

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nİ KAPLANMIŞ MgO TAKVİYELİ Al MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN
VAKUM İNFİLTRASYON YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMESİ VE
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ABDULLAH ÇAKIR

TEMMUZ 2017

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalında Abdullah ÇAKIR tarafından hazırlanan Ni KAPLANMIŞ MgO TAKVİYELİ Al MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN VAKUM İNFİLTRASYON YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMESİ VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Recep ÇALIN

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Recep ÇALIN

Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Henifi ÇİNİCİ _____

Üye (Danışman) : Prof. Dr. Recep ÇALIN _____

Üye : Yrd. Doç. Dr. Şule OCAK ARAZ _____

14/07/2017

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Ni Kaplanmış MgO Takviyeli Al Matrisli Kompozitlerin Vakum İnfiltrasyon
Yöntemi ile Üretilmesi ve Özelliklerinin İncelenmesi

ÇAKIR, Abdullah

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Recep ÇALIN

Temmuz 2017, 105 Sayfa

Kompozit malzemelerin geçtiğimiz yüzyılda insanların artan talepleri ve ihtiyaçlarına bağlı olarak tekniğin ve endüstrinin gelişmesiyle kullanım alanları artmıştır. Seramik takviyeli (B_4C , SiC , Al_2O_3 , MgO vb.) Al matrisli kompozitler son zamanlarda balistik direnç gösteren malzemelerde kullanılmaktadırlar. Metal matrisli kompozit malzemelerin, yüksek elastik modül, mukavemet, aşınma dayanımı ve yüksek sıcaklık özellikleri gibi üstün fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı son yıllarda üretimleri ve kullanımları yaygınlaşmıştır. Bu özellikleri nedeniyle de inşaat ve yapı sektörü, otomotiv, havacılık ve savunma sanayinde vb. birçok alanda geniş kullanım alanına sahiptir.

Bu çalışmada, vakum infiltrasyon yöntemiyle üretilen akımsız Ni kaplamalı MgO takviyeli Al matrisli kompozitlerin mikroyapısal özellikleri incelenmiştir. Mikroyapısal incelemelerin yapılabilmesi amacıyla MgO ilave edilmeyen AA 1070 ve farklı oranlarda (hacimce %10, %20, %30, %40 ve %52) kaplamalı ve kaplamasız MgO takviyeli AA 1070 metal matrisli kompozitler üretilmiştir.

Matris malzemesi olarak kullanılan AA 1070 ortalama $211.737\ \mu m$ toz boyutundadır. Takviye elemanı olarak kullanılan MgO tozlarının ortalama boyutları ise $105\ \mu m$, $150\ \mu m$, $212\ \mu m$ ve $300\ \mu m$ 'dir. Hazırlanan toz karışımları ayrı ayrı silindirik kalıbın

içerisine yerleştirilmiş ve silindirik kalıp 750 °C 'de sıvı AA 1070 ergiyiğinin içine daldırılmış bu sırada vakum pompası ile kalıba negatif vakum uygulanmıştır. Parçacık tane boyutu, infiltrasyon sıcaklığı ve süresi, takviye hacim oranı, vakum değeri ve matrisin ve takviyenin fiziksel ve kimyasal özellikleri, infiltrasyonda önemli parametrelerdir. Deney 3 dakika süreyle 750 °C sıcaklıkta ve 550 mm-Hg vakum basıncı altında yapılmış x 8 mm çap ve x 50 mm boy ebatlarında test numunleri üretilmiştir.

Üretilen numunelere Brinell sertlik testi yapılarak buna bağlı kaplama ve değişken takviye boyutunun sertlik değerleri üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Daha sonra üretilen numuneler mikroyapı analizi, XRD, SEM, EDS incelemelerine tabi tutularak yapılan kaplamanın ve değişken tane boyutunun mikroyapı ve kimyasal yapıya etkileri analiz edilmiştir.

Parçacık tane boyutu, takviye hacim oranı ve matrisin ve takviyenin fiziksel ve kimyasal özellikleri, infiltrasyonda önemli parametrelerdir. Bu parametrelerin, infiltrasyon mesafesi, kompozitin mikroyapısı ve sertliği üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Artan takviye tane boyutunun infiltrasyon mesafesini arttırdığı, artan takviye hacim oranının ise aksine bir etki gösterdiği tespit edilmiştir. Uygun şartlarda 3 dakikalık infiltrasyon süresi belirlenen yükseklik için yeterli olmaktadır. Kompozitlerin porozite oranı, infiltrasyonu zorlaştıran şartlarda artmaktadır. Takviye tane boyutu ve takviye hacim oranının artmasıyla sertlik değerlerinin arttığı görülmüştür. Ayrıca Ni kaplanmış tozlardan elde edilen kompozitlerde kaplamanın sertlik değerini artırdığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: AA 1070, kompozit, alüminyum, matris, MgO, takviye, Ni kaplama, infiltrasyon.

ABSTRACT

Production of Ni-Coated MgO Reinforced Al Matrix by Vacuum Infiltration Method
and Investigation of Their Properties

ÇAKIR, Abdullah

Kırıkkale University

Graduate Scholl Of Natural And Applied Sciences

Department of Defense Technologies, M. Sc. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Recep ÇALIN

July 2017, 105 Pages

Depending on the needs and increasing demands of people in the last century, the techniques and the development of the industry, usage areas of the composite materials have increased. Ceramic reinforced (B_4C , SiC , Al_2O_3 , MgO , etc.) Al matrix composites recently used in the area of ballistic resistance materials. Due to their superior physical and mechanical properties, such as high elastic modulus, strength, abrasion resistance and high temperature properties, metal matrix composite materials have become widespread in recent years. Because of these properties, it has a wide application area in building and construction industry, automotive, aerospace and defense industry, etc.

In this study, microstructural properties of vacuum infiltrated electroless ni-coated MgO reinforced Al matrix composites were investigated. For the purpose of microstructural investigations non MgO added AA 1070 and in different proportions (by volume %10, %20, %30, %40 52%) coated and uncoated MgO reinforced AA 1070 metal matrix composites manufactured.

Used as the matrix material, AA 1070 has 211.737 μm average particle size. The MgO powder used as a reinforcing element in the average size of 105 μm , 150 μm , 212 μm and 300 μm . The powder mixtures prepared is placed into cylindrical mold separately and the cylindrical mold is immersed into the 750 °C liquid AA 1070

while the mold with a vacuum pump plum a negative vacuum is applied. Particle size, infiltration temperature and time, volume ratio of reinforcement, vacuum value, the physical and the chemical properties of the matrix and the reinforcement, are the important parameters of the infiltration. Experiment done in 3 minutes at a temperature of 750 °C and made under 550 mm-Hg vacuum pressure and 8 mm diameter 50 mm height test samples were produced.

The Brinell hardness test were done on the samples produced and coating and variable reinforcement size effect on hardness values was determined. Then, the produced samples were analyzed with Microstructural Analysis, XRD, SEM, EDS and the coating and variable grain size is subject to review by the effects on the microstructure and chemical structure were analyzed.

Particle size, volume ratio of reinforcement and the matrix and the physical and chemical properties of the reinforcement, are important parameters of the infiltration. For these parameters, the infiltration distance, the effects on the microstructure and hardness of composites were determined. Infiltration distance increase with increasing particle size of the reinforcement but increasing volume fraction of reinforcement was determined to show a contrast effect. In appropriate circumstances, the 3-minute infiltration time is suitable for the specified height. Porosity rate of the composites increase, in difficult infiltration conditions. It is observed that the increasing grain size of the reinforcement and volume fraction of the reinforcement increases the hardness value. Also the composites obtained from the Ni Coated powders has been shown to increase the hardness of the coating.

Key words: AA 1070, composite, aluminum, matrix, MgO, reinforcement, Ni coating, infiltration.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam esnasında bilgi ve deneyimleriyle bana yön veren, kendi kişisel zamanlarından bile feragat edip tezimin tamamlanmasına büyük katkıda bulunan, hiçbir zaman benden desteğini esirgemeyen ve öğrencisi olmaktan gurur duyduğum değerli tez danışmanım, sayın hocam, Prof. Dr. Recep ÇALIN 'a teşekkürü bir borç bilir, şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmalarım boyunca her zaman desteklerini gördüğüm ve çalışmalarımın her aşamasında yaptıkları katkılardan dolayı Arş. Gör. Onur OKUR 'a ve Arş. Gör. Naci Arda TANIŞ 'a teşekkür ederim.

Deneyisel çalışmalarım sırasında yaptıkları yardımlardan dolayı Arş. Gör. Sevda ALBAYRAK 'a, Arş. Gör. İrem Burcu ALGAN 'a ve Arş. Gör. Görkem KIRMIZI 'ya teşekkür ederim.

Son olarak bugünlere gelmem için büyük fedakarlıklar gösteren, desteklerini her zaman hissettiğim, her konuda arkamda olduklarını bildiğim başta sevgili babam Ali ÇAKIR'a ve canım annem Ayşe ÇAKIR 'a, moral ve motivasyonumu her zaman yüksek tutan kardeşlerim Esra ÇAKIR 'a ve Hasan ÇAKIR 'a minnettarlığımı belirtirim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER DİZİNİ.....	ix
KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
1.GİRİŞ.....	1
2.METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER.....	4
2.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Uygulama Alanları.....	6
2.2. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	8
2.3. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri.....	11
2.3.1. Sıvı Hal İşlemleri.....	16
2.3.2. Katı Hal İşlemleri.....	16
2.4. İnfiltrasyon Yöntemleri.....	18
2.4.1. Vakum İnfiltrasyon.....	19
2.4.2. Basıncılı İnfiltrasyon.....	20
2.4.3. Basıncsız İnfiltrasyon.....	21
2.5. İnfiltrasyon Yöntemini Etkileyen Faktörler.....	22
2.5.1. Takviye Tane Boyutu.....	22
2.5.2. İnfiltrasyon Süresi.....	23
2.5.3. İnfiltrasyon Sıcaklığı.....	23
2.5.4. Taviye-Hacim Oranı.....	24
2.5.5. İnfiltrasyon Basıncı.....	25
2.5.6. Alaşım.....	26
2.5.7. Islatma.....	27
2.5.8. Matris-Takviye Arayüzeyi.....	28

2.6. Metal Matrisli Kompozitlerde Kullanılan Takviye Elemanları.....	29
2.6.1. Magnezyum Oksit (MgO)	30
2.7. Matris Malzemeleri.....	32
2.7.1. Alüminyum ve Alaşımları.....	34
2.7.2. 1xxx Serisi Alüminyumların Özellikleri.....	37
2.8. Yüzey Kaplamaları.....	37
2.8.1. Akımsız Nikel Kaplama.....	39
2.8.1.1. Akımsız Nikel Kaplama Yönteminin Avantajları.....	43
2.8.1.2. Akımsız Nikel Kaplama Yönteminin Sınırlıkları.....	44
2.8.1.3. Akımsız Nikel Kaplama Uygulama Alanları.....	45
2.8.1.4. Akımsız Nikel Kaplamaların Sınıflandırılması.....	45
2.8.1.4.1. Akımsız Ni-P Kaplama.....	46
3.DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	47
3.1 Malzeme ve Yöntem.....	49
3.1.1 AA 1070 Matris Malzemesi.....	49
3.1.2 Takviye Malzemesi.....	50
3.3 Kompozit Malzemelerin Üretimi.....	56
3.3.1. Tozların Cam Tüp İçerisine Doldurulması.....	56
3.3.2. Vakum İnfiltrasyon Düzenneği.....	58
3.3.3. Matris Al Alaşımının Ergitilmesi.....	59
3.3.4. Vakumun Uygulanması.....	60
3.3.5. İnfiltrasyon İşlemi.....	61
3.4 Özelliklerin Karakterizasyonu.....	61
3.4.1. Porozite Deneyi.....	61
3.4.2. Sertlik Deneyi.....	62
3.5. Mikroyapı ve Kimyasal Bileşimlerin Karakterizasyonu.....	62
3.5.1 Mikroyapı Analizi.....	62
3.5.2 Taramalı Elektron Mikroskobu ve EDS Analizi.....	63
3.5.3 X-Ray Difraksiyon Analizi.....	63

4.DENEYSEL BULGULAR VE İRDELEME.....	64
4.1 Takviye Partikül Boyutu T-H Oranı Değişimi.....	64
4.2 Üretilen Kompozit Malzemelerin İnfiltrasyon Mesafeleri.....	64
4.2.1 T-H oranının infiltrasyon mesafesine etkisi.....	64
4.2.2 Takviye partikül büyüklüğünün infiltrasyon mesafesine etkisi.....	67
4.3 Porozite Deney Sonuçları.....	72
4.3.1 T-H oranının poroziteye etkisi.....	72
4.3.2 Takviye partikül büyüklüğünün poroziteye etkisi.....	78
4.4 Sertlik Deney Sonuçları.....	82
4.4.1 Takviye hacim oranının sertliğe etkisi.....	82
4.4.2 Takviye partikül büyüklüğünün sertliğe etkisi.....	85
4.5 X-Ray Difraksiyon Analizi.....	90
5.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	93
KAYNAKÇA.....	95
EKLER.....	105
EK 1) AA 1070 TOZU ANALİZ SONUCU.....	105

SİMGELER DİZİNİ

Al/AA	Alüminyum
Al ₂ O ₃	Alümina
Al ₃ Ni ₂	Ni-Al intermetaliği
Al ₄ C ₃	Alüminyum karbür
B ₄ C	Bor karbür
BeO	Berilyum oksit
HCl	Hidroklorik asit
MgO	Magnezyum oksit
Ni	Nikel
P	Fosfor
PdCl ₂	Paladyum klorür
SiC	Silisyum karbür
SiO ₂	Silisyum dioksit
SnCl ₂	Kalay II klorür
SnO ₂	Kalay oksit
TiC	Titanyum karbür
TiB ₂	Titanyum diborür
Y ₂ O ₃	İtriyum oksit
WC	Wofram karbür

KISALTMALAR DİZİNİ

CVD	Kimyasal Buhar Biriktirme
EDS	Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi
HB/HBW	Brinell Sertlik Değeri
MMK/MMCs	Metal Matrisli Kompozitler
PVD	Fiziksel Buhar Biriktirme
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
T-H	Takviye Hacim Oranı
XRD	X-Işınları Difraksiyonu

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

Sayfa

2.1. MMK'lerin uygulama alanları.....	7
2.2 Kompozitlerin matris malzemesi türüne göre sınıflandırılması.....	8
2.3. MMK üretim yöntemlerinin karşılaştırılması.....	13
2.4.MMK üretim yöntemlerinde kullanılan takviye formları.....	14
2.5. MMK Katı/Sıvı hal işleme ana kategoriler.....	17
2.6. Magnezyum oksitin fiziksel özellikleri.....	30
2.7. Bazı metal matrislere ait mekanik özellikler.....	33
2.8. MMK'lerde farklı matris-takviye birleşimleri.....	34
2.9. Saf alüminyum a ait bazı özellikler.....	35
2.10. Alüminyum serileri ve alaşımları.....	36
3.1. Deneysel çalışmalar için vakum infiltrasyon yöntemiyle üretilen numunelerin kodları ve içerik açıklamaları.....	48
3.2. Alüminyum 1070 alaışımının kimyasal bileşimi.....	49
3.3. Kullanılan MgO'in kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri.....	51
4.1. Kompozitlerin üretiminde kullanılan MgO partiküllerin oluşturdukları T-H oranları.....	64
4.2. T-H oranı infiltrasyon mesafesi ilişkisi.....	65
4.3. Takviye partikül büyüklüğü infiltrasyon mesafesi ilişkisi.....	68
4.4. T-H oranı porozite ilişkisi.....	72
4.5. Takviye partikül büyüklüğü porozite ilişkisi.....	78
4.6. T-H oranına bağı sertlik değerleri.....	82
4.7. Takviye tane boyutu sertlik değeri değişimi.....	85

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

Sayfa

1.1. Basit kompozit malzeme modeli.....	4
2.1. Kullanılan takviyenin şekline göre kompozitlerin sınıflandırılması.....	9
2.2. Takviye şekline göre Al matrisli kompozit malzemelere ait mikroyapı görüntüleri.....	10
2.3. MMK üretim yöntemleri.....	11
2.4. MMK üretimi yapan endüstriyel firmaların kullandıkları üretim metotlarının dağılımı.....	15
2.5. Havacılık, elektronik ve otomotiv sektörlerinde MMK üretimi için kullanılan sıvı hal ve toz metalürjisi üretim yöntemlerinin dağılımları.....	15
2.6. Vakum infiltrasyon yönteminin şematik gösterimi.....	19
2.7. Basıncılı infiltrasyon yönteminin şematik gösterimi.....	20
2.8. Lanxide prosesi ile basıncsız infiltrasyonun şematik gösterimi.....	22
2.9. Takviye tozlarının cam kap içerisinde oluşturdukları dolu hacim ve gözenekler.....	24
2.10. Temas açısı ve yüzey enerjileri gösterimi.....	27
2.11. Kompozit malzemedeki matris-takviye bağı oluşumunda ara yüzey ve ara fazlar.....	29
2.12. Alüminyum serilerine ait şematik gösterim.....	36
2.13. Kaplanacak malzemenin bulunduğu fiziksel hale göre kaplamaların sınıflandırılması.....	38
2.14. Değişik yüzey kaplama yöntemlerinin uygulama kalınlıkları.....	38
2.15. İnfiltrasyonda ısıtmanın etkileri.....	40
2.16. Akımsız kaplama yönteminin işlem basamakları.....	41
2.17. Örnek bir çalışmada nikel kaplanmış karbon elyaflara ait kesit görüşü.....	42
2.18. Akımsız nikel kaplamada akımlı nikel kaplamata göre üniform kaplama kalınlığı.....	44

3.1. 105 µm ve altı tane büyüklüğündeki MgO tozlarda (a) Kaplanmamış tozlardan x500 büyütmede alınan SEM görüntüsü, (b) Akımsız nikel kaplama sonrası tozlardan x500 büyütmede alınan SEM görüntüsü.....	52
3.2. Akımsız nikel kaplama sonrası 105 µm tane büyüklüğündeki MgO tozlardan x2000 büyütmede alınan SEM görüntüsü.....	53
3.3. Nikel kaplanmamış tozlardan alınan EDS analizi.....	54
3.4. Akımsız nikel kaplanmış tozlara ait EDS analizleri.....	55
3.5. İnfiltrasyonda kullanılan cam kalıplar.....	57
3.6. İnfiltrasyonda kullanılan cam kalıba ait şematik görünüş.....	57
3.7. Vakum infiltrasyon düzeneği şematik görünüş.....	58
3.8. Vakum infiltrasyon düzeneği.....	59
3.9. Ergitilmiş AA 1070 alaşımı.....	60
4.1. T-H oranına bağlı infiltrasyon mesafesi değişimi.....	66
4.2. 105 µm tane boyutunda (a) %10 T-H, (b) %20 T-H, (c) %30 T-H, (d) %40 T-H oranlarında kaplanmamış tozlarla üretilen blok parçaların SEM görüntüleri.....	67
4.3. Takviye partikül büyüklüğü infiltrasyon mesafesi ilişkisi.....	69
4.4. (a) 150 µm, (b) 212 µm, (c) 300 µm tane boyutlarında Ni kaplanmış tozlarla üretilen kompozit malzemelerin x100 büyütmede alınan optik mikroskop görüntüleri.....	71
4.5. T-H oranı ile porozite ilişkisi.....	73
4.6. 105 µm partikül büyüklüğünde (a) %10 T-H oranında kaplanmış tozlardan, (b) %10 T-H oranında kaplanmamış tozlardan elde edilen kompozit malzemelere ait x150 büyütmedeki SEM görüntüleri.....	74
4.7. 105 µm partikül büyüklüğünde (a) %20 T-H oranında kaplanmış tozlardan, (b) %20 T-H oranında kaplanmamış tozlardan elde edilen kompozit malzemelere ait x150 büyütmedeki SEM görüntüleri.....	75
4.8. 105 µm partikül büyüklüğünde (a) %30 T-H oranında kaplanmış tozlardan, (b) %30 T-H oranında kaplanmamış tozlardan elde edilen kompozit malzemelere ait x150 büyütmedeki SEM görüntüleri.....	76
4.9. 105 µm partikül büyüklüğünde (a) %40 T-H oranında kaplanmış tozlardan, (b) %40 T-H oranında kaplanmamış tozlardan elde edilen kompozit malzemelere ait x150 büyütmedeki SEM görüntüleri.....	77

4.10. Takviye partikül büyüklüğü porozite ilişkisi.....	79
4.11. (a) 150, (b) 212, (c) 300 μm tane büyüklüğünde akımsız nikel kaplanmış tozlardan elde edilen kompozit malzemelerin x150 büyütmedeki SEM görüntüleri.....	80
4.12. Sıvı matrisin gözenekli bir yapıda şematik olarak yükselmesi.....	81
4.13. T-H oranına bağlı sertlik değerleri değişimi.....	83
4.14. Akımsız nikel kaplanmış tozlardan üretilen %30 T-H oranındaki kompozit malzemeye ait x1500 büyütmede (a) SEM görüntüsü, (b) backscatter görüntüsü, (c) EDS analizi.....	84
4.15. Takviye partikül büyüklüğüne bağlı sertlik değerleri değişimi.....	86
4.16. Akımsız nikel kaplanmış 150 μm tane boyutundaki tozlardan üretilen kompozit malzemeye ait x1500 büyütmede (a) SEM görüntüsü, (b) backscatter görüntüsü, (c) EDS analizi.....	87
4.17. Akımsız nikel kaplanmış 212 μm tane boyutundaki tozlardan üretilen kompozit malzemeye ait x1500 büyütmede (a) SEM görüntüsü, (b) backscatter görüntüsü, (c) EDS analizi.....	88
4.18. Akımsız nikel kaplanmış 300 μm tane boyutundaki tozlardan üretilen kompozit malzemeye ait x150 büyütmede (a) SEM görüntüsü, (b) backscatter görüntüsü, (c) EDS analizi.....	89
4.19. %40 T-H oranında kaplanmamış MgO tozlarından elde edilen kompozit malzemeye ait XRD analizi.....	90
4.20. %40 T-H oranında kaplanmış MgO tozlarından elde edilen kompozit malzemeye ait XRD analizi.....	91
4.21. Al-Ni faz diyagramı.....	92

1. GİRİŞ

Kompozit malzemelerin üretiminde birçok mühendislik malzemesi yaygın olarak kullanılmakta olup ilerleyen gelişmelerle farklı takviye elemanları denenmektedir [1]. Metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminde hafif ve sünek olmaları sebebiyle alüminyum, magnezyum, silisyum ve alaşımları en çok tercih edilen matris malzemelerindendir. Alüminyum başta düşük yoğunluğa sahip olması, yüksek mukavemet, tokluk, korozyon direnci ve üretilebilirliği bakımından savunma sanayinde yaygın olarak tercih edilir. Bu özelliklerini beraberinde kompozit malzemeyi oluşturacağı takviye elemanı ile daha da geliştirerek; yüksek çekme dayanımı, yüksek ergime sıcaklığı ve termal kararlılık gibi özellikler sağlar. Alüminyum ve alaşımlarının kullanılmasında kısıtlayıcı unsur yüksek servis şartlarıdır. Alüminyum ve alaşımları düşük ergime sıcaklıklarından dolayı bu tür uygulamalarda tercih edilmezler. Yüksek servis şartlarında fiziksel ve kimyasal özelliklerini koruması bakımından titanyum ve alaşımları tercih edilirler.

Alüminyum matrisli kompozitlerde takviye elemanı olarak SiC, TiB₂, MgO, SiO₂, Al₄C₃, Al₂O₃, C ve hibritler kullanılmaktadır. Alüminyum matrisli kompozitler havacılık ve uzay sanayi, otomotiv, elektrik malzemeleri gibi çeşitli alanlarda tercih edilirler. Alüminyum matrisler parçacık takviyeli, sürekli olmayan fiber takviyeli, sürekli fiber takviyeli olarak güçlendirilip kompozit malzeme üretiminde kullanılmaktadırlar [1,2].

Metal matrisli kompozitler katı, sıvı ve buhar fazından olmak üzere birçok farklı üretim yöntemiyle üretilebilirler. Bu yöntemlere katı fazdan üretimde toz metalürjisi, sıvı fazdan üretimde infiltrasyon, karıştırmalı döküm, püskürtme, döküm, buhar fazdan üretimde çökeltme yöntemi örnek olarak verilebilir [3,4].

Katı hal işlemleri metal matrisli kompozitlerin üretiminden yüksek maliyetlidirler. Parçacık takviyeli metal matrisli kompozitlerin üretiminde yaygın olarak katı hal işlemlerinden toz metalürjisi yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde bazı durumlarda ikincil işlemlerin gerekli olması yöntemin maliyetini artırmaktadır.

Toz metalürjisi yönteminde ön şekil verme, presleme ve sinterleme gibi işlem adımları yer almaktadır [5]. Bunun yanında seramik malzemelerin sinterlenme sıcaklıkları yüksek olduğundan dolayı alüminyum ve magnezyum gibi düşük ergime sıcaklığına sahip metallerde yanma kayıplarına neden olmaktadır [6].

Alüminyum matrisli kompozitlerin üretilmesinde sıvı hal işlemlerinden infiltrasyon yöntemi birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır [7,8]. İnfiltrasyon yöntemi ile alüminyum matrisli kompozitler %50 takviye-hacim oranına kadar basınçlı, basınçsız ve vakum infiltrasyon yöntemiyle imal edilebilirler. İnfiltrasyon yönteminde etkili olan parametreler arasında kılcal basınç, sıvı metal sıcaklığı, matris alaşımı, infiltrasyon işlem süresi, takviye-hacim oranı ve takviye partikül büyüklüğü yer almaktadır [9].

Sıvı hal işlemleri üretim yönünden katı hal işlemlerinden daha ekonomik olsalar da alüminyum matris alaşımlarının birçok seramik malzemeyi ıslatması oldukça zordur. Bu durum seramik takviye ile metal ara yüzeyinde ıslatma sağlayamama, boşluk ve eksik infiltrasyona neden olmaktadır.

Seramik partiküllerin alüminyum matris tarafından ıslatılmaması ve oksit tabakasının oluşması matrisle takviye arasında metaller arası bileşik oluşması ve gözeneklerin takviye elemanı etrafında toplanması üretilen kompozitlerin mekanik özelliklerini olumsuz etkilemektedir [10].

Seramik partiküllerin metal ile kaplanması metal-seramik ara yüzey gerilimini düşürerek ıslatma özelliklerini artırmaktadır [11].

Seramik takviyeli (B_4C , SiC , Al_2O_3 , MgO vb.) Al matrisli kompozitler son zamanlarda balistik direnç gösteren malzemelerde kullanılmaktadırlar [12].

Übeyli vd. yapmış oldukları çalışmada SiC takviyeli AA 7075 matrisli kompozit malzemeleri toz metalürjisi yöntemiyle üretmişlerdir. Ürettikleri kompozit malzemelerin balistik davranışlarını incelemişler ve ürettikleri işlevsel dereceli

kompozitlerin 25 mm kalınlığa kadar merminin etkisine dayanamadıklarını tespit etmişlerdir [13].

Zhou vd. yapmış oldukları çalışmada %55 T-H oranında B₄C takviyeli AA 2024 matrisli kompozit malzemeleri basınçlı infiltrasyon yardımıyla üretmişler ve balistik etki sonrası kompozitlerin morfolojik özellikleri ve mikro yapılarını yorumlamışlardır. Ürettikleri kompozit malzemenin mermide pasivasyon ve aşınma etkileri oluşturduğunu gözlemlemişlerdir [14].

Huang vd. yapmış oldukları çalışmada yüksek mukavemet ve sertlik özellikleri kazandırması bakımından Al₂O₃, tokluk özelliğini artırmak içinde ZrO₂ tozlarını belirli oranlarda bir araya getirip 1550 °C'de sinterleyerek elde ettikleri kompozit malzemelerin balistik direnç yeteneğini incelemişlerdir. Kompozit içeriğindeki seramik katmanın, mermiler üzerindeki abrazyon (çarpma sonucu aşınma) etkisini ve ürettikleri kompozit malzemelerin darbe direncini artırdığını gözlemişlerdir [15].

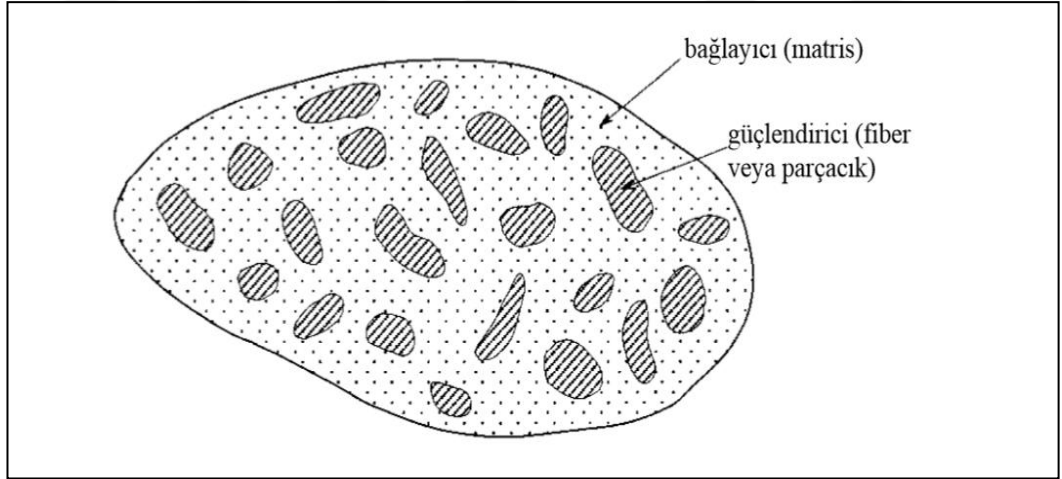
Bu sebeplerden bu çalışmada MgO seramik tozlar akımsız nikel kaplanarak kaplamalı ve kaplamasız tozlarla vakum infiltrasyon yöntemi kullanılarak Al matrisli kompozitler üretilmişlerdir. Ni kaplamanın Al matrisli kompozitlerin infiltrasyon mesafesi, seramik takviyelerin kaplanmasının oluşturduğu yapısal farklılıklar, mikro yapı ve sertlik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2. METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER

Yüz yıldan uzun süren aktif araştırmalardan sonra, metallere dayalı kompozitler artık endüstriyel ve mühendislik uygulamalarına önemli katkılar sağlamaktadır [16].

Metal matrisli kompozitler (MMK) genellikle fiber ya da partikül şeklindeki metal ya da seramik takviye malzemelerin, metal matris içerisinde belirli bir düzende ve homojen olarak dağılmaları sonucu istenilen özelliklerin bir arada kombinasyonunu sağlayan ve bu doğrultuda imal edilen malzeme grubudur.

Özellikleri ve kimyasal bileşimleri farklı olan ve birbirleri içerisinde makro boyutta çözünmeyen iki yada daha fazla malzemenin birleştirilmesiyle meydana gelen yeni malzemeye kompozit malzeme denir. Sürekli faz matris, süreksiz faz ise takviye, güçlendirici olarak adlandırılır. Bu tanım Şekil 1.1 'de şematize edilerek verilmiştir.



Şekil 1.1. Basit kompozit malzeme modeli [17]

Metal matris kompozitler bir matristen ve bir veya daha fazla takviye fazından oluşur. Matris bileşeni genellikle alüminyum, magnezyum ve titanyum gibi hafif bir metaldir. Takviye, matris alaşımlarından daha güçlü oldukları ve kompozitlere bazı özel özellikler kazandırdıkları için normal olarak kuvvetini arttırarak matrise katılır [18].

Kompozitin içerisindeki takviyelerin temel işlevleri; yük taşımak, sertlik, mukavemet, termal kararlılık ve diğer yapısal özellikleri sağlamak ve istenilen elektriksel özellikleri (iletkenlik veya yalıtkanlık gibi) sağlamaktır. Matris malzemesinin temel görevleri ise; takviyelere bağlanarak bir arada tutmak, takviyelere yük aktarımı ve rijitlik sağlamak, takviyelerin ayrı ayrı hareket etmesine olanak tanımak ve böylece çatlak ilerlemesini durdurmak veya yavaşlatmaktır. Ayrıca matris malzeme bunların dışında fiberglas takviyesi ile kimyasallara karşı koruma ve mekanik hasarlarda aşınma direncini artırıcı özellik gösterir [19].

Metal matrisli kompozitlerin birçok karakteristik özelliği vardır. En önemli özellikleri şöyledir:

- Metal matrisli kompozitler saf metal malzemelerden daha yüksek mukavemet ve esnekliğe sahiptir.
- Metal matrisli kompozitler yüksek kırılma tokluğuna sahiptir ve diğer kompozitlerle karşılaştırıldığında büyük darbe kırılma enerjisini emebilirler, çünkü matris metalleri yüksek sünekliğe sahiptir.
- Genel olarak, metal matrisli kompozitler diğer kompozitlerden daha yüksek termal iletkenliğe sahiptir.
- Sert seramik partikülleri takviyeli metal matrisli kompozitler iyi aşınma direncine sahiptir.
- Metal matrisli kompozitler küçük termal genleşme katsayısına sahiptir.

- Metal matrisli kompozitler yüksek elektriksel iletkenliğe sahiptir.
- Plastik deformasyon, parçacıklar veya kısa kablolarla takviye edilmiş metal matris kompozitleri içerisinde oluşur ve bu kompozitler plastik deformasyon ile daha da güçlenir [20].

2.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Uygulama Alanları

Metal matrisli kompozitler çok sayıdaki yapısal uygulamalarda kullanımlar için iyi bir potansiyele sahiptirler. Ancak monolitik metal ve alaşımları ile karşılaştırıldıklarında, mukavemet-elastik modül kazanımının yüksek maliyete üstün geldiği uygulamalar dışında MMK'lerin kullanımları yüksek maliyetten dolayı sınırlandırılmıştır.

MMK'lerin üretimin ana amacı matris alaşımının mukavemet ve modülünü artırmaktır. Bununla beraber matris alaşımları çok değişik varyasyonlardan dolayı değişik elastik modül, mukavemet ve termal genleşme katsayıları vererek arzulanan malzemelerin üretilebilirliğini sağlarlar. En önemli özelliklerinden biri ise aşınma dirençlerinin çok iyi olmasından dolayı aşınma uygulamalarında yaygın olarak kullanılabilmesidir [21].

Metal matrisli kompozit malzemelerin ticari olarak kullanımı son yıllarda büyük ölçüde artış göstermektedir. Metal matrisli kompozitler sağladıkları üstün özellikler ve üretilebilirliklerinden dolayı otomotiv, uzay ve havacılık, elektrik bileşenleri ve iletim malzemeleri, tıp, spor ve tekstil gibi birçok alanda kullanılmaktadırlar.

Metal matrisli kompozitlerin istenilen özelliklere göre uygulama alanları Çizelge 2.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. MMK'lerin uygulama alanları [22]

Uygulama	İstenilen Özellik	MMK
Otomotiv ve ağır yük taşıtları Bağlantı sistemleri, piston kolları, piston pimleri, valf yay başlıkları, fren diskleri, kardan milleri Akü plakaları	Yüksek özgül dayanım ve rijitlik, ısı direnci, düşük ısı genleşme katsayısı, aşınma direnci, ısı iletkenlik Yüksek rijitlik, sürünme direnci	Al-SiC, Al-Al ₂ O ₃ , Mg-SiC, Mg-Al ₂ O ₃ , süreksiz takviyeler Pb-C, Pb-Al ₂ O ₃
Savunma sivil amaçlı hava taşıtları Akşlar, dişli kutuları, fan ve kompresör kanatları Türbin kanatları	Yüksek özgül dayanım ve rijitlik, ısı direnci, darbe direnci, yorulma direnci Yüksek özgül dayanım ve rijitlik, ısı direnci, darbe direnci, yorulma direnci	Al-B, Al-SiC, Al-C, Ti-SiC, Al-Al ₂ O ₃ , Mg-Al ₂ O ₃ , MgC, sürekli ve süreksiz takviyeler W süper alaşımlar, Ni ₃ Al, Ni-Ni ₃ Nb
Hava-uzay sanayisi Antenler, birleştirme elemanları	Yüksek özgül dayanım ve rijitlik, ısı direnci, düşük ısı genleşme katsayısı, ısı iletkenlik	Al-SiC, Al-B, Mg-C, Al-C, Al-Al ₂ O ₃ sürekli ve süreksiz takviyeler
Elektrik bileşenleri ve iletim malzemeleri, Karbon fırçalar Elektrik kontaktları Süper iletkenler	Yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, aşınma direnci, Yüksek elektrik iletkenliği, ısı ve korozyon direnci Süper iletkenlik, mekanik dayanım, süneklik	Cu-C Cu-C, Ag-Al ₂ O ₃ , Ag-C, Ag-SnO ₂ , Ag-Ni Cu-Nb, Cu-Nb ₃ Sn, CuYBaCO
Diğer uygulamalar Nokta kaynak elektrotları Yataklar	Alevlenmeye karşı direnç Yük taşıma kapasitesi, aşınma direnci	Cu-W Pb-C, Pirinç-Teflon

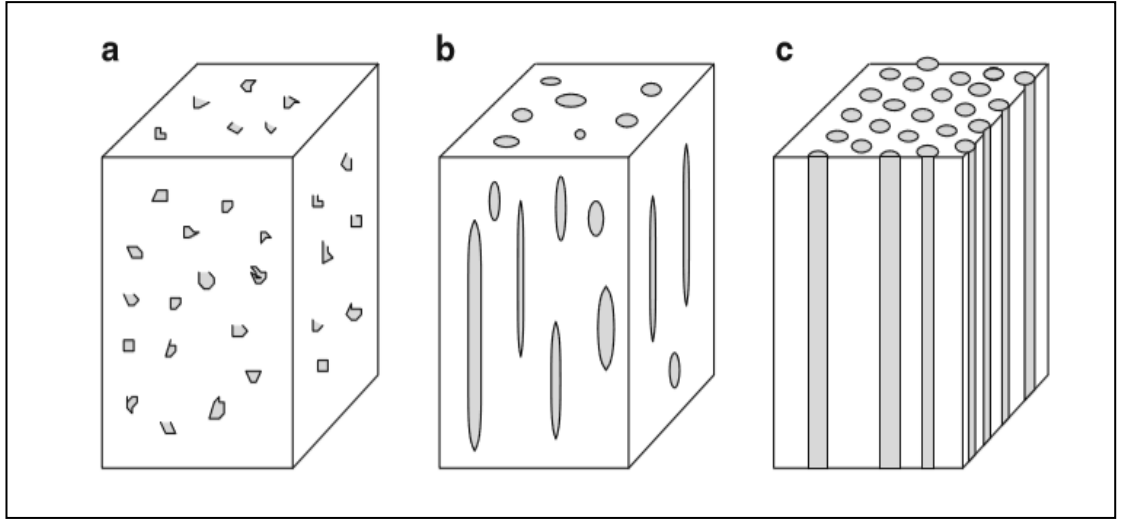
2.2. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozitler matris malzemesinin türüne göre altı kategoriye ayrılır. Çizelge 2.2 'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Kompozitlerin matris malzemesi türüne göre sınıflandırılması

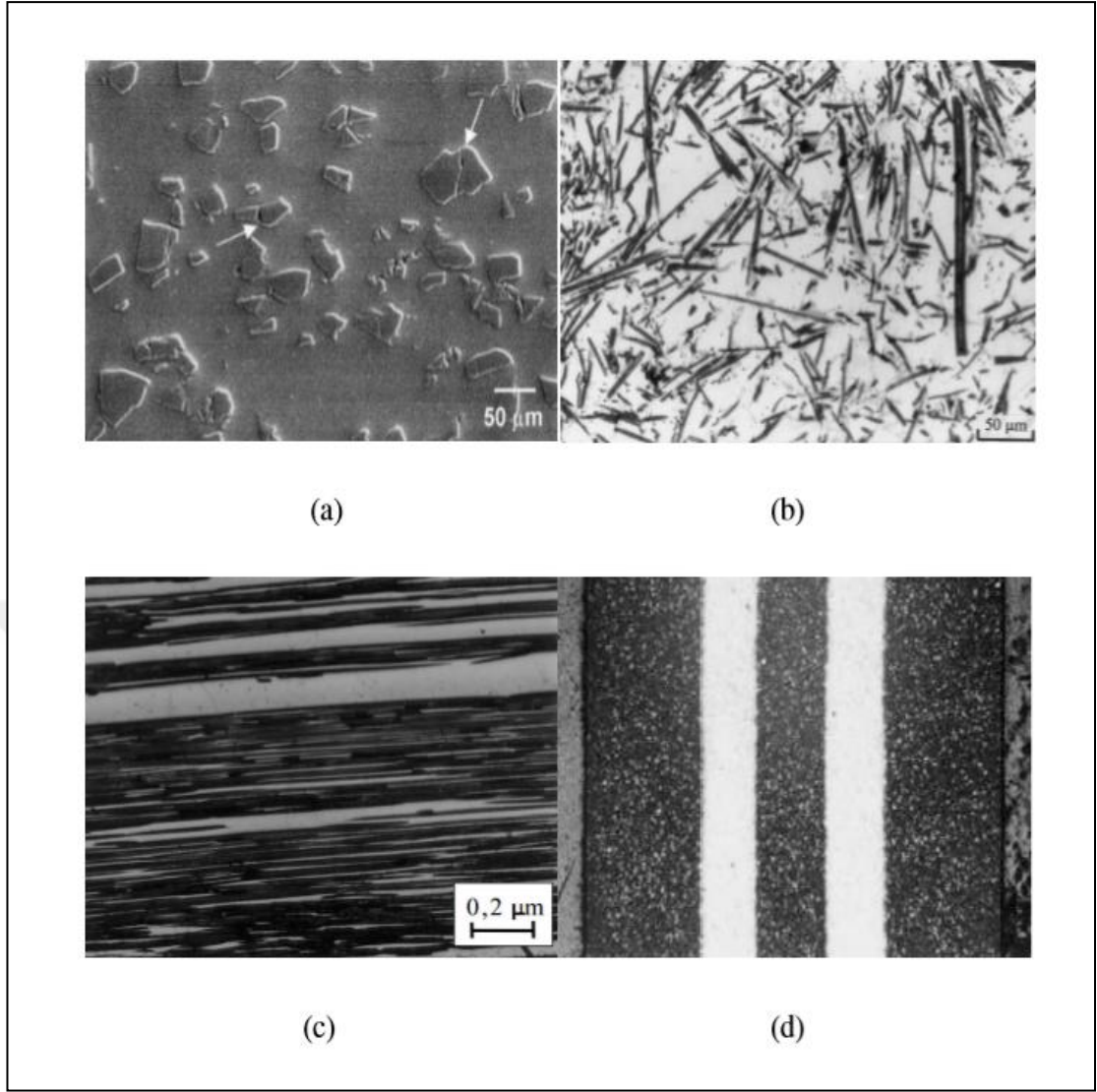
1. Metal matris kompozitler
2. Plastik matris kompozitler
3. Seramik matris kompozitler (sürekli elyaf takviyeli seramikler veya fiber takviyeli seramikler)
4. Cam matris kompozitler
5. Intermetalik bileşik matris kompozitler
6. Karbon fiber takviyeli karbon

Alternatif olarak; kompozitler kullanılan takviyenin şekline göre şekline göre de sınıflandırılırlar. Şekil 2.1'de bu sınıflandırma gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Kullanılan takviyenin şekline göre kompozitlerin sınıflandırılması (a)
Parçacık takviyeli kompozit (b) Sürekli olmayan fiber takviyeli kompozit
(c) Sürekli fiber takviyeli kompozit [23]

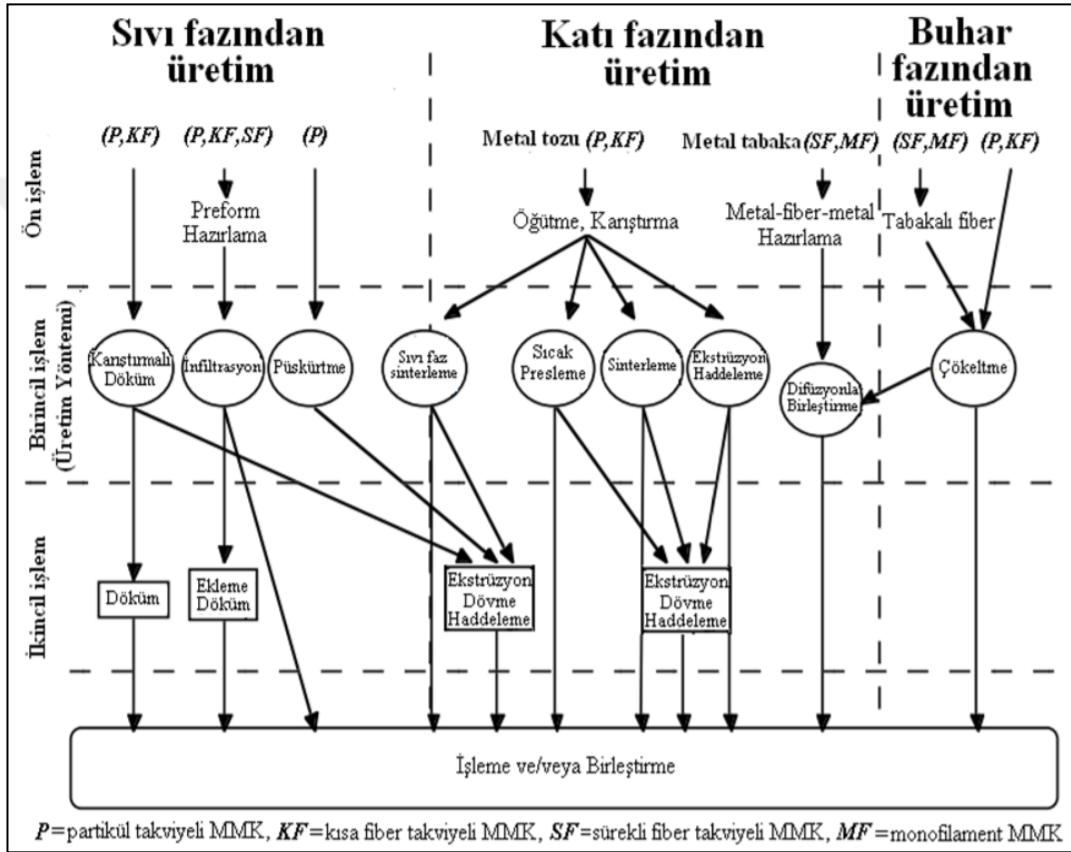
Metal matrisli kompozitler parçacık takviyeli, sürekli olmayan fiber takviyeli ve sürekli fiber takviyeli olarak sınıflandırılabilirler. Şekil 2.2.'de takviye şekline göre Al matrisli kompozit malzemelere ait mikroyapı görüntüleri verilmiştir.



Şekil 2.2. (a) Hacimce % 20 oranında SiC partikül takviyeli 2080 Al esaslı MMK [24], (b) Hacimce % 20 oranında $\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$ kısa fiber takviyeli Al-Si esaslı MMK [25], (c) Hacimce % 55 oranında Al_2O_3 sürekli fiber takviyeli saf Al esaslı MMK [26], (d) 2014 Al tabaka ve hacimce 6061 Al esaslı, % 20 oranında SiC partikül takviyeli MMK tabakadan oluşan tabakalı MMK [27].

2.3. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

MMK'ler; yapısını oluşturan takviye ve matris malzemelerinin kimyasal özellikleri, takviye malzemesinin şekli ve malzemeden istenilen özelliklere bağlı olarak çok farklı yöntemlerle imal edilebilirler. MMK üretim yöntemleri, matris malzemesinin bulunduğu faza göre Şekil 2.3'de görüldüğü gibi üç kısımda bölümlendirilebilirler.



Şekil 2.3. MMK üretim yöntemleri [28]

Üretim yönteminin seçiminde, üretilecek mamul veya yarı mamulün önceden belirlenen fiziksel ve mekanik özellikleri değerlendirilip, şu parametreler dikkate alınarak yöntem belirlmesi yapılır.

- Çalışma sıcaklığı aralığı
- Takviye malzemesi şekli
- Matris malzemesi ile takviye malzemesinin uyumu
- Matris ve takviye malzemelerinin ek işlem gereksinimi
- Matris malzemesi ile takviye malzemesi arasında oluşabilecek reaksiyonlar
- Elde edilecek üründen istenen boyut tamlığı
- Takviyenin matris malzemesi içerisinde dağılımının homojen olması
- Matris-takviye ara yüzey bağının tam olarak sağlanabilmesi. [29]

Üretim maliyeti yönünden ele alındığında, katı faz üretim yöntemleri üretim süresi daha uzun olduğu için sıvı faz üretim yöntemlerinden daha yüksek maliyette olabilmektedir (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3. MMK üretim yöntemlerinin karşılaştırılması [30].

Metod	Maliyet	Uygulama	Açıklamalar
Difüzyon Bağlama	Yüksek	Levha, kanat, mil, yapısal elemanlar	Matris, levha; takviye elemanı da filaman formundadır.
Toz Metalürjisi	Orta	Başlıca küçük paraların, cıvata, piston, valf ve yüksek dayanım ve ısı dirençli malzemelerin üretiminde kullanılır.	Hem matris hem de takviye toz formundadır. Ergime olmadığı için reaksiyon bölgesi (ürünü) oluşmaz ve kompozit yüksek dayanıma sahip olur.
Sıvı-Metal İnfiltrasyon	Düşük/Orta	Rot, tüp ve tek eksenle maksimum özelliklere sahip yapısal elemanların üretiminde kullanılır.	Filaman formunda takviye faz kullanılır.
Sıkıştırılmalı Döküm	Orta	Otomotiv endüstrisinde piston, bağlantı rodları, silindir başlıkları ve kompleks parçaların üretiminde kullanılır.	Takviye elemanı herhangi bir formda olabilir ve büyük ölçekli üretime uygundur.
Püskürtme	Orta	Sürtünme malzemeleri, elektrik fırçaları ve kontakları ile kesme taşlama takımlarında kullanılır.	Takviye partiküller kullanılır ve tam yoğunluğa sahip malzemeler üretilebilir.
Kompo Döküm	Düşük/Orta	Otomotiv, havacılık, endüstriyel ekipman ve spor malzemesi endüstrileriyle yatak malzemelerinin üretiminde kullanılır.	Süreksiz fiberler özellikle partikül takviyeler için uygundur.

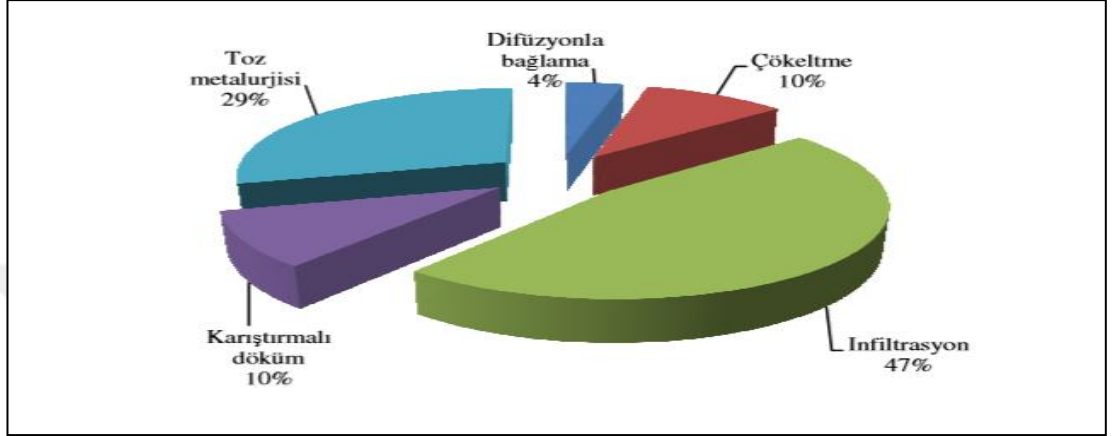
MMK'lerin üretim yöntemlerinin belirlenmesinde bir diğer belirleyici etken de malzemeden beklenen özelliklerin takviye elemanın belirli formlarında sağlanabilmesidir. Örneğin izotropik özellikteki bir MMK'in üretimi için süreksiz takviye formuna ihtiyaç duyulurken, anizotrop özellikteki bir MMK üretimi için takviye formunun sürekli olması istenir. Buradan MMK üretim yöntemlerinde kullanılan takviye formları Çizelge 2.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. MMK üretim yöntemlerinde kullanılan takviye formları [30].

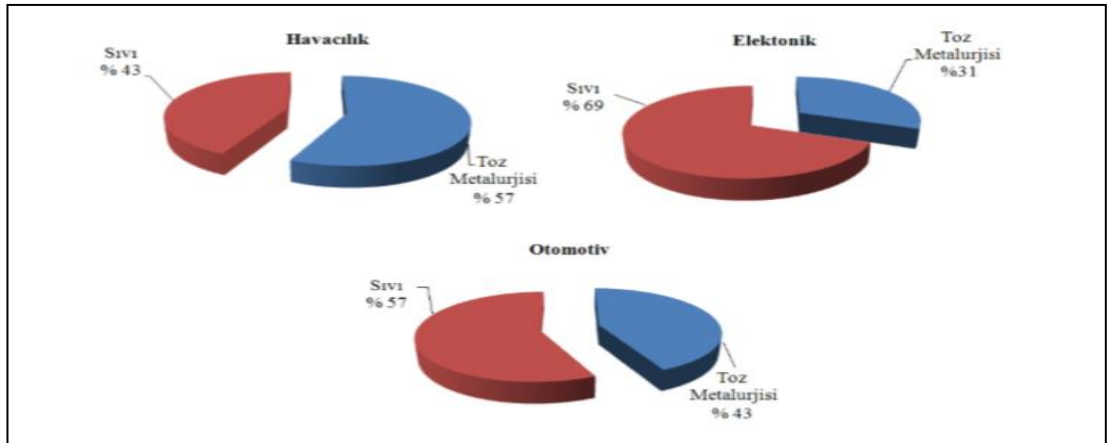
Üretim Metodu	Sürekli Takviye		Süreksiz Takviye		
	Tekli Filaman	Çoklu Filaman	Kısa Fiber	Kılcal Fiber	Partikül
Basınçlı İnfiltrasyon	(√)	√	√	√	(√)
Püskürtme Kaplama	√	√	x	x	√
Karıştırma ve Döküm	x	x	(√)	(√)	√
Toz Karıştırma ve Ekstrüzyon	x	x	√	√	√
Kaplama ve Sıcak Presleme	(√)	√	x	x	x
Difüzyonla Bağlama	√	x	x	x	x

x: uygun değil, (√): yaygın değil, √: uygun.

MMK üretiminde endüstriyel firmaların tercih ettikleri üretim yöntemlerinin yüzde dağılımları Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Havacılık, elektronik ve otomotiv sektörleri ele alındığında Toz Metalürjisi üretim yönteminin sıvı hal üretim yöntemlerinden daha yüksek oranda tercih edildiği görülmektedir (Şekil 2.5).



Şekil 2.4. MMK üretimi yapan endüstriyel firmaların kullandıkları üretim metotlarının dağılımı [28]



Şekil 2.5. Havacılık, elektronik ve otomotiv sektörlerinde MMK üretimi için kullanılan sıvı hal ve toz metalürjisi üretim yöntemlerinin dağılımları[28].

2.3.1. Sıvı Hal İşlemleri

Sıvı hal işlemleri, adından da anlaşılacağı gibi matris malzemelerinin ergitilerek takviye elemanları ile herhangi bir şekilde temasa geçirilerek aralarında bağ oluşturma işlemidir [31]. Sıvı hal üretim işlemlerinin yaygın olarak tercih edilenleri şu şekilde sıralanabilir.

- Sıvı- metal infiltrasyonu
- Basınçlı döküm
- Karıştırılmalı döküm
- Sıkıştırılmalı döküm
- Yarı katı döküm
- Püskürtme

2.3.2. Katı Hal İşlemleri

Katı hal üretim yöntemleri, matris malzemesinin ergime sıcaklığından daha düşük bir sıcaklıkta farklı işlemler uygulanarak kompozit malzeme üretimi işlemleridirler. Katı hal üretim yöntemlerinden başlıcaları;

- Toz metalürjisi
- Difüzyonla birleştirme
- Sıcak haddeleme

MMK'ların katı hal ve sıvı hal işlemleri ile üretilmesine ilişkin bazı örnekler ve üretilen metal matrisli kompozitlere ait ana özellikler Çizelge 2.5'de verilmiştir.

Çizelge 2.5. MMK Katı/Sıvı hal işleme ana kategoriler [32].

Kompozit Tipi/İşlem	Örnekler (Takviye/Matris)	Ana Özellikleri
Katı Hal İşleme		
Yerinde şekillendirme -İç oksidasyon	Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , BeO patikül/Cu veya Ag matris	-Mukavemet artırma -İyi elektrik iletkenliği
Toz şekillendirme -Sinterlenmiş Al tozları	Al ₂ O ₃ takviye/Al matris	- 300 ° C de toza orta orta mukavemet ve sertlik -Düşük yoğunluk
Toz metalürjisi ile birleştirilmiş uzun veya kısa fiber yada partiküller	Al ₂ O ₃ , SiC/Al alaşımlı matris	-Ortalama sıcaklıklarda mukavemet -Düşük yoğunluk -Düşük termal genleşme
Sert metaller	WC partikül/ Co matris	-Kesme uygulamaları için geliştirilmiş malzeme sınıfı
Mekanik alaşımlama	Oksit partikül/Süperalaşım matris	-Yüksek performanslı alaşım -Yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemet
Difüzyon bağı -İntermetalik malzemelerdeki uzun fiberler -Eloksallı Al	SiC fiberler/ Ti ₃ Al Al ₂ O ₃ partikül/ Al matris	-Yüksek sıcaklıkta oksidasyona karşı bazı sorunlar -Orta mukavemet ve süneklik - Yüksek elektrik iletkenliği
Sıvı Hal İşleme		
Ergiyik metal işleme	SiC veya Al ₂ O ₃ /Düşük alaşımlı matris	-Mekanik özelliklerde iyileştirmeler
Preforma infiltrasyon	SiC lif, Al ₂ O ₃ fiber/ Al matris SiC takviye/ Ti matris B takviye/ Al alaşımlı matris	-İyi sertlik ve mukavemet -Düşük yoğunluk -Düşük ısı iletkenliği
Dağılım	Eriyik içinde çeşitli seramik parçacıklar	-Mikroyapı kontrolünde bazı problemler
Yarı katı işleme	Si /Al matris	-Makul mukavemet -İyi aşınma özellikleri
Püskürtme	Alaşım matris içindeki partikül/kısa veya uzun lifler SiC veya Al ₂ O ₃ takviye/Al matris	-İyi sertlik ve mukavemet -Düşük yoğunluk -Düşük termal genleşme katsayısı
Yerinde işleme	TiB ₂ partikül/Al matris	- İyi mukavemet, esneklik ve dayanıklılık -Yorulma dayanımı
Katılaşma-işlemi Yönlü katılaşma	TiC fiberler	-Termal gradyant ile ilgili bazı problemler

2.4. İnfiltrasyon Yöntemi

Kompoziti oluşturacak sıvı matrisin preform bir yapı içerisine emdirilmesi, infiltrasyonu bir basınç yada vakum yardımı ile sağlanır. Bunun dışında sıvı tanecikleri katıyı ıslattığı anda çevresel bir müdahalede bulunmaksızın, gözenekli preform içerisine sıvının kendi kendine infiltrasyonu sağlanır [32,33,34].

Al alaşımlı MMK'ları üretmek için sıvı alüminyum alaşımı sürekli fiberlerin/kısa fiberlerin veya parçacıkların arasındaki boşluklara infiltre edilir. Katkı fazının karakterine ve hacimsel oranına bağlı olarak vakum veya basınç altında kompozite infiltre edilir. Hacimsel olarak %10 dan %70'e kadar katkı fazla Al matrisli kompozitler farklı infiltrasyon yöntemleri kullanılarak üretilirler. Parçanın bütünlüğünü sağlamak için bağlayıcı olarak silika ve alümine esaslı karışımların kullanılması gereklidir [35]. Yöntem, parçacık takviyeli, sürekli fiberli, kısa fiberli MMK'ların üretiminde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.

Metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminden en uygun yöntemlerden biri sıvı metal infiltrasyon tekniğidir [36].

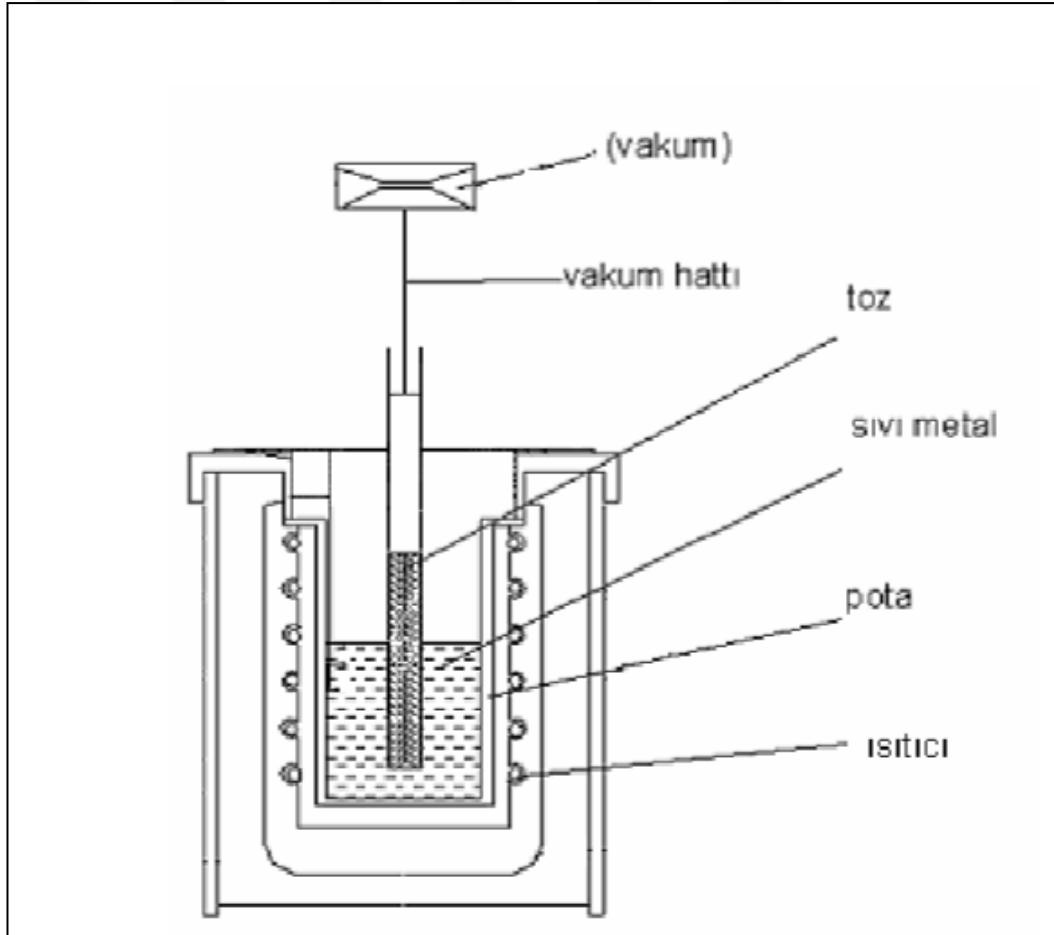
Sıvı metal infiltrasyon teknikleri, metal matrisli kompozit malzemeler için en uygun üretim yöntemlerinden biridir. Dış basıncın göz önünde bulundurulmasıyla sıvı metal infiltrasyon yöntemi aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [37].

1. Vakum İnfiltrasyon
2. Basıncılı İnfiltrasyon
3. Basıncsız İnfiltrasyon
4. Zorlanmış infiltrasyon
5. Sıkıştırılmalı döküm infiltrasyon
6. Basıncılı kokil infiltrasyon
7. Mekanik basınçlı infiltrasyon
8. Gaz basınçlı infiltrasyon

2.4.1. Vakum İnfiltasyon

Vakum infiltrasyon yönteminde negatif bir basınç uygulanarak sıvı matris gözenekli takviye arasına infiltre edilmektedir [38].

Özellikle Al alaşımlarında sıvı matrisin üst yüzeyinde oluşan oksit tabakası takviyenin sıvı matris tarafından ıslatılmasını zorlaştırır. Bu ıslatma zorluğu infiltrasyonu olumsuz yönde etkilemektedir. İnfiltasyonun olumsuz yönde etkilenmemesi için sıvı matrise ıslatma özelliğini arttıracak elementler ilave edilir. Bunun dışında ıslatılabilirliği kolaylaştıracağından, seramik takviyenin Ni ve Cu gibi elementlerle kaplanması infiltrasyonun olumsuz yönde etkilenmesinin de önüne geçmektedir [38,39,40].



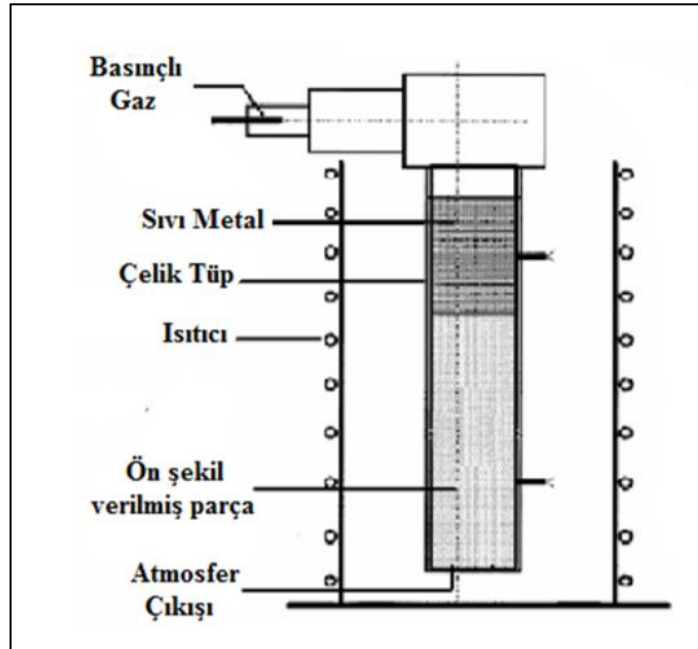
Şekil 2.6. Vakum infiltrasyon yönteminin şematik gösterimi [6].

2.4.2. Basınçlı İnfiltrasyon

Basınçlı infiltrasyon yöntemi ön şekillendirilmiş blok parça veya yatak içerisine, sıvı matrisin basınçlı gaz yardımı iletilerek kompozit malzemelerin üretilmesi prensibine dayanmaktadır [45-46].

Basınçlı infiltrasyonla metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminde dikkat edilmesi gereken kısımlardan biri toz numunelerin üniform sıkıştırılmış olmalarıdır. İnfiltrasyon süresi boyunca tozun içerisinde kanal oluşumunu önlemek ve sıvının düzgün bir şekilde ilerlemesini sağlamak için tozların iyi paketlenmesi gerekmektedir [44].

Basınçlı infiltrasyon yöntemi yüksek hacim oranında seramik takviyeli kompozitlerin üretilmesine avantaj sağlar [41-42]. Bu yöntem Al/Al₂O₃ kısa fiber kompozit malzemelerden dizel motor pistonlarının üretiminde, ticari olarak TOYOTA tarafından kullanılmıştır [43].



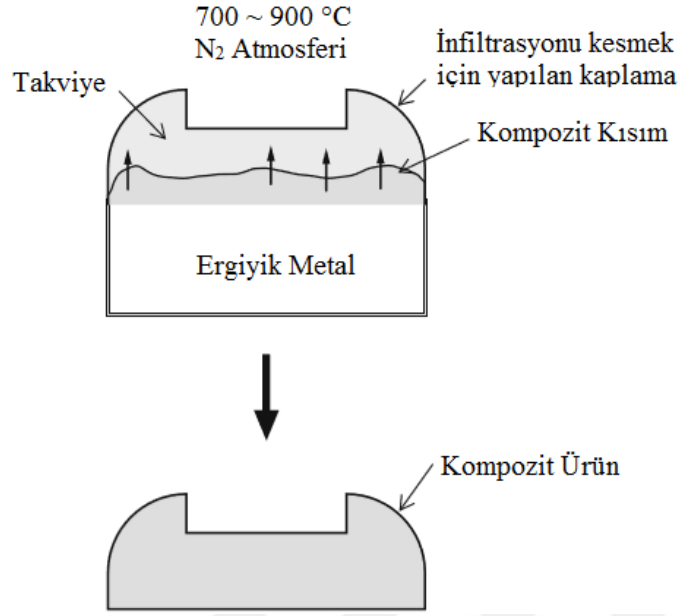
Şekil 2.7. Basınçlı infiltrasyon yönteminin şematik gösterimi [2].

2.4.3. Basınçsız İnfiltrasyon

Kılcallık kanuna göre sıvı bir katıyı ıslattığı zaman gözenekli bir ortam içerisine sıvının kendi kendine infiltrasyonu gerçekleşir. Aksi halde minimum bir dış basınç uygulanması gerekmektedir.

Basınçsız infiltrasyon metodunda; sıvı metalin takviye parçacık içerisine kendi kendine infiltrasyonunu sağlayan bu yöntemde paketlenmiş seramik toz yatak azot atmosferinde basınç uygulanmaksızın Al-Mg alaşımının infiltrasyonu sağlanabilir. Alaşım-seramik sistemi 800-1000 °C 'ye kadar ısıtılmaktadır. 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 uygulanmaksızın alaşımın takviye faza infiltrasyonuna imkan sağlayan bir bileşiktir. Bu yöntemin ısıtılmış preformun sıvı içerisine daldırılarak kendi kendine infiltrasyonun sağlandığı değişik bir uygulamasıda mevcuttur [3].

Ergiyik metal seramik fiberlerden veya partiküllerden meydana gelen gözenekli preformun içerisine kendiliğinden sızarsa (infiltr olursa) kompozit malzeme kolaylıkla imal edilmiş olur. Böyle bir basınçsız infiltrasyon yöntemi ABD'de geliştirilmiş ve Lanxide yöntemi olarak adlandırılmıştır.



Şekil 2.8. Lanxide prosesi ile basınçsız infiltrasyonun şematik gösterimi [47].

2.5. İnfiltrasyon Yöntemini Etkileyen Faktörler

2.5.1. Takviye Tane Boyutu

İnfiltrasyon öncesi takviye parçacıkları arasında oluşan boşluklar, takviye tane boyutuna bağlı olarak infiltrasyonu etkilemektedir. Büyük tane boyutuna sahip takviye elemanlarının arasında, infiltrasyon öncesi oluşan boşlukların büyük olması nedeniyle sıvı matris bu boşluklara daha kolay infiltre olabilmektedir [6].

Martinez vd., SiC tozlarla Al-Si-Mg alaşımını basınçsız infiltrasyon yöntemiyle infiltre etmişlerdir. Parçacık boyutunun büyümesi ile infiltrasyon mesafesinin arttığını belirtmişlerdir [48].

2.5.2. İnfiltrasyon Süresi

İnfiltrasyonun sağlanabilmesi için diğer işlem parametrelerine bağlı olmakla birlikte bir kuluçka süresi gerekmektedir[49-50].

Contreras., 850,900 ve 950 °C sıcaklıklarda yaptığı % 56 T-H oranındaki Mg/TiC sisteminde infiltrasyon süresinin, infiltrasyon sıcaklığı ve ıslatma davranışı ile ilgili olduğunu savunmuştur [51].

Lianxi vd., (1998) kısa fiberli alümina yapı içerisine Al-1,5 Mg alaşımını basınç yardımıyla infiltre etmişlerdir. İnfiltrasyonun gerçekleşebilmesi için kuluçka süresine ihtiyaç olduğunu belirtmişlerdir. İhtiyaç duyulan bu kuluçka süresinin de artan basınçla azaldığını ifade etmişlerdi. Sabit basınç altında infiltrasyon süresi ve infiltrasyon mesafesinin parabolik bir ilişki içinde olduğunu aktarmışlardır [50].

2.5.3. İnfiltrasyon Sıcaklığı

İnfiltrasyon yönteminin en önemli parametrelerinden biri olan infiltrasyon sıcaklığı, artan sıcaklık değerlerinde sıvı matrisin akıcılığını artırarak, takviye taneleri arasındaki gözeneklerden sıvı matrisin daha kolay infiltre olmasını sağlamaktadır.

Rodrigues-Reyes , basınçsız infiltrasyon yöntemiyle Al-Si-Mg / SiCp kompozitlerin üretilmesinde en önemli deneysel değişkenin sıcaklık olduğunu dile getirmişlerdir. Artan sıcaklık ve azalan kuluçka süreleri ile SiC blok parçaların infiltrasyonunu sağlamıştır. Yaptığı bu çalışmanın özellikle sıcaklık parametresine bağlı olduğunu belirtmiştir [49].

Contreras vd., 850-900 °C sıcaklıklarda %56 takviye hacim oranındaki Mg/TiC kompozitleri argon atmosferinde basınçsız olarak infiltre etmişlerdir. Sıvı matrisin takviyeyi ıslatma eğilimindeki artışı artan infiltrasyon sıcaklıklarında gözlemlemiştir.

Kompozitlerin mekanik özelliklerinin iyi bir ıslatma kabiliyetinin yanında artan infiltrasyon sıcaklıklarında artış gösterdiğini ortaya koymuşlardır [51].

2.5.4. Takviye-Hacim Oranı

Kompozit malzeme, kendisini meydana getiren matris ve takviye malzemelerinden oluşur. Kompozit malzeme içerisinde, takviye edilen malzemenin hacimce miktarına takviye-hacim oranı adı verilir. Takviye-hacim oranı, infiltrasyon yönteminde infiltrasyon davranışını ve üretilecek olan kompozit malzemenin özelliklerini (gözeneklilik, sertlik, çekme dayanımı, aşınma özellikleri vd.) belirleyen parametrelerden biridir.

Kompozit malzeme üretiminde kullanılan takviye tozlarının bir cam tüp içerisinde oluşturdukları dolu hacim ve gözenekler Şekil 2.9' de gösterilmiş olup Eş.2.1' de ifade edilmiştir. Kompozit malzemelerde takviye hacim oranları Eş.2.2 ve Eş.2.3'de ifade edildiği gibi hesaplanır.



Şekil 2.9. Takviye tozlarının cam kap içerisinde oluşturdukları dolu hacim ve gözenekler [6]

$$V = V_{\text{takviye}} + V_{\text{gözenek}} \quad (2.1)$$

$$V_{\text{takviye}} = m_{\text{takviye}} / d_{\text{takviye}} \quad (2.2)$$

$$T-H_{\text{oranı}} = V_{\text{takviye}} / V_{\text{kompozit}} \quad (2.3)$$

Diğer bir deyişle cam tüp içerisindeki takviye tozlarının, gerçek ağırlıklarının teorik ağırlıklarına oranı % T-H oranını ifade etmektedir.

Takviyenin kompozit içerisindeki oranı ise Eş.2.4'de ifade edildiği gibi hesaplanır.

$$W_k = W_f \cdot V_f + W_m \cdot V_m \quad (2.4)$$

Burada ;

W_k : Kompozitlerin ağırlığı

W_f : Fiber ağırlığı

V_f : Fiber hacmi

W_m : Matris ağırlığı

V_m : Matris hacmi

m_{takviye} : Takviye kütlesi

d_{takviye} : Takviye yoğunluğu

2.5.5. İnfiltrasyon Basıncı

İnfiltrasyon yönteminde sıvı matrisin, blok parça içerisindeki kılcal boşluklardan ilerlemesi ve gözenekleri doldurması için basınç miktarı oldukça önemlidir. İnfiltrasyon işleminin (takviye parçacıkları arasında sıvı matrisin ilerlemesi) gerçekleşebilmesinde matris takviye uyumu ve gözenek boyları parametreleri ele alındığında matris takviye uyumunun sağlanamadığı durumlarda kılcal basınca yardımcı olmak üzere; infiltrasyona karşı kuvvetleri yenmek için dışarıdan basınç uygulanmasına gerek duyulabilir.

Lianxi vd., Al-1,5 Mg/Al₂O₃ kısa fiberli kompozitlerin basınçlı infiltrasyon yöntemiyle üretilmesinde, infiltrasyon oranının artan basınç değerlerinde arttığını gözlemlemişlerdir [50].

Demir ve Altınkok Al-Al₂O₃/SiC kompozitleri basınçlı infiltrasyon yöntemiyle üretmişlerdir. Sonuç olarak artan basınç değerlerinde kompozitlerin yoğunluklarının ve dayanımlarının arttığını ifade etmişlerdir [52].

2.5.6. Alaşım

Takviye malzemesi ile matris malzemesinin birbirleri ile uyumu metal matrisli kompozit malzemelerin özelliklerini etkileyen parametreler arasında gösterilmektedir. İnfiltrasyon yöntemi ile üretilen Al matrisli kompozit malzemelerde, infiltrasyon sırasında sıvı matristeki Mg içeriğinin infiltrasyon kabiliyetini artırdığı yapılan çalışmalarda gösterilmiştir.

Alüminyum sağladığı üstün özelliklerden ötürü (düşük ergime sıcaklığı, korozyon direnci, düşük yoğunluk, işleme kolaylığı) matris malzemeleri içerisinde yaygın olarak kullanılır. İnfiltrasyon yöntemiyle üretilen metal matrisli kompozit malzemelerde alüminyum döküm alaşımları tercih edilen alaşım grubudur. Bu alaşım grubunda bulunan Al-Si-Mg alaşımları ıslatma kabiliyetlerinin iyi olmasından dolayı en çok tercih edilen matris alaşımları arasında yer alırlar. Uygulama açısından ise düşük ergime sıcaklığına sahip alüminyum alaşımlarının yüksek sıcaklıklarda kullanımları sınırlıdır [6-53].

Martinez vd., SiC tozları ile Al-Si-Mg alaşımını basınçsız infiltrasyon yöntemi ile infiltre etmişlerdir. Artan Mg miktarları ile infiltrasyon derecesinin arttığını tespit etmişlerdir [48].

2.5.7. Islatma

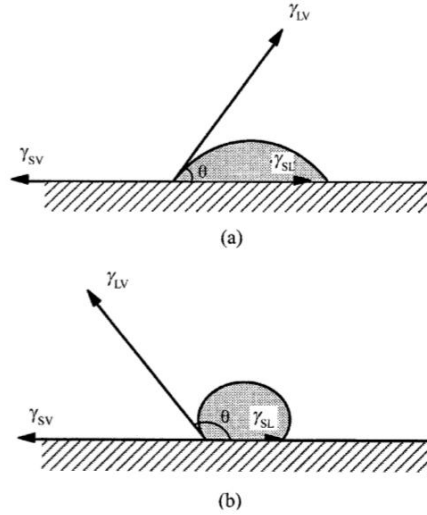
Islanabilirlik, katı bir yüzeyde bir sıvının yayılma kabiliyeti olarak ifade edilir. Islatabilirlikte üç spesifik enerji vardır. Bunlar γ_{SV} katı-buhar ara yüzey enerjisi, γ_{SL} katı-sıvı ara yüzey enerjisi, γ_{LV} sıvı-buhar ara yüzey enerjisi. Şekil 2.10'da bu enerjiler tanımlanmaktadır [54].

Sıvının katı yüzeyi ıslatma kabiliyeti temas açısı (θ) ile belirlenir. Sıvının katı üzerinde yayılması için sistemin serbest enerjisinde azalma olması gerekir. Bu açı $\theta = 90^\circ$ veya $\theta < 90^\circ$ ise ıslatma meydana gelir. Temas açısı $\theta > 90^\circ$ ise ıslatma gerçekleşmez [55].

θ , ıslatma açısı, Young eşitliği ile ifade edilir:

$$\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cos \theta \quad (2.5)$$

$$\cos \theta = (\gamma_{SV} - \gamma_{SL}) / \gamma_{LV} \quad (2.6)$$



Şekil 2.10. Temas açısı, θ , bir sistem için ıslatılabilirlik ölçüsü etkileşim içinde bulunan üç yüzey enerjisi arasında tanımlanır: Katı-sıvı yüzey enerjisi, γ_{SL} , katı-gaz yüzey enerjisi, γ_{SV} , sıvı-gaz yüzey enerjisi, γ_{LV} [54].

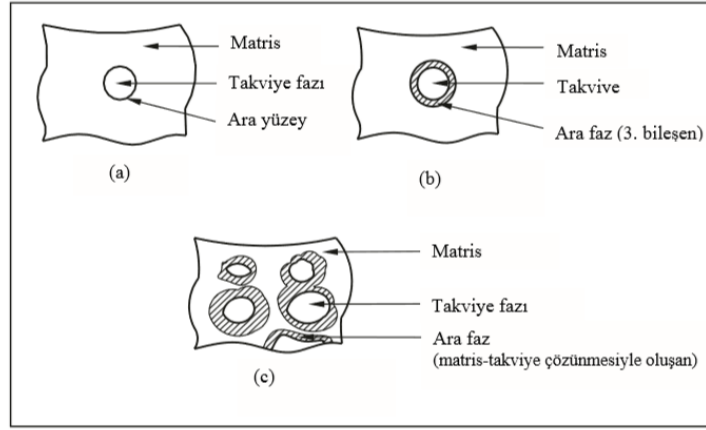
2.5.8. Matris-Takviye Arayüzeyi

Islatılabilirliğin sağlanması için kimyasal bileşimin dışında, arayüzeyi karakterize eden; geometri ve boyutlar, mikroyapı ve morfoloji, farklı fazların arayüzey bölgesinde sergiledikleri mekanik, fiziksel, kimyasal ve ısı karakteristikleri gibi parametrelerin etkilerin de hesaba katılması gerekmektedir [56].

Termodinamik açıdan, tane sınırındaki fazlar, sistemin serbest enerjisini en aza indirmek için değişme eğilimindedir. Bu dislokasyonların üretimi, tane sınırlarının göçü, çatlak oluşumu ve büyümesine yol açabilir. Metal matris kompozitte ideal bir arayüzey için; matris malzemesi, takviye elemanını arzu edilen ölçüde ıslatmalı ve bağlamalıdır. Ayrıca, arayüzey takviye elemanını korumalı ve sünek metal matristen, güçlü takviye elemanına yük geçişine izin vermelidir [1].

Kompozit malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri, matris üzerine etki eden gerilmelerin takviye elemanına aktarılmasının ara yüzey aracılığıyla olacağından kendisini oluşturan matris-takviye ara yüzeyi yapısı ve özelliklerinden etkilenir [57].

Kompozit malzeme tarifine göre matris ve takviye fazı birbiri içinde çözünmemelidir. Ancak çok az miktarda çözünürlük matris-takviye arasında güçlü bir bağın oluşumunu olumlu yönde etkiler (Şekil 2.11 (c)). Bazı durumlarda matrisle takviye arasında doğrudan bağ oluşur. Matrisle takviye arasında iyi bir bağ oluşmaması durumunda takviye üzerine matris ile bağ oluşturan bir malzeme kaplanır.



Şekil 2.11. Kompozit malzemede matris-takviye bağı oluşumunda ara yüzey ve ara fazlar (a) Doğrudan (ara fazsız) birleşme, (b) Kaplanmış takviye kullanımı, (c) Karşılıklı sınırlı oranda çözünmeyle ara faz oluşumu [58]

2.6. Metal Matrisli Kompozitlerde Kullanılan Takviye Elemanları

Takviye elemanı kompozitlerde malzemeye gelen yükü taşıyarak matris malzemesinin mekanik özelliklerini arttıran ve genellikle düşük yoğunluklu olan malzemelerdir. Bundan ötürü seramik esaslı takviye elemanları yaygın olarak tercih edilirler.

Takviye elemanları kompozit içerisinde tekfilament, kısa fiberler (vişkerler), uzun fiberler veya parçacıklar şeklinde yer alabilirler. Takviye elemanından beklenen özellikler yüksek elastikiyet modülü, düşük yoğunluk, yüksek çekme mukavemeti, termal kararlılık, matris malzemesi ile uyumluluk şeklinde sıralanabilir [59-60].

MMK uygulamalarında kullanılan takviye elemanları arasında Al_2O_3 , SiC, B_4C , TiB_2 , TiC, WC, W, C ve MgO yer alır.

2.6.1. Magnezyum Oksit (Magnezya, MgO)

Magnezyum oksit, periklas olarak da bilinen, ampirik formülü MgO olan beyaz renkli bir katıdır. Doğada genelde dolomit ve brüstit karışımı şeklinde metamorfik kayalarda bulunur. Periklas ilk olarak 1840 yılında A. Scacchi tarafından, İtalya'nın Vesivius bölgesinde bulunan bir demir oksit mineralinin içeriğinden belirlenmiştir. Genel olarak $Mg(OH)_2$ veya $MgCO_3$ 'ın kalsinasyonu ile elde edilir. MgO, yüzey merkezli kübik yapıda inorganik bir bileşiktir. Bazı fiziksel özellikleri Çizelge 2.6'da görülmektedir.

Çizelge 2.6. Magnezyum oksitin fiziksel özellikleri [61]

Fiziksel Özellikler	
Mol Kütlesi	40.3044 g/mol
Yoğunluk	3.58 g/cm ³
Erime Noktası	2800 °C
Kaynama Noktası	3600 °C
Çözünürlük	0.0086 g /100 mL

Magnezyum % 2'lik oranla tabiatta en çok bulunan sekizinci elementtir. 700 – 1000°C'larda kalsine edilmiş magnezya asitlerin nötrleştirilmesinde, plastik ve kauçuk uygulamalarında; 1000 – 1500°C'larda kalsine edilen magnezyum oksit, kimyasal aktivitesinin düşük olmasından dolayı gübre ve hayvan yemi üretiminde; 2650°C'ın üzerinde kalsine edilmiş magnezyanın ergitilmesiyle de elektrik uygulamaları ve refrakter endüstrisinde kullanılmaktadır [6].

Magnezyum oksit;

İyi refrakter özelliği,
Yüksek korozyon direnci,
Yüksek ısı iletkenlik,
Düşük elektrik iletkenliği,
Enfıraruj ışınlarını geçirgenliği

gibi özelliklerinden ötürü refrakter üretimi ve elektrik uygulamalarında tercih edilirler [62].

MgO çelik endüstrisinde korozyon direnci yüksek karbon emdirilmiş refrakter tuğla olarak kullanılır. Magnezya sipinel veya krom kombinasyonları şeklinde demir alaşımları, demir dışı alaşımlar, çimento ve cam sanayinde refrakter tuğla olarak kullanılır. Dökülebilir ve püskürtülebilir magnezya, çelik transfer uygulamalarında astar malzemesi olarak kullanılır.

MgO tozları elektrikli ısıtıcılar, bulaşık makineleri ve pişirme fırınlarında kontaktör; dizel motorlarında ateşleme subap uygulamalarında takviye elemanı olarak kullanılır.

Ektrüze edilmiş MgO ısı iletken uygulamalarında çevre etkilerden koruyucu örtü olarak kullanılır. Termo mekanik özelliklerinden dolayı fren sistemlerinde takviye elemanı, elektro-optik özelliklerinden dolayı plazma gösteri ekranlarında koruyucu film olarak kullanılır. Yüksek saflıktaki MgO ince yarı iletken filmlerde kullanılır [6].

2.7. Matris Malzemeleri

Kompozit malzemeyi meydana getiren bileşenlerden olan matris malzemesinin kullanım amacı, yapı içerisine takviye malzemesinin eklenmesiyle, gerekli geometrik şekil ve boyutlarda kompozit malzemeyi meydana getirmek ve bu kompozit malzemenin etkisi altında kaldığı yükleri takviye elemanına iletmektir. Bu şekilde takviye elemanlarını aşınma ve korozyona karşı korurlar. Matris malzemesi takviye elemanlarından kırılğan çatlakların ilerlemesini önler [63].

Alüminyum, magnezyum, titanyum, demir, bakır, nikel, kobalt metalleri ile bu metallerin alaşımları, intermetalik bileşikler, süper alaşımlar (nikel ve demir-nikel esaslı) MMK'lerde matris malzemesi olarak kullanılırlar.

Alüminyumun yüksek sıcaklık uygulamalarındaki kullanımının sınırlı olduğu için bu tür uygulamalarda Ti ve alaşımları daha çok tercih edilirler. Titanyum yüksek sıcaklık uygulamalarında yüksek ergime sıcaklığı ve yüksek servis sıcaklıklarında kullanılabilmesi yönüyle avantaj sağlamaktadır. Nikel ve nikel esaslı süper alaşımlar da ağırlığın ikinci planda olduğu durumlarda yüksek sıcaklık uygulamaları için kullanılan alternatif matris malzemeleri arasındadır [64].

MMK'lerde kullanılan matris malzemelerinden bazılarının mekanik özellikleri Çizelge 2.7'da yer almaktadır.

MMK'lerde birçok matris-takviye kombinasyonu yapmak mümkündür. Farklı matris-takviye malzeme kombinasyonları Çizelge 2.8'da verilmiştir.

Çizelge 2.7. Bazı metal matrislere ait mekanik özellikler [56].

Matris Malzemesi	Elastisite Modülü (GPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kırılma Tokluğu (MPa.m ^{1/2})
Saf metaller				
Alüminyum	70	40	200	100
Bakır	120	60	400	-
Nikel	210	70	400	350
Ti-6Al-4V	110	900	1000	120
Alüminyum alaşımları (yüksek-düşük mukavemet)	70	100-380	250-480	23-40
Karbon çelikleri	210	250	420	140
Paslanmaz çelik (304)	195	240	365	200

Çizelge 2.8. MMK'lerde farklı matris-takviye birleşimleri [65]

MATRİS	TAKVİYE												
	Al ₂ O ₃	Bor	Grafit	Molibden	Niobyum	SiC	Si ₃ N ₄	Çelik	TiB ₂	TiC	Tungsten	İtriyum	Zirkonyum
Alüminyum	*	*	*			*	*			*		*	*
Bakır			*			*			*		*		
Demir								*					
Kurşun	*												
Magnezyum	*		*				*						
Nikel					*	*	*		*	*		*	*
Süperalaşımlar				*	*			*			*		
Titanyum			*			*			*	*			

2.7.1. Alüminyum ve Alaşımları

Alüminyum alaşımı içerdiği alaşım elementlerine ve saflık derecesine göre sınıflandırılır. Saf alüminyuma ait özellikler Çizelge 2.9'da, alüminyum serileri ve alaşımlarına ait sınıflandırma Çizelge 2.10 ve Şekil 2.12'de verilmiştir.

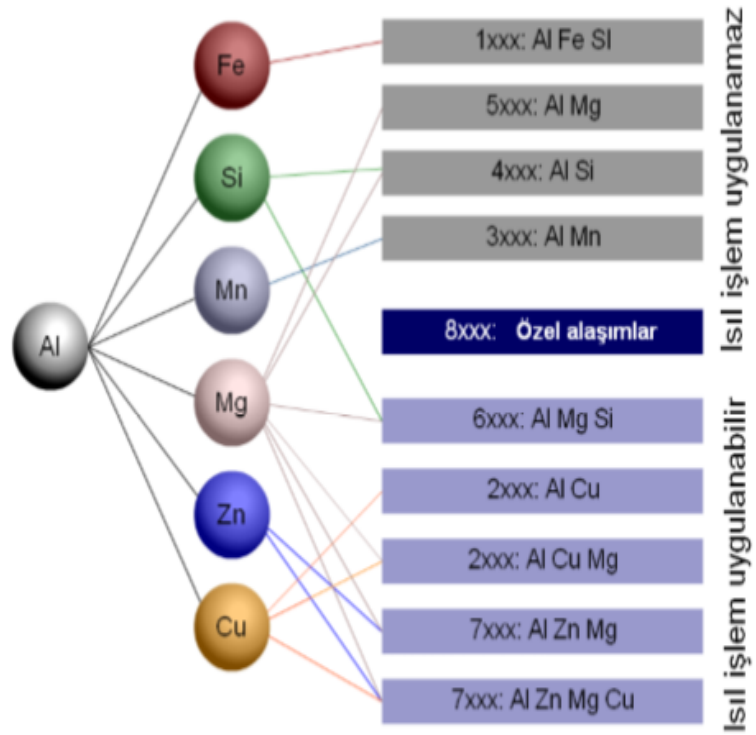
Alüminyum metali işleme kolaylığı, korozyona karşı gösterdiği direnç, takviye elemanı ile uyumluluğu ve yüksek mukavemete karşılık düşük yoğunluğu ile yaygın kullanılan matris malzemelerindendir. Alüminyum düşük ergime sıcaklığından dolayı özellikle 450°C' nin altındaki uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [1-6].

Çizelge 2.9. Saf alüminyuma ait bazı özellikler [66]

Özellik	Değer
Kristal Yapı	Yüzey merkezli kübik
Atomlararası minimum uzaklık	0,28577 nm
Kafes parametresi (α) 25 °C'de	0,40414 nm
Ergime noktası	660,2 °C
Kaynama noktası	2057 °C
Yoğunluk (25 °C'de)	2,699 g.cm ⁻³
Yoğunluk (660 °C'de)	2,55 g.cm ⁻³
Yoğunluk (660,2°C'de)	2,38 g.cm ⁻³
Katılma sırasında çekme	%6,7
Ergime ısısı	387 J.g ⁻¹
Buharlaştırma ısısı	8200-8370 J.g ⁻¹
1200 °C'de buhar basıncı	1 Pa
Ergime noktasındaki vizikositesi	0,13 N.s.m ⁻²

Çizelge 2.10. Alüminyum serileri ve alaşımları [67]

1000 Serisi	% 99 ' dan fazla Al içerir
2000 Serisi	Al – Cu alaşımları
3000 Serisi	Al – Mn alaşımları
4000 Serisi	Al –Si alaşımları
5000 Serisi	Al – Mg alaşımları
6000 Serisi	Al – Si – Mg alaşımları
7000 Serisi	Al – Mg – Zn alaşımları



Şekil 2.12. Alüminyum serilerine ait şematik gösterim [67]

2.7.2. 1XXX Serisi Alüminyumların Özellikleri

- %99 un üzerinde alüminyum içeren alaşımlar bu gruba aittir.
- Yüksek termik iletkenlikleri ve yüksek yansıtma faktörüne sahiptir.
- Saf Al, soğuk sertleştirilebilir. Korozyon performansı mükemmeldir.
- Elektrik ve ısı iletkenliği mükemmeldir.
- Zararlı bir etkisi bu malzemelerin sertliği arttıkça mukavemetinin düşmesidir.
- Saf Al kaynağa ve sert lehimlemeye uygundur [67].

2.8. Yüzey Kaplama İşlemleri

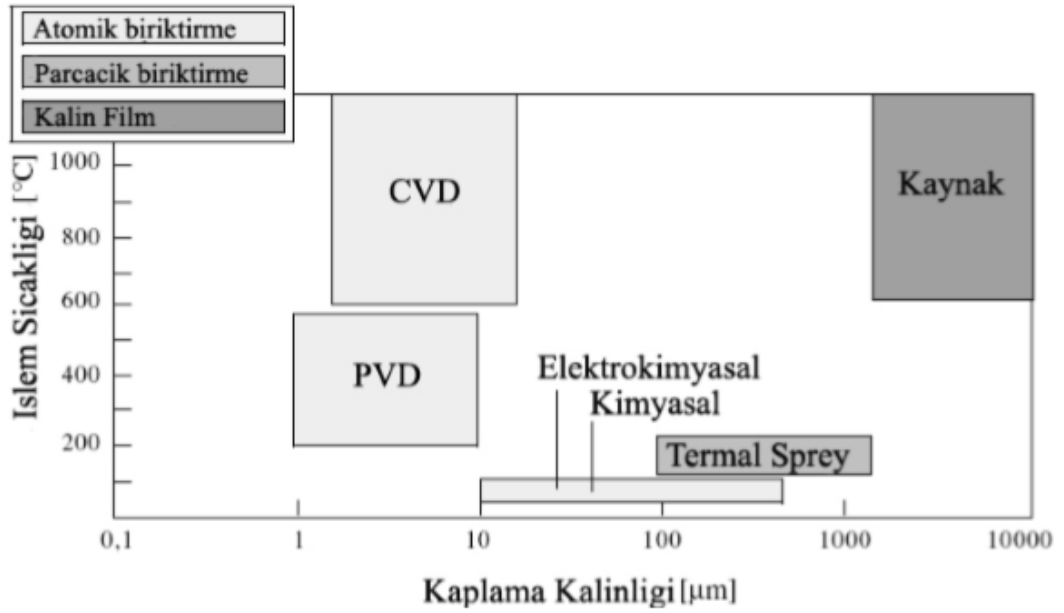
Gelişen teknolojiyle birlikte malzemelerde aranılan özellikler de çok çeşitli hale gelmiştir. Bu özelliklerin bazıları sadece kaplama işlemleri ile yapılabilmektedir veya bu yöntemle ekonomik olarak uygulanabilmektedir.

Kaplama yöntemleri, kaplama malzemesinin bulunduğu fiziksel hale göre; gaz halden, çözeltiden, sıvı veya yarı sıvı halden yapılan kaplamalar olmak üzere üç ana başlık altında incelenebilir. Bu başlıklar altında diğer spesifik özelliklerine göre kaplama çeşitleri Şekil 2.13' de gösterilmiştir [68].

Şekil 2.14'de aşınma direnci arttırmak amacıyla uygulanan kaplamalara ait kaplama kalınlık ve uygulama sıcaklığı aralığı verilmiştir.



Şekil 2.13. Kaplanacak malzemenin bulunduğu fiziksel hale göre kaplamaların sınıflandırılması [68].



Şekil 2.14. Değişik yüzey kaplama yöntemlerinin uygulama kalınlıkları [68].

2.8.1. Akımsız Nikel Kaplama

Akımsız Nikel (AN) kaplama; nikel iyonlarının otokatalitik veya kimyasal indirgeme yöntemi ile malzeme üzerine kaplanması tekniğidir [69].

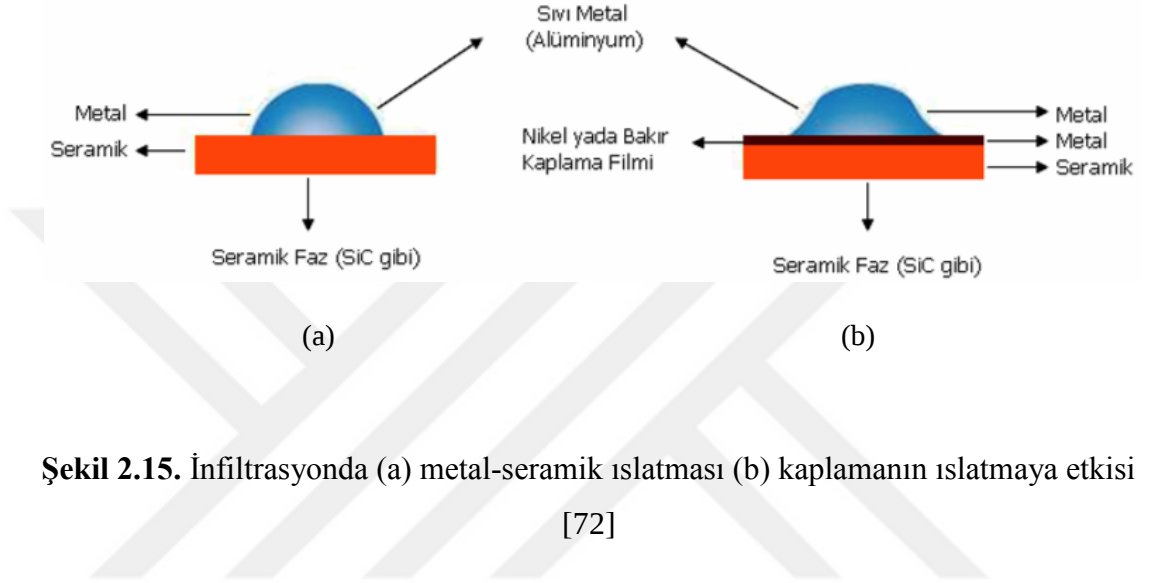
Kaplama, kimyasal reaksiyon sonucu elde edildiğinden AN kaplama yönteminde elektrik akımı kullanılmamaktadır. Kaplama, nikel iyonlarının hipofosfit, aminobor veya borhidrür bileşikleriyle otokatalitik indirgenmesiyle sağlanır [70].

AN kaplama tekniğindeki farklılık sadece elektrik akımının kullanılmaması değildir. Bu yöntemle elde edilen kaplamada nikel (ağırlıkça) %88 - %95 oranında olup beraberinde fosfor gibi metal olmayan elementleri de yüzeye bağlar. Nikel, iyonları ile birlikte sürüklenen fosfor gibi metal olmayan maddelerle birlikte kaplanırken “metal-cam” adı verilen amorf bir tabaka oluşturur. Mikroyapı incelendiğinde tüm metallerde mevcut olan tane ve tane sınırlarının olmadığı görülür. Kaplama dokusu kristal yada toz dokusunda olmadığından zamanla kristal yapıdaki boşlukların meydana getireceği galvanik hücrelerin oluşmasına imkan vermez. Diğer elektrolitik yöntemlerle yapılmış kaplamalar gibi kendini kurban eden bir kaplama olmayıp, malzemeyi ortamdaki tam olarak izole eden bariyer bir kaplamadır. Amorf dokusundan ve pasifliğinden dolayı saf nikel ve krom alaşımları ile karşılaştırıldığında süper korozyon direncine sahiptir [71].

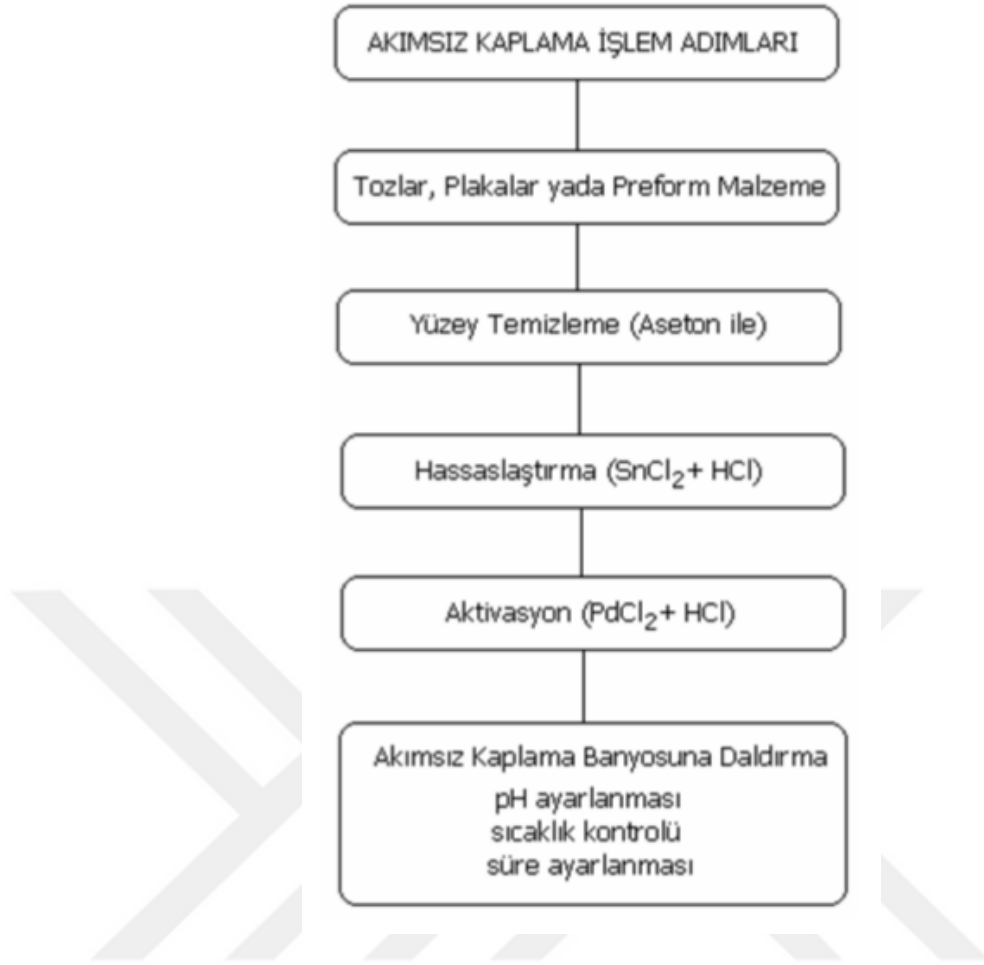
MMK malzemelerin infiltrasyon yöntemiyle üretilmesinde, takviye fazının ıslanabilirliğinin artırılması ve takviye fazı ile matris alaşımı arasındaki arayüzey reaksiyonlarının engellenmesi adına uygulanan en etkili yöntemlerden biri takviye fazının kaplanmasıdır. Takviye fazı ile matris alaşımı arasında güçlü bir bağ oluşması takviye fazının kaplanması ile sağlanabilir [72].

Kaplama malzemesi olarak kullanılan nikel ve bakır birçok alaşım tarafından ıslatılabilmektedir. Bunun dışında kaplama olarak kullanılan metaller arasında gümüş ve krom da yer alır. Nikel Al matrisli kompozitlerde en sık kullanılan metal kaplama olarak yer almaktadır [73-74-75].

İnfiltrasyon yöntemi ile MMK'ların üretilmesinde metal ve takviye fazının birbirini ıslatabilirliği önem arz etmektedir. Bu hususta ıslatmayı artırma adına seramik takviye fazı akımsız yöntem ile nikel veya bakır kaplanabilir. Şekil 2.15.a'da metal-seramik arasındaki ıslatmasının düşük olduğu, Şekil 2.15.b'de ise ara katmandaki kaplama filminin ıslatmayı arttırdığı görülmektedir.



Kaplama sırasında kaplama banyosunun karıştırılması, kaplama süresi, kaplama banyosu sıcaklığı ve süresi kaplamayı etkileyen parametreler arasında yer almaktadır. Şekil 2.16'da akımsız kaplama yöntemine ait işlem basamakları şematik halde verilmiştir.

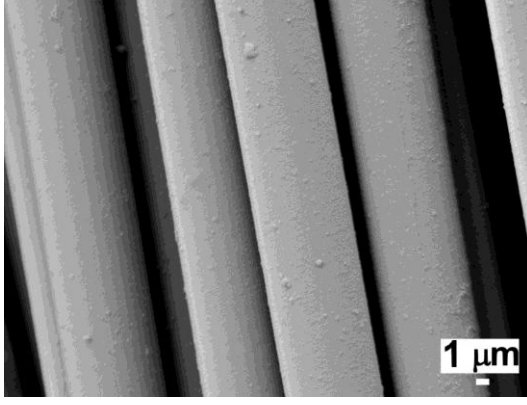


Şekil 2.16. Akımsız kaplama yönteminin işlem basamakları [76]

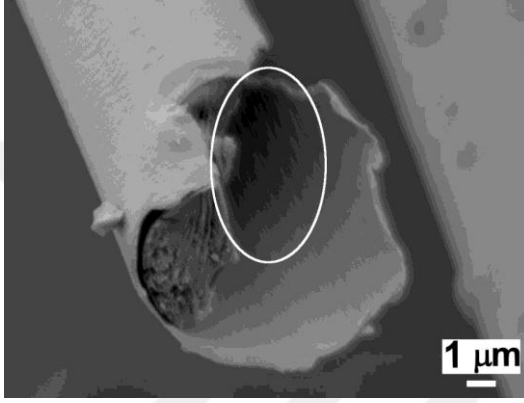
Akımsız nikel kaplama yönteminde etkili olan parametreler şunlardır;

- Sıcaklığın etkisi
- Banyo pH değerinin etkisi
- Banyo kompozisyonunun etkisi
- Banyo yükünün etkisi
- Banyo ömrünün etkisi

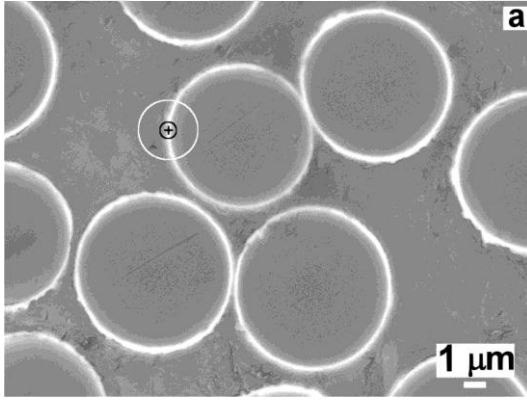
Örnek bir çalışmada nikel kaplanmış karbon elyaflara ait kesit görüşü Şekil 2.17'de gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil.2.17. (a) Ni kaplanmış karbon fiber,
(b) C elyaf yüzey morfolojisini bastıran Ni kaplama,
(c) Ni kaplı karbon fiberlerin kesit görünüşü [77]

Akımsız olarak elde edilen kaplamalar saf nikel olmayıp, daha çok nikel fosfor veya nikel bor alaşımlarıdır. Nikel kaplamalar nikel tuzlar içeren bir çözeltiye daldırılmış ve yüzeyi iletken veya katalitik bir malzeme üzerinde redükleyicinin etkisi ile nikel iyonlarının nikel metaline dönüşmesi sonucu elde edilir. Bu sırada açığa çıkan fosfor veya bor ile birleşen nikel intermetalik bir alaşım oluşturur [72].

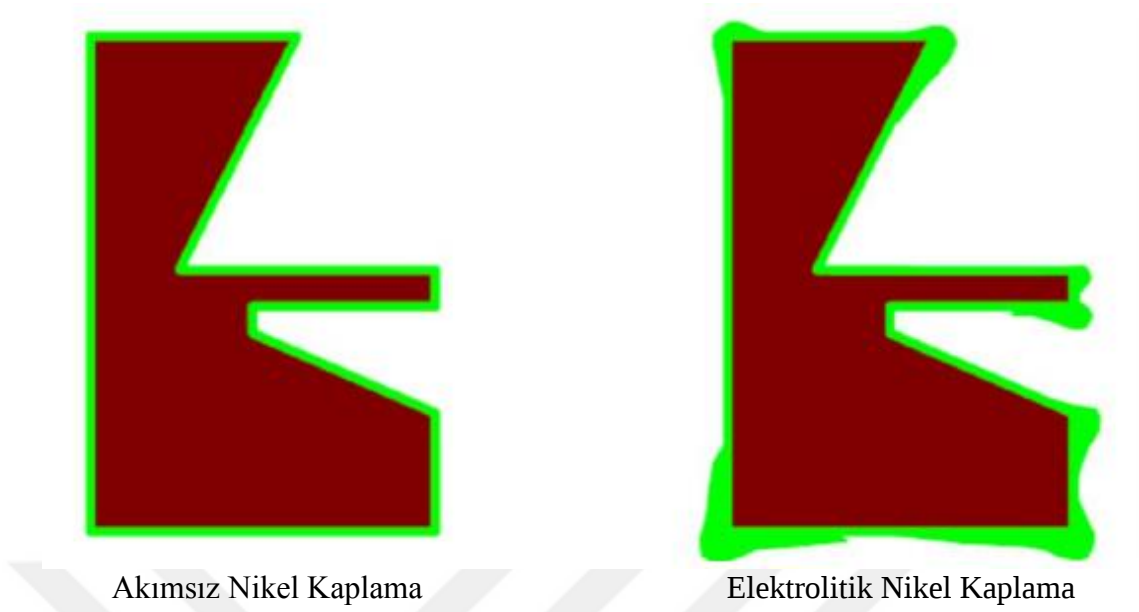
2.8.1.1. Akımsız Nikel Kaplama Yönteminin Avantajları

AN kaplamanın sahip olduğu özelliklerin nedeni, diğer kaplama yöntemleriyle sağlanamayan birçok özelliği bir arada bulundurmasından kaynaklanmaktadır. Sağladığı bu avantajlar maddeler halinde sıralanacak olursa;

- Kaplama kalınlığının malzemenin her tarafında aynı olması,
- Çok iyi bir korozyon direnci,
- Aşınmaya karşı mukavemet,
- Yüksek kaplama sertliği,
- Kaydırıcılığının yüksek olması,
- Lehimlenebilme özellikleridir [78].

Kaplama kalınlığı; elektro kaplamalarda parçanın geometrisine, konfigürasyonuna ve anot'a olan mesafesine göre değişkenlik gösterir. Şekil 2.18'de akımsız nikel kaplamaların akımlı nikel kaplamalara göre üniform bir kaplama sağladıkları görülmektedir.

Akımsız nikel kaplama ile parçanın bünyesinde şekil itibariyle bulunan tepe ve çukur bölgeler, kör delikler ince uzun tüp-tünel boşluklarında bütün dar ve zor bölgelerde de tıpkı parçanın dış yüzeylerinde olduğu gibi aynı kalınlıkta kaplama yapmak mümkündür.



Şekil 2.18. Akımsız nikel kaplamada akımlı nikel kaplamaya göre üniform kaplama kalınlığı [79].

2.8.1.2. Akımsız Nikel Kaplama Yönteminin Sınırlılıkları

AN kaplama sahip olduğu çeşitli avantajların yanı sıra çeşitli sınırlılıklara da sahiptir. Bu sınırlılıklar;

- Yüksek kimyasal maliyet,
- Kırılganlık (Sertliği yüksek kaplamalarda),
- Nikel-fosfor kaplamaların düşük kaynak kabiliyeti,
- Önemli miktarda kurşun, kalay, kadmiyum ve çinko ihtiva eden parçaların AN kaplamadan önce bakır kaplanması gerekliliği,
- Elektrolitik metotlarla karşılaştırıldığında düşük kaplama oranı [80].

2.8.1.3. Akımsız Nikel Kaplamanın Uygulama Alanları

Akımsız nikel kaplama yöntemi mükemmel korozyon ve aşınma direnci sağlar. Bunun yanı sıra parçanın şekline bağlı olmaksızın her yerde homojen kaplama kalınlığı sağlayan kaplama yöntemidir. Bu özellikleri nedeniyle akımsız nikel kaplamalar, petrol, kimya, plastik, optik, madencilik, uçak ve uzay, nükleer, otomotiv, elektronik, tekstil, mutfak ve gıda endüstrisi gibi birçok sanayi kolunda uygulanmaktadır [75-81].

AN kaplamalar beş farklı kazanım elde etmek amacı ile kullanılır. Bunlar;

- Korozyona karşı direnç kazandırmak
- Aşınmaya karşı direnç kazandırmak
- Kaydırıcılığının yüksek olması
- Lehimlenebilir olması
- Aşınmış parçanın ölçü toleranslarını değiştirmeden ve sonrasında taşlama gibi mekanik işlemlere gerek kalmadan kurtarılması [82].

2.8.1.4. Akımsız Nikel Kaplamaların Sınıflandırılması

AN kaplamalarda çeşitli sınıflandırmalarla karşılaşmak mümkündür. En yaygın kullanılan Ni-P esaslı AN kaplamalar fosfor içeriğine bağlı olarak düşük (~ % 2-7 P), orta (~8-12 P) ve yüksek (~ %13-18 P) fosforlu olmak üzere üçe ayrılmaktadır [83]. Bu sınıflandırmanın dışında ayrıca üç faktör öne çıkmaktadır. Bunlar;

- a) Kaplama banyosunun pH değerine bağlı sınıflandırma: asidik ve alkali,
- b) Kaplama bileşimine bağlı sınıflandırma: nikel-fosfor, nikel-bor ve diğer çoklu alaşım kaplamalar,
- c) Kullanılan indirgeyici kimyasala göre sınıflandırma: hipofosfit, borhidrür, DEMB, ve DMAB

2.8.1.4.1. Ni-P Kaplamalar

Akımsız kaplama uygulamalarında en yoğun olarak kullanılan kaplama tekniğidir. Kaplama yapısında değişiklik gösteren fosfor miktarına göre kaplama özellikleri de farklılık gösterir. Nikel fosfor kaplamalar kendi içlerinde düşük (%1-4), orta (%4-10) ve yüksek (%11-13) fosforlu kaplamalar olarak sınıflandırılabilirler. Akımsız Ni-P kaplama yöntemi yüksek aşınma ve korozyon direnci, iyi yağlanabilirlik, yüksek sertlik ve kabul edilebilir süneklik gibi mükemmel kaplama özelliklere sahip olduğu için birçok alanda kullanılır [84-85].

Bu tür kaplamalar birçok galvanik nikel kaplamadan çok daha serttir, ayrıca daha büyük çekme dayanımı gösterirler. Bu kaplamaların uzamaları ise çok düşüktür [86].

3.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada üretime hazırlık aşamasında takviye MgO tozları Karabük Üniversitesi TOBB Teknik Bilimler Yüksekokulu laboratuvarlarında akımsız nikel kaplama metotlarından Ni-P yöntemi ile kaplanmıştır. Tez çalışmasında kullanılan numuneler, Kırıkkale Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Döküm Laboratuvarı'nda üretilmiş numunelerin porozite ölçümleri, Metalografi Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Numuneleri kesme işlemi ve metalografik çalışmalar, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Metalografi Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Numunelerin Elektron Mikroskobu fotoğrafları, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Merkez Laboratuvarı bünyesinde Elektron Mikroskopi Laboratuvarı (EML)'nda alınmıştır. Numunelerin sertlik testleri, Gazi Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Mekanik Testler Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Numunelerin XRD analizleri Gazi Üniversitesi Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yapılmıştır. Deneylerde kullanılmak üzere 17 farklı numune üretilmiş ve numuneler içeriğindeki takviye elemanın tane büyüklüğü ve takviye hacim oranına göre gruplandırılmıştır. Çizelge 3. 1'de gruplandırılan numuneler ve numunelere ait kodlar verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneysel çalışmalar için vakum infiltrasyon yöntemiyle üretilen numunelerin kodları ve içerik açıklamaları

Numune Kodu	Toz T-H oranı			
	Kaplanmış	Kaplanmamış	Takviye Tane Boyutu (µm)	Takviye Hacim Oranı (%)
AA1070		+	211.737	42
KYTBO1		+	105	52
KYTBO2		+	150	54
KYTBO3		+	212	56
KYTBO4		+	300	57
NKTH01	+		105	10
NKTH02	+		105	20
NKTH03	+		105	30
NKTH04	+		105	40
KYTH01		+	105	10
KYTH02		+	105	20
KYTH03		+	105	30
KYTH04		+	105	40
NKTB01	+		105	52
NKTB02	+		150	54
NKTB03	+		212	56
NKTB04	+		300	57

3.1 Malzeme ve Yöntem

Metal matrisli seramik takviyeli kompozit malzeme üretiminde; matris malzemesi olarak AA 1070 alaşımı, takviye elemanları olarak MgO partikülleri seçilmiş ve vakum infiltrasyon yöntemi ile kompozit malzemeler üretilmiştir. Ayrıca üretilen kompozit ürünlerle karşılaştırma yapılması amacıyla aynı yöntemle monolitik AA 1070 alaşımı da üretilmiştir.

3.1.1 AA 1070 Matris Malzemesi

AA 1070 alaşımı, MgO takviyeli kompozit malzemelerin üretimi için matris malzemesi olarak kullanılmıştır. Çizelge 3. 2’de AA 1070 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi verilmiştir. Dilimlenmiş külçeler halinde pota içerisinde ergitilerek ve ayrıca toz halde takviye elemanı MgO tozlarıyla karıştırılarak preform oluşturmak suretiyle kullanılmıştır.

Çizelge 3.2. Alüminyum 1070 alaşımının kimyasal bileşimi

Malzeme	Elementler (% ağı.)					
AA 1070	Al	Fe	Si	Zn	Cu	Diğer Elementler
	%99,7	%0,13	%0,11	%0,01	%0,02	% 0,03

Deneyisel çalışmada kullanılan ve MgO tozlarıyla karıştırıldıktan sonra kalıpların içerisine yerleştirilen, AA 1070 tozunun, ortalama tane boyutu Malvern marka Mastersizer'da ölçülmüş, ortalama tane boyutu grafiği EK-1 'de verilmiştir.

3.1.2. Takviye Malzemesi

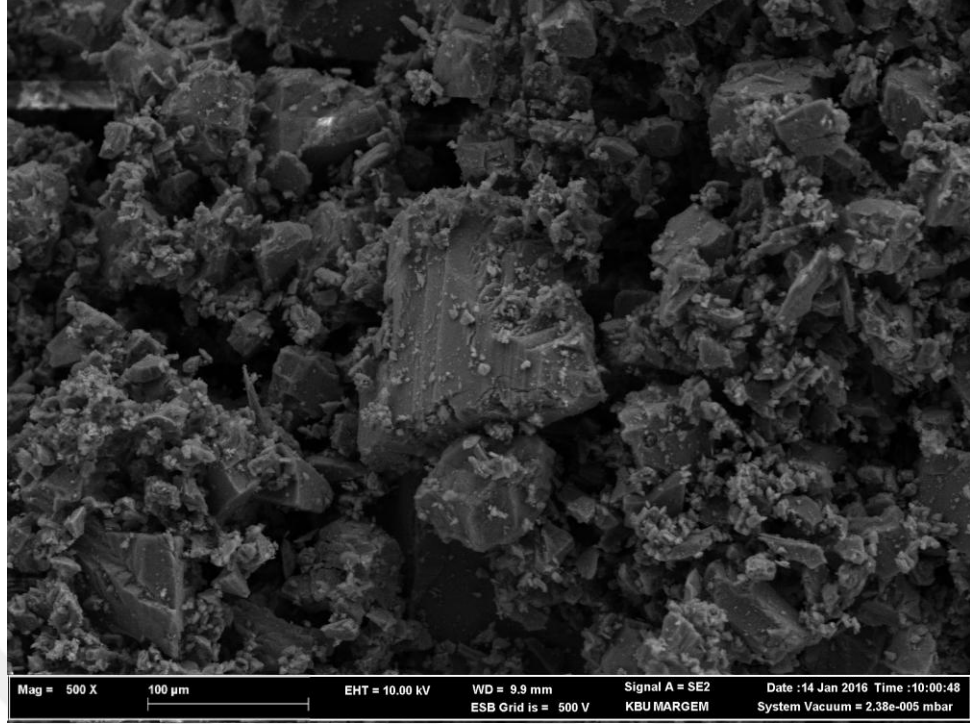
Takviye malzemesi olarak kullanılan MgO tozları KÜMAŞ Manyezit Sanayi A.Ş.'den temin edilmiştir. Kullanılan MgO partiküllerinin tane boyutları Kırıkkale Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Döküm Laboratuvarı'nda elek analizi yöntemi ile 4 farklı boyutta belirlenmiştir. MgO partikülleri kaplama durumlarına göre (kaplanmış veya kaplanmamış) 105, 150, 212, ve 300 µm tane boyutlarında ve % 10, 20, 30, 40 ve 52 takviye hacim oranlarında infiltre edilmiştir. Takviye partikülleri sabit sıcaklık (750 °C) ve sabit vakum basıncı (550 mm-Hg) altında 3 dakika süre ile infiltre edilmiştir. Farklı tane boyutu ve alaşımlardaki infiltrasyon davranışları incelenmiştir. Bu çalışmada belirlenen toz büyüklükleri, T-H oranları, sıcaklık, vakum ve süre değerleri seramik takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin vakum infiltrasyon yöntemiyle üretilmesinde kullanılmış optimum deney parametreleri değerlerindedir. Çalın [6] yapmış olduğu çalışmada MgO takviyeli Al matrisli kompozitlerin üretiminde optimum koşulları belirlemiş ve bu doğrultuda deney parametreleri belirlenmiştir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan MgO takviye malzemesinin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

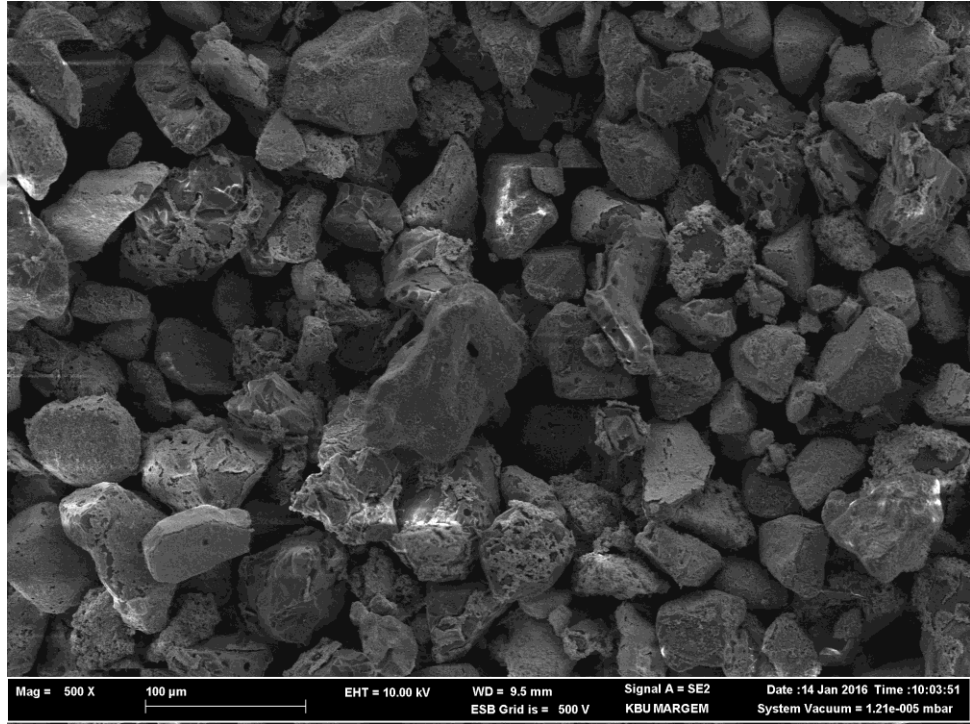
Çizelge 3.3. Kullanılan MgO'in kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri

MgO Kimyasal Bileşimi			
Magnezyumoksit	Demiroksit	Silisyumoksit	Kalsiyumoksit
%98	0,6	1	0,4
MgO Fiziksel Özellikleri			
Yoğunluk (g/cm ³)			3,58
Ergime Sıcaklığı (°C)			2800
Isıl İletkenlik [W/(m.K)]			32-60
Özel Isı Kapasitesi (J/kg.K)			900-1350

Akımsız nikel kaplama öncesi ve sonrası MgO tozlarından alınan x500 büyütmede SEM görüntüleri Şekil 3.1'de, x2500 büyütmede alınan SEM görüntüleri Şekil 3.2'de, nikel kaplanmamış tozlara ait EDS analizi Şekil 3.3'de, akımsız nikel kaplanmış tozlara ait EDS analizleri ise Şekil 3.4'de verilmiştir.

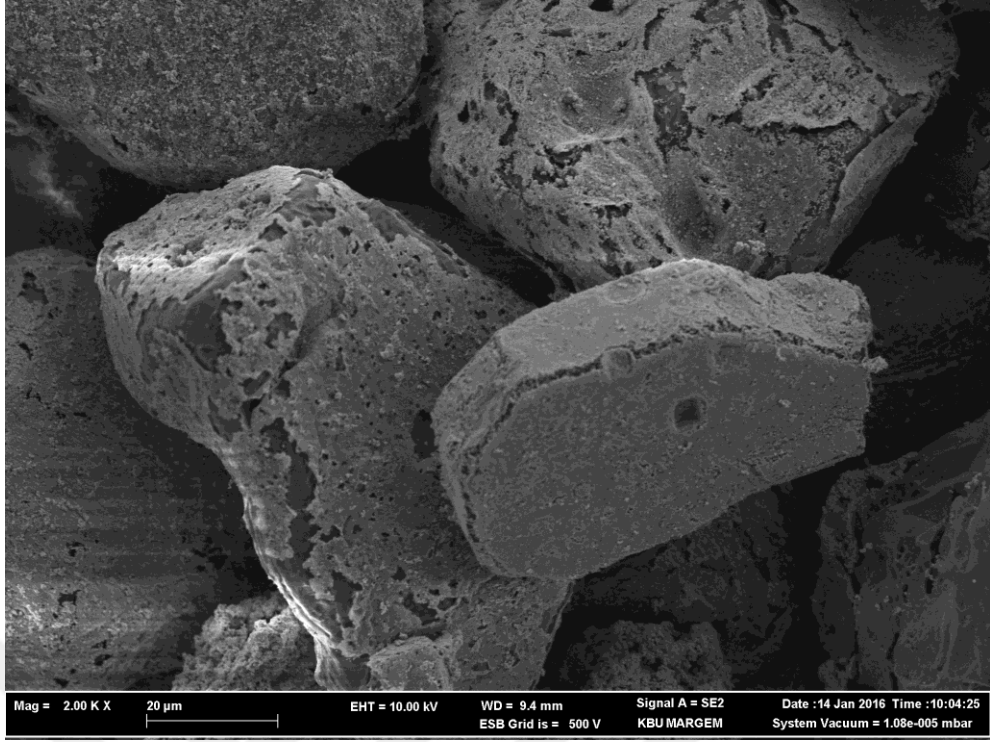


(a)



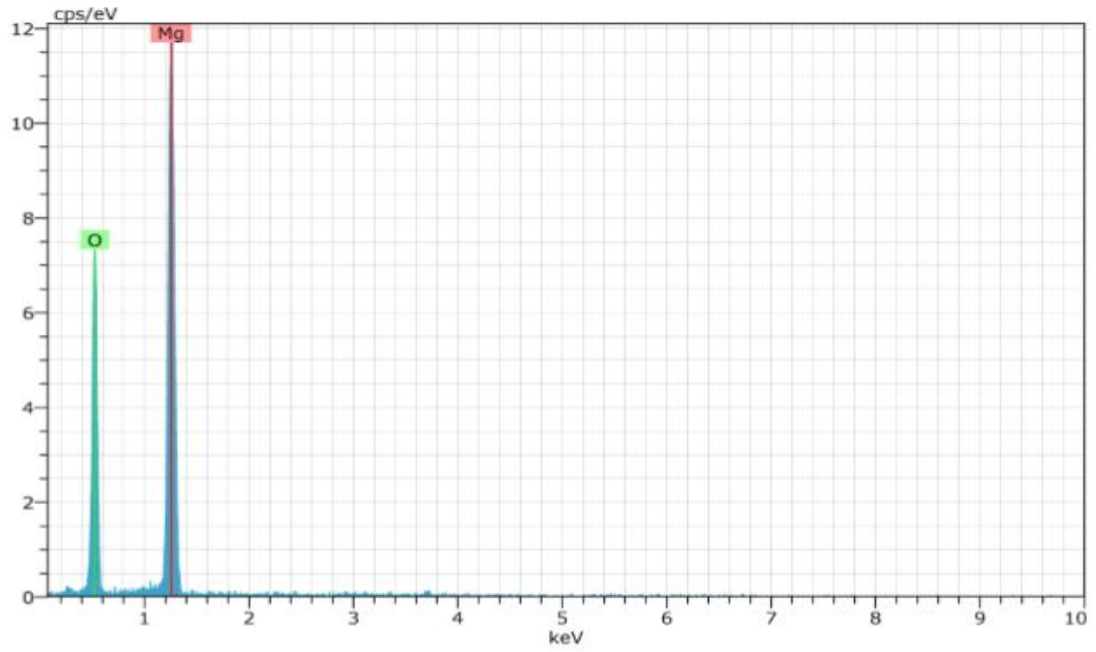
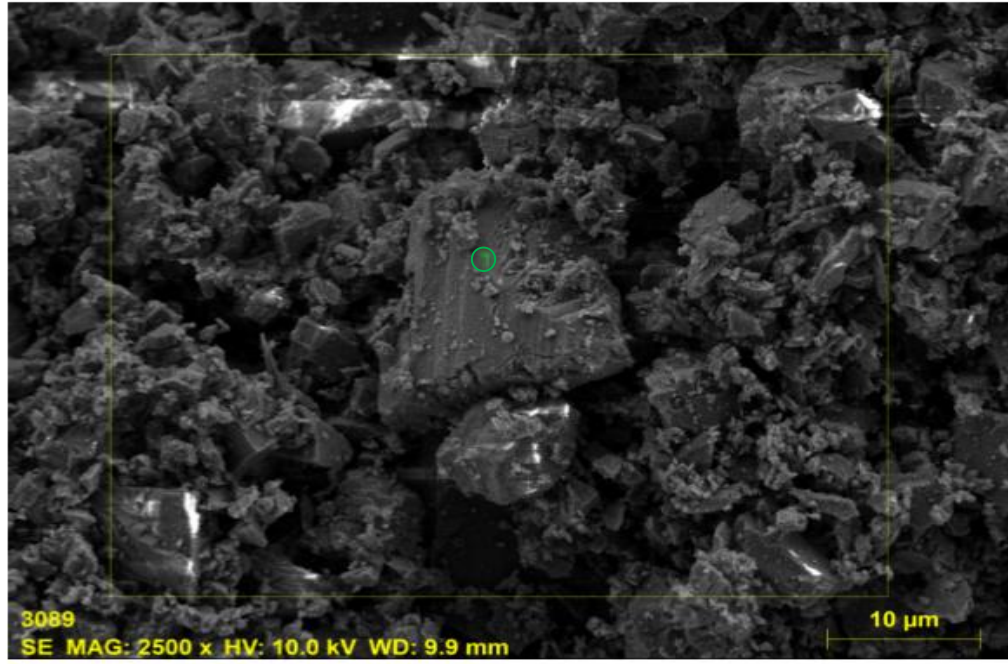
(b)

Şekil 3.1. 105 µm ve altı tane büyüklüğündeki MgO tozlarda (a) Kaplanmamış tozlardan x500 büyütmede alınan SEM görüntüsü, (b) Akımsız nikel kaplama sonrası tozlardan x500 büyütmede alınan SEM görüntüsü



Şekil 3.2. Akımsız nikel kaplama sonrası 105 µm tane büyüklüğündeki MgO tozlardan x2000 büyütmede alınan SEM görüntüsü

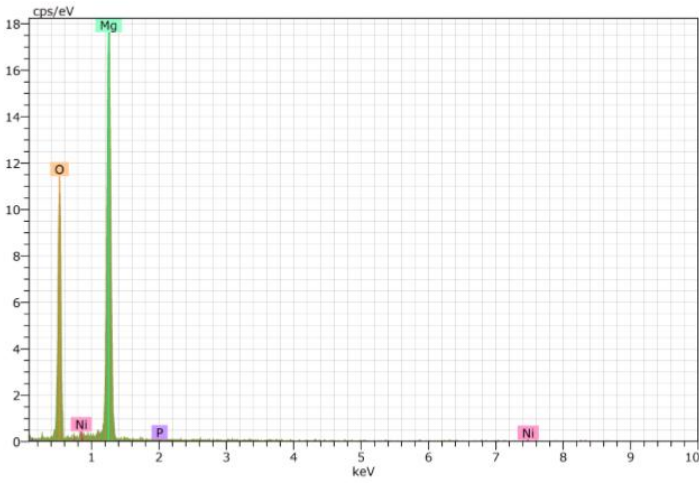
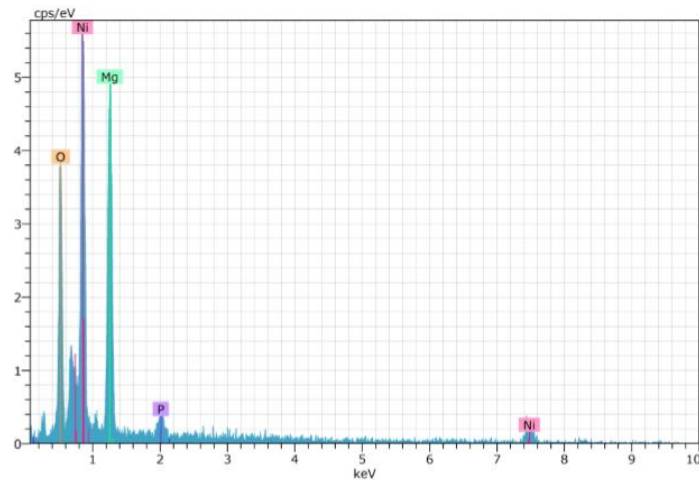
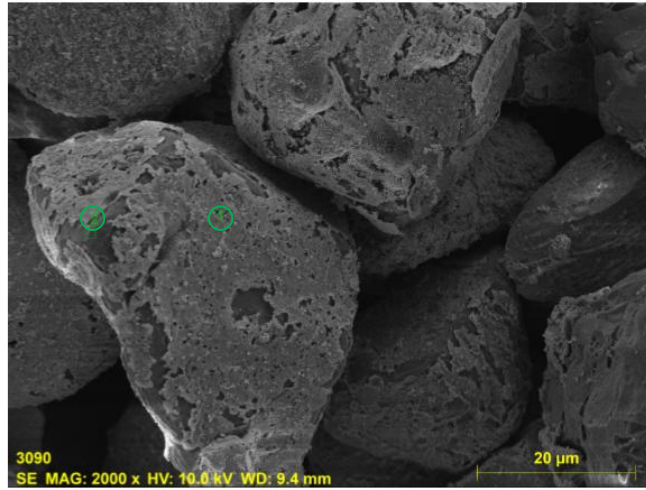
105 µm tane büyüklüğündeki MgO partiküllerden akımsız nikel kaplama işlemi sonrası x2000 büyütmede alınan SEM görüntüsünde MgO tozların yüzeylerindeki nikel kaplama net bir şekilde görülmektedir. Bu tozlardan alınan EDS analizinde de MgO takviyeler üzerine kaplanan nikelin varlığı gösterilmiştir.



Spectrum: 1

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	37.16	45.09	55.51	6.23
Mg	12	K-series	45.25	54.91	44.49	2.44
Total:			82.41	100.00	100.00	

Şekil 3.3. Nikel kaplanmamış tozlardan alınan EDS analizi



Mass percent (%)				
Spectrum	O	Mg	P	Ni
1	22.27	27.08	2.04	48.62
2	44.27	53.89	0.00	1.84
Mean value:	33.27	40.48	1.02	25.23
Sigma:	15.56	18.96	1.44	33.08
Sigma mean:	11.00	13.40	1.02	23.39

Şekil 3.4. Akımsız nikel kaplanmış tozlara ait EDS analizleri

3.3 Kompozit Malzemelerin Üretimi

3.3.1. Takviye Tozların Cam Tüp İçerisine Doldurulması

Yapılan çalışmada Şekil 3.1'de verilen, 8 mm iç çapında 1 mm et kalınlığına sahip ve 300 mm boyunda ısıya dayanıklı cam tüpler kullanıldı. Cam tüpün alt kısmına paslanmaz çelik bir filtre ve tozların dökülmeden tüp içerisinde kalmaları için çelik filtre üzerine alüminyum folyo konuldu.

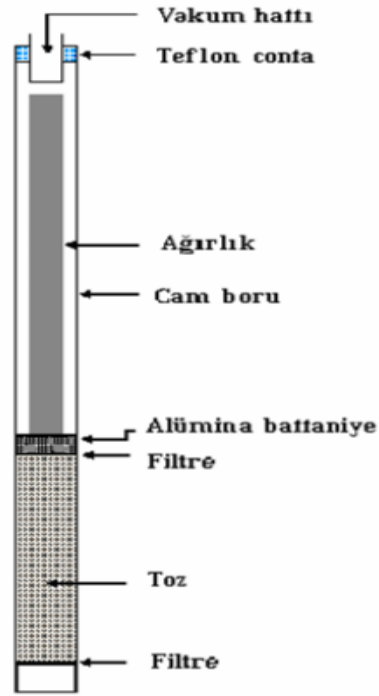
105, 150, 212 ve 300 μm tane boyutlarında MgO tozları cam tüp içerisinde 50 mm yükseklik oluşturacak şekilde hassas terazi kullanılarak tartıldı. Tartılan MgO tozları cam boru içerisine yerleştirildi. MgO tozlarının cam tüp içerisinde meydana getirdikleri hacim takviye-hacim (T-H) oranı olarak adlandırıldı. Bunun yanında T-H oranını azaltmak için MgO tozları içerisine Eş.2.4' deki karışım kuralına göre Al tozları ilave edilip belirlenen % 10, 20, 30, 40 ve 52 T-H oranlarında toz karışımları elde edildi.

Cam boruda bulunan MgO tozlarının üst kısmına iki kat çelik filtre yerleştirildi. Bu filtrelerin üzerine ağırlık oluşturmak için silika tozları konuldu. Bu şekilde MgO tozlarının vakum işlemi esnasında yukarıya hareket etmeleri engellendi. Silika tozlarının vakum esnasında vakum ünitesine zarar vermemesi için çelik filtre kullanılarak tozların cam boru içerisinde kalması ve bütünlüğün oluşturulması sağlandı. İnfiltrasyonda kullanılan cam kalıplar Şekil 3.3'te gösterilmiştir.

Vakum infiltrasyon işleminde infiltrasyona hazır cam kalıplar Şekil 3.5'te bu kalıplara ait şematik görünüş ise Şekil 3.6' te verilmiştir.



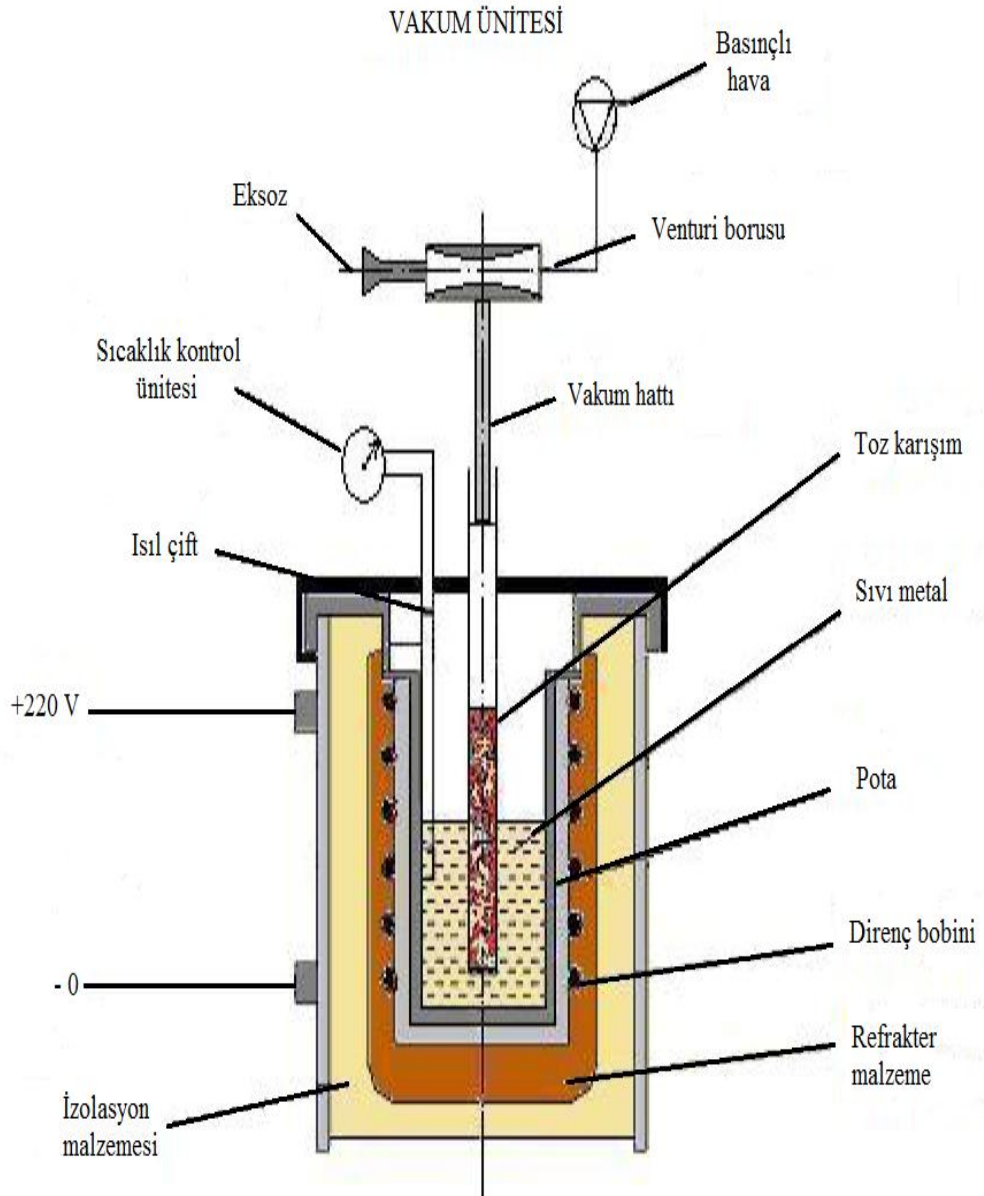
Şekil 3.5. İnfiltrasyonda kullanılan cam kalıplar



Şekil 3.6. İnfiltrasyonda kullanılan cam kalıba ait şematik görünüş

3.3.2. Vakum İnfiltasyon Düzenegi

Yapılan deneysel çalışmalarda MMK üretim yöntemlerinden vakum infiltrasyon yöntemi kullanılmıştır. Vakum infiltrasyon düzenegi vakum ünitesi, cam kalıp, ertitme ocağı ve ekipmanlarından oluşmaktadır. Vakum infiltrasyon düzenegi Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Vakum infiltrasyon düzenegi şematik görünüş



Şekil 3.8. Vakum infiltrasyon düzeneği

3.3.3. Matris Al Alaşımının Ergitilmesi

Çalışmada kullanılan, AA 1070 alaşıma sahip külçeler grafit potaya sığabilecek şekilde küçültülen bu külçeler pota içerisine konularak ergitme ocağına yerleştirilmiştir. Ergitme ocağının sıcaklığı 750 °C olarak ayarlanmış ve bu sıcaklıkta ocak sıcaklığı ± 5 °C 'de sabit tutularak matris AA 1070 alaşımının ergitilmesi ve sıcaklığını koruması sağlanmıştır.



Şekil 3.9. Ergitilmiş AA 1070 alaşımı

3.3.4. Vakumun Uygulanması

Ventury prensibi yardımı ile kompresörden vakum basıncı elde edilmiştir. Elde edilen vakum değeri sistem üzerindeki kontrol edilebilir akış-kontrol valfine bağlı manometre yardımı ile ölçülmüştür. İnfiltrasyon sırasında oluşan sıcak havadan vakum ünitesinin etkilenmemesi için vakum kaynağı ile cam tüp arasına 6 mm çapında bakır boru yerleştirilmiştir. Yerleştirilen bakır borunun cam tüp ile bağlantısına sızdırmazlığı sağlamak için teflon conta yerleştirilmiştir.

Vakum ünitesi yardımıyla infiltrasyon işleminde 550 mmHg (0.72368 atm) değerinde vakum uygulanmıştır.

3.3.5. İnfiltrasyon İşlemi

İnfiltrasyon işlemine geçilmeden önce sistemden istenilen vakum değeri elde edilmiştir. Cam kalıp istenilen vakum değeri elde edildikten sonra pota