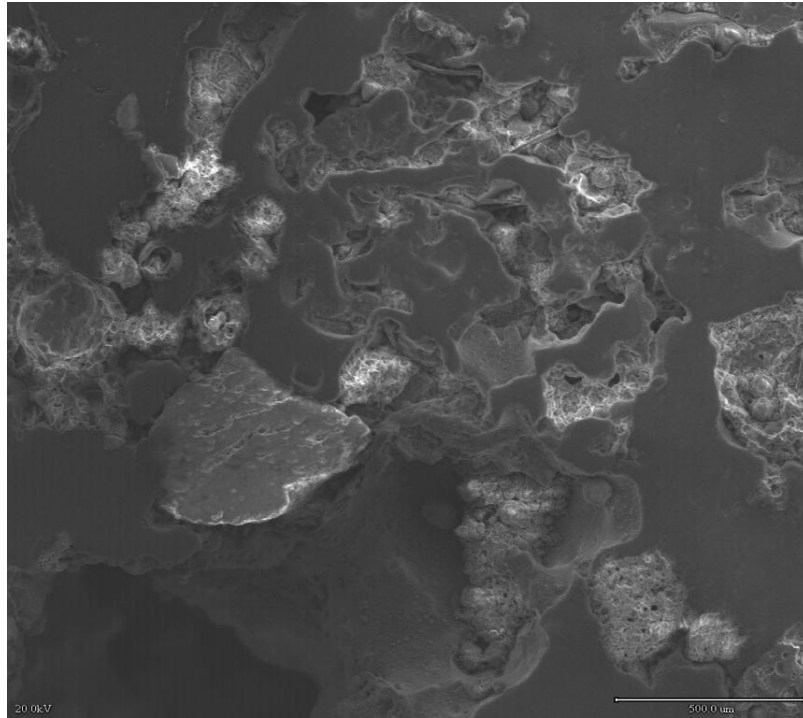


Şekil 7.34 Preformun mikro yapısı (50x)

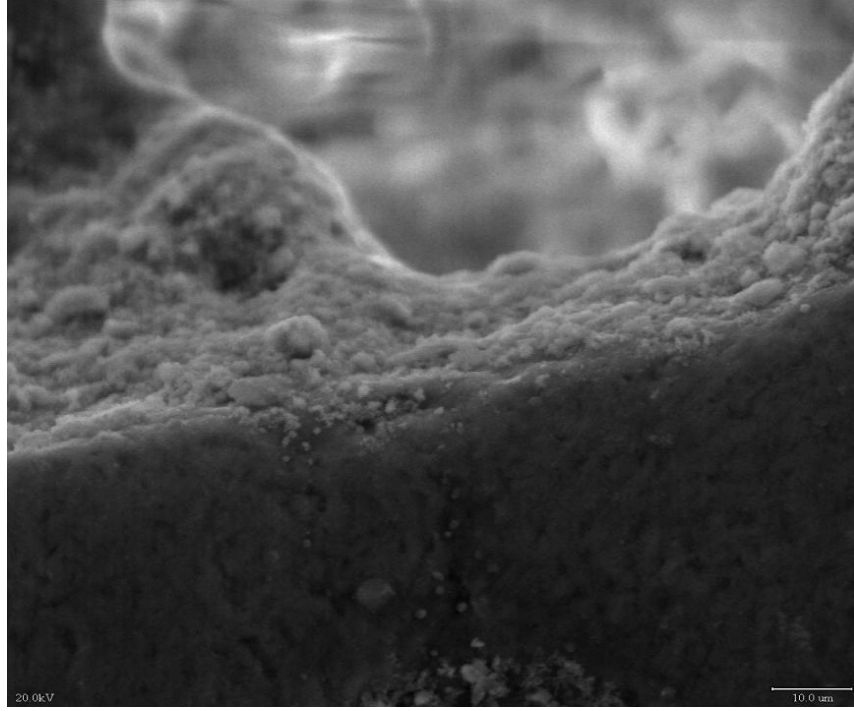
Şekil 7.34’da görüldüğü gibi preformda PVA ile elde edilen boşluklar homojen bir şekilde yayılmıştır. Şekil 7.35 ve 7.36’de ise A413 alaşımı ilke yapılan infiltrasyonu sonucu alınan mikro yapı görüntüleri yer almaktadır.



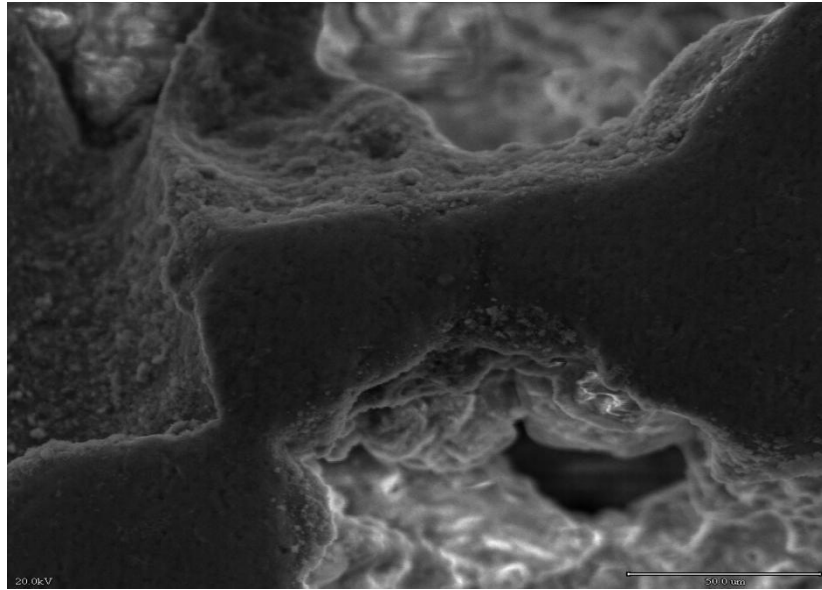
Şekil 7.35 A413 infiltrasyonu (50X) -1



Şekil 7.36 A413 infiltrasyonu (50X) -2



Şekil 7.37 A413 infiltrasyonu (500X)

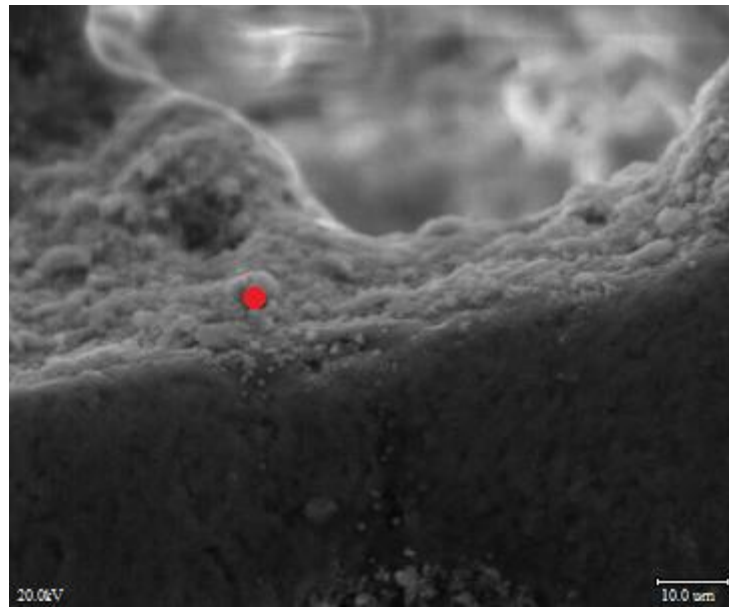


Şekil 7.38 A413 infiltrasyonu (1000X)

Mikro yapı incelemede A413 alaşımının akışkanlığının ve ıslatabilirliğinin çok iyi olmamasından dolayı küçük boşluklara alüminyum infiltrasyonu olmamıştır. Büyük büyültme oranlarında da boşluklar açıkça görülmektedir. Mikro boşluklara alüminyum infiltrasyonu olup olmadığını anlamak için boşluklara nokta analizi yapılmıştır.

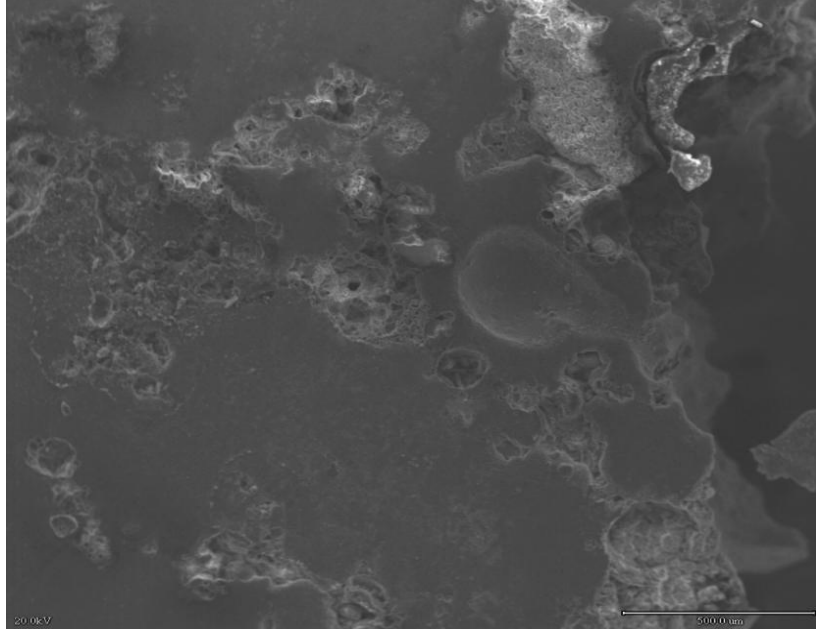
Çizelge 7.8 Nokta analizi

Kimyasal Bileşim	%
O	4.84
Na	0.37
Al	73.72
Si	12.89
S	1.09
K	2.64
Ca	4.42

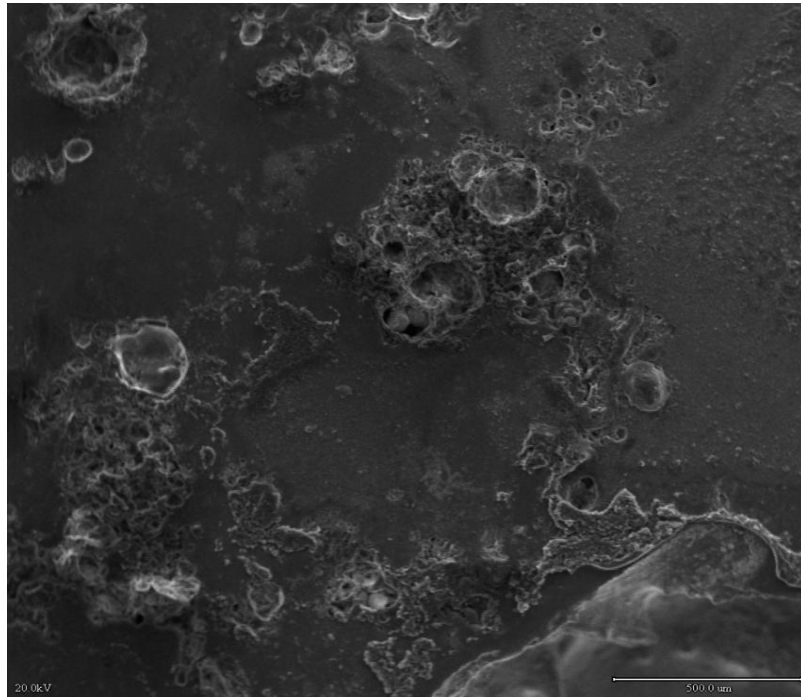


Şekil 7.39 A413 infiltrasyonu nokta analizi

Şekil 7.39’da 1000 büyütme oranındaki boşluk görüntüsünde %73.2 alüminyum verilmiştir. Sadece kül içerisindeki alüminadan bu kadar alüminyum olma ihtimali yoktur. Uçucu külün arasındaki boşluklara alüminyum infiltrasyonu olduğu kesindir. Ancak; akışkanlık ve ıslatma probleminden dolayı tam olarak gözeneklilikler dolmamıştır. Aşağıdaki şekillerdeki mikro yapılar ise 6063 alaşımı ile yapılan infiltrasyonun görüntüleri yer almaktadır.

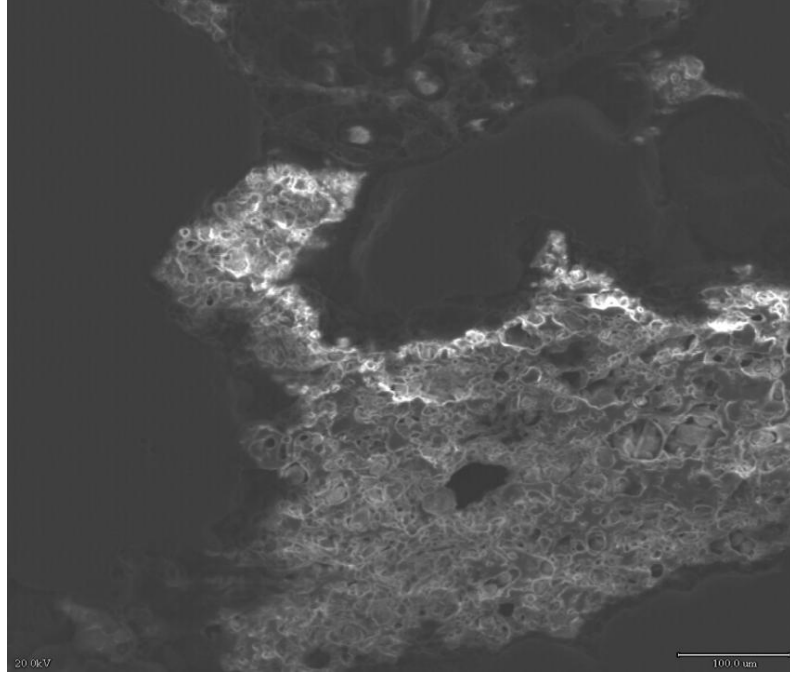


Şekil 7.40 6063 infiltrasyonu (50X) -1

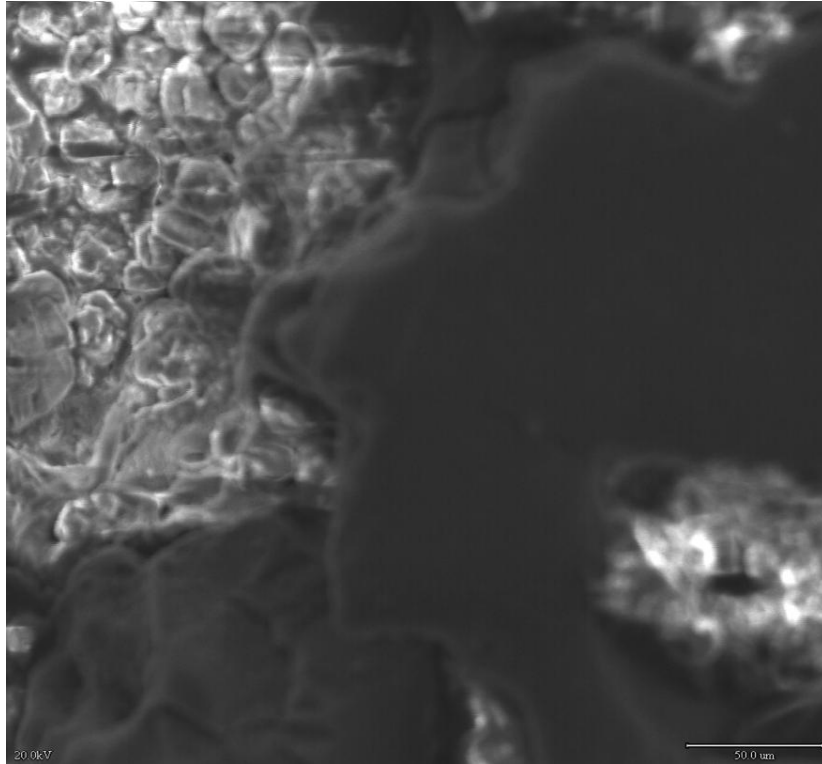


Şekil 7.41 6063 infiltrasyonu (50X) -2

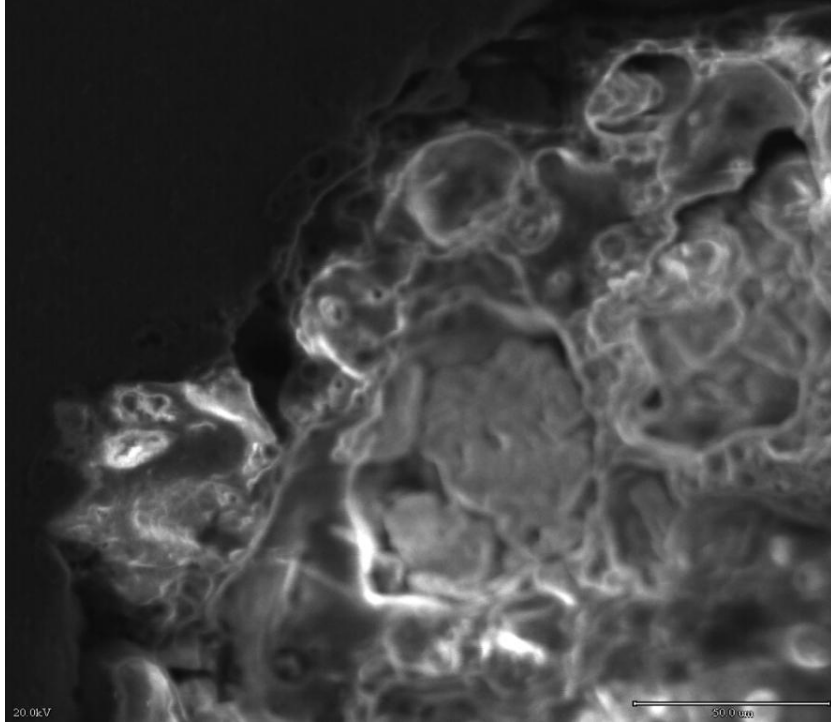
6063 ile yapılan infiltrasyonun görüntülerinde ise alüminyum infiltrasyonunun en küçük boşluklarda bile gerçekleştiği açıkça görülmektedir.



Şekil 7.42 6063 infiltrasyonu (150X)



Şekil 7.43 6063 infiltrasyonu (350X)



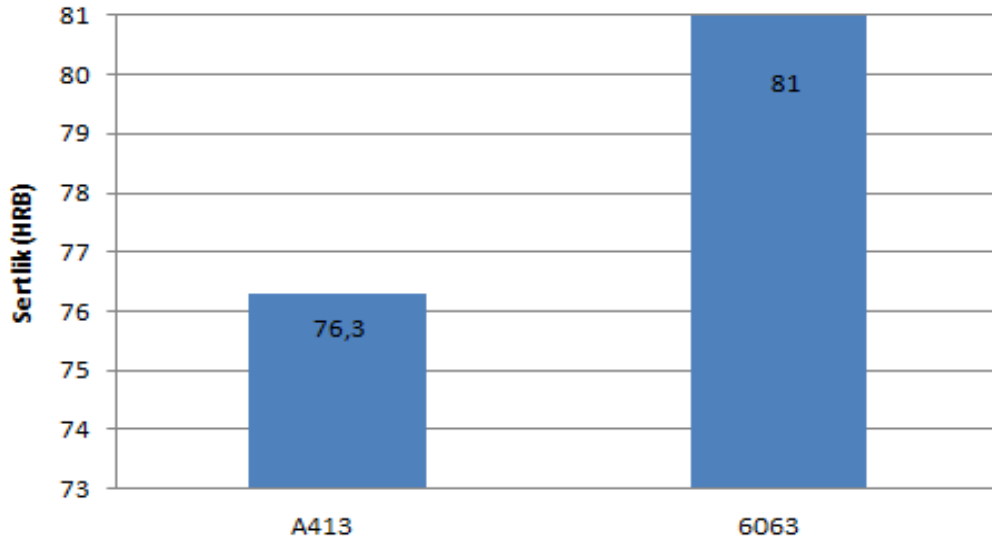
Şekil 7.44 6063 infiltrasyonu (1000X)

Şekil 7.44’da görülen yüksek büyültme oranlarında bile mikro boşluklar görülmemektedir. Son görüntüde 1000 büyültmede uçucu kül ile alüminyum arasındaki tane sınırı görülmektedir. Uçucu kül ve alüminyum arasında 1000 büyültmede bile boşluk görülmemiştir.

7.2.6 Sertlik

İnfiltrasyon yönteminde elde edilen malzemelerin mekanik özellikleri toz metalürjisine göre daha iyi çıkmıştır. Islatma probleminin olmaması bağlanma kuvvetinin daha güçlü olmasını sağlamıştır.

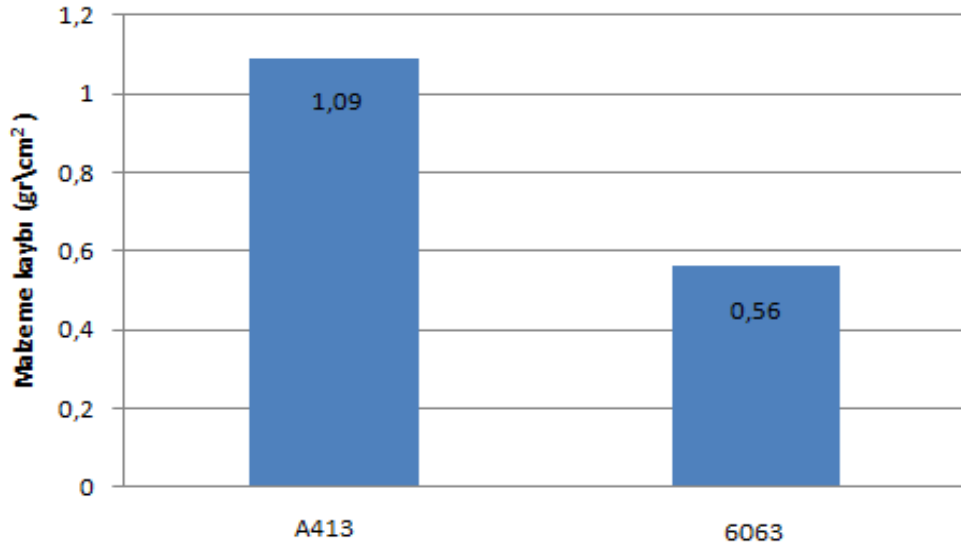
Ancak; A413 ile yapılan infiltrasyonun mikro yapısında da görülen mikro boyutta boşlukların oluşması sertlikte düşüşe neden olmuştur.



Şekil 7.45 İnfiltrasyon yöntemi ile üretilen malzemelerin sertlikleri

7.2.7 Aşınma Dayanımı

Aşınma düzeneği Şekil 7.11 'de verilen düzenekte ve parametrelerde yapılmıştır. Aşınma testi sonuçları Şekil 7.46'da verilmiştir.



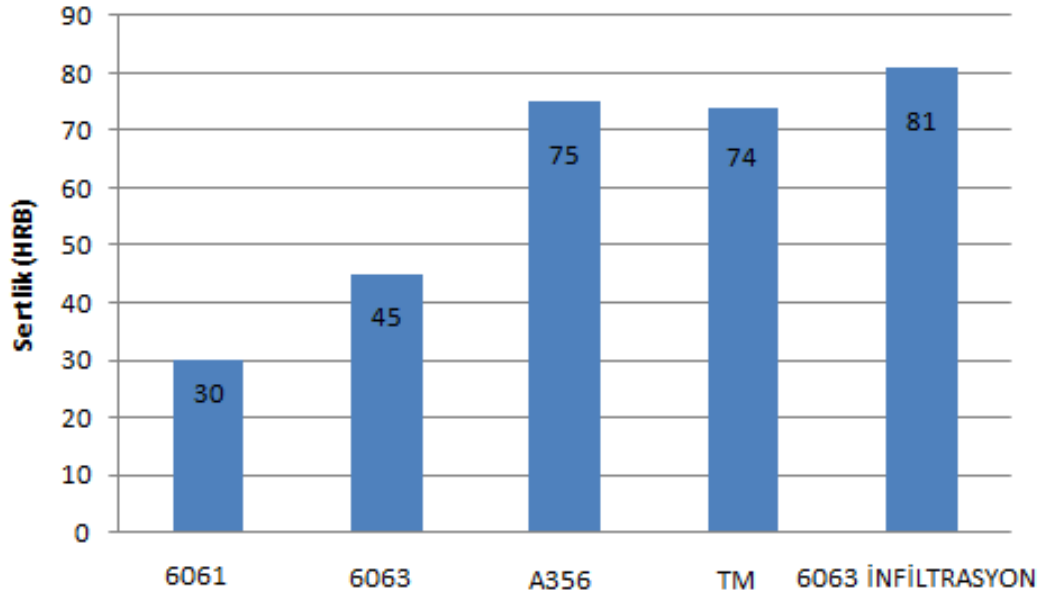
Şekil 7.46 İnfiltrasyon yöntemiyle üretilen malzemelerin aşınma testi

6063 infiltrasyonunda bağlanma kuvvetinin daha güçlü olması nedeniyle toz metalurjisinde elde edilen sonuçlardan daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ancak; A413 infiltrasyonunda malzemede boşluklar meydana geldiği için büyük kopmalar gözlenmiştir ve toz metalürjisinde elde edilen iyi örneklerden daha fazla bir malzeme kaybı görülmüştür.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- Alüminyum ve uçucu külün birlikte kompozit oluşturma kabiliyetlerinin zor olduğu deneysel çalışmada açıkça saptanmıştır.
- Alüminyum ve uçucu kül birleşiminde ıslatma probleminin yaşanmaması için geliştirilen toz metalurjisi ve infiltrasyon yöntemlerinde kritik parametrelere dikkate edilmiş ve sonuçta malzeme oluşumunda başarı sağlanmıştır.
- Toz metalurjisi yönteminde en büyük problem sinterlemede görülmüştür. Ancak; sinterleme süresi, sıcaklığı ve atmosfer kontrolü üzerindeki çalışmalar sonucunda optimum parametreler saptanmış ve başarı sağlanmıştır.
- Toz metalurjisi yönteminde %15'e kadar sertlik ve aşınma dayanımında artış sağlanmış, ancak; %15'ten daha yüksek uçucu kül oranlarında mekanik özelliklerde düşüş görülmüştür. %20'nin üzerindeki oranlarda dağılma oluşmuş, malzeme meydana getirilememiştir. Dolayısıyla; toz metalurjisi yöntemi için en uygun bileşim %10-15 aralığıdır.
- En iyi mekanik özellikler infiltrasyon yöntemiyle elde edilmiştir. Sinterleme probleminin olmaması ve ıslatma probleminin çok az olması nedeniyle bağ kuvvetinin en yüksek olduğu uygulama infiltrasyon olmuştur. İnfiltrasyonda preform oluşturma ortaya çıkardığı problemler ve alüminyumun akışkanlığı ile ilgili problemler de deneysel süreç boyunca çözülmüş, sonuçta başarılı bir malzeme elde edilmiştir.

- Projenin esas amacı olan otomotiv sektöründe kullanılan alüminyum uygulamalarında uçucu kül dolgulu alüminyumun kullanılabilme çalışması başarı ile sonuçlanmıştır. Otomotiv sektöründe en çok tercih edilen 2024, 6061 ve A356 alaşımları ile karşılaştırmalar sonucunda mekanik özelliklerde çok yüksek artışlar olamamasına rağmen bir miktar artış sağlanmıştır. Ancak; bu küçük artışın yanında projenin en önemli noktası olan ekonomik malzeme oluşturma noktasında infiltrasyon yöntemiyle elde edilen %45 uçucu kül içerikli kompozit malzeme çok ciddi bir sonuç vermiştir.



Şekil 8.1 Sertlik karşılaştırmaları

- Günümüzde otomotiv sektöründe alüminyum oranı yüksek olan markalar göz önüne alındığında yaklaşık 200 kg alüminyum kullanılmaktadır. Bu miktarın yaklaşık 50 kg kadarı alüminyum matrisli kompozit malzemelerdir. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlara göre 50 kg kompozit malzemede yaklaşık olarak 15 kg uçucu kül kullanılmaktadır. Amerika’da yılda 15 milyon araba üretildiği düşünülürse bir yılda sadece Amerika otomotiv endüstrisinde 225 bin ton uçucu kül kullanımı demektir. Uçucu kül maliyeti SiC maliyetine göre 40 kat daha ucuz olduğundan alüminyum matrisli kompozit malzemelerde SiC gibi takviye elemanlarının yerine uçucu kül kullanımının gerçekleşmesinin önemi açıkça görülmektedir.

- Otomotiv uygulamalarında uçucu kül dolgulu alüminyum matrisli kompozit malzemelerin kullanılması; hem termik santrallerin çöpü olarak nitelendirilen uçucu külün kullanılması, hem de kompozit malzemenin ekonomik olması, hem sektöre hem de ülke ekonomisine katkı sağlaması amacıyla önemli görülmektedir.
- Deneysel çalışmalar sürecinde uçucu kül dolgulu alüminyum matrisli kompozit malzemeler seri üretime uygun hale getirilebilir. Bu çalışmalarda dikkat edilmesi gereken en önemli hususlar; ıslatma kabiliyeti, alüminyumun oksitlenmesinin önlenmesi, uçucu külün kompozit yapıcı bir takviye olmaması nedeniyle bağlanma sorunlarının ekstra malzemelerle çözülmesi, uçucu külün farklı yapılarda olabilme ihtimaline karşılık düzenli kimyasal analiz yapılmasıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Prof. Dr. Akdoğan A (25 Ağustos 2008); Metal Matrisli Kompozit Malzemeler ve Üretim Yöntemleri
- [2] Tripathy S. (2009); Studies on Aluminum-Fly Ash Composite Produced by Impeller Mixing
- [3] Chawla N. Chawla K. (2006); Metal Matrix Composites; 3-11.
- [4] Hashim J. (2001); The Production of Cast Metal Matrix Composite By A Modified Stir Casting Method
- [5] Lenel, Fritz V. (1980); Powder Metallurgy: Principles and Applications
- [6] ESRF International Research Institute; Metallic Powder Sintering
<http://www.esrf.eu/UsersAndScience/Publications/Highlights/2002/Materials/MAT3> 14.04.2011
- [7] Dublin City University, School of Mechanical & Manufacturing Engineering; Stir Casting
http://www.dcu.ie/mechanical_engineering/technical/postgrad/MaterialsRandD/stir%20casting/stir%20casting.shtml 12.01.2011
- [8] Hwang J.Y. Banerjee R. Doty H.W.Kaufman M.J. (2008); The Effect of Mg On The Structure and Properties of Type 319 Aluminum Casting Alloys
- [9] Pan Y. Gao Xia M. Oliveira F.J. Vieira J.M. (2002); Infiltration of SiC Preforms With The Iron Silicate Melts: Microstructure and Properties
- [10] Wu G.H. Dou Z.Y. (2005); Damping Properties of Aluminum Matrix-Fly Ash Composites
- [11] Özcömert M. (Aralık 2006); İstanbul Ticaret Odası, Otomotiv Endüstrisinde Alüminyum
- [12] Davis J.R. & Associates, ASM International Handbook Committee (2001); Aluminum and Aluminum Alloys; 51-54
- [13] Türkiye Çimento Müstaahsilleri Birliği; Sektörden Raporu
<http://www.yapi.com.tr/Sektorden/tcmb-kalite-ve-cevre-kurulunun-yetkinlik->

kapsami-genisledi_65051.html 13.05.2011

- [14] Golden D.(2001); Aluminum Fly-Ash Metal Matrix Composite As Advanced Automotive Material
- [15] Şengül Ö. Taşdemir M. A. Sönmez R. “Yüksek Oranda Uçucu Kül İçeren Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonların Klor Geçimliliği”
- [16] Guoa R.Q. Rohatgi P.K. (1998); Chemical Reactions Between Aluminum and Fly Ash During Synthesis and Reheating of Al-Fly Ash Composite.
- [17] Narayanasamy R. Ramesh T. Prabhakar M. (2009); Effect of Particle Size of SiC in Alumuninum Matrix on Workability And Strain Hardening Behaviour of P\M Composite
- [18] Aluminum Transportation Products; Aluminum Processes and Materials
<http://aluminumtransportation.org/> 21.02.2011
- [19] Surappa M.K. (2003); Aluminum Matrix Composites: Challanges and Opportunities
- [20] Renault Yetkili Servis 2011 Ürün Kataloğu; Renault 9aracının Bosch tarafından üretilen ön fren diskı
- [21] Mahle Company; Aluminum Piston Systems for Diesel Engines
<http://www.mahle.com/C125708F0068F67A/Print/W26FJBQB575MARSEN>
21.02.2011
- [22] Karacanlar BMW yedek parça kataloğu (2010); 3.20i şaft askısı
- [23] Radhakrishna M. Ramachandra K. (2007); Effect of Reinforcement of Fly Ash on Sliding Wear Sluury Errosive and Corrosive Behavior of Aluminum Matrix Composite
- [24] Sobczak N. Sobczak J. (2003); TEM Characterization of the Reaction Products in Aluminum – Fly Ash Couples.
- [25] Sudarshan, Surappa M.K. (2008); Dry Sliding Wear of Fly Ash Particle Reinforced A356 Al Composite.
- [26] Sarkar S. Sen S. Mishra S. C (2008); Aluminum – Fly Ash Composite Produced by Impeller Mixing.
- [27] Buytoz S. Eren H. (2005); Al Metal Matris Kompozitlerin Abrasiv Aşınma Performansına Takviye Elemanlarının Etkisi
- [28] Rohatgi P.K. Guo R.Q. (1998); Pressure Infiltration Technique for Synthesis of Aluminum – Fly Ash Particle Composite.
- [29] Rohatgi P. K., Gupta N. (2006); Thermal Expansion of Aluminum–Fly Ash Cenosphere Composites Synthesized by Pressure Infiltration Technique.
- [30] Thünemann M. Beffort O. Kleiner S. Vogt U. (2007); Aluminum matrix composites based on preceramic-polymer-bonded SiC preforms

- [31] Obi E.R. (2008); Corrosion Behaviour Of Fly Ash-Reinforced Aluminum-Magnesium Alloy A535.
- [32] Dou Z. Wu G. Huang X. Sun D. Jiang L. (2007); Electromagnetic Shielding Effectiveness Of Aluminum Alloy-Fly Ash Composites.
- [33] Atwood C.L. (1997); Metal Casting Applications, Chapter 10
http://www.wtec.org/loyola/rp/10_01.htm 21.02.2011

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Onur YAKINLAR
Doğum Tarihi ve Yeri : 20.08.1985
Yabancı Dili : İngilizce (Advanced)
E-posta : oyakinlar@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Metalurji ve Malz. Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2008
Lise	Fen	Meram Anadolu Lisesi	2003

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2010 -	Ayba Çelik	ThyssenKrupp VDM Pazarlama Yetkilisi

PROJELER

Yıl	Firma/Kurum
------------	--------------------

2008-2009	Şişecam
-----------	---------

Cam Ergitme Fırınlarında Foreheart Kanalında Bulunan Refrakterlerin Seçimi

2007-2008	İmkosan
-----------	---------

Tahribatsız Muayene Yöntemleri ile Metal Analizi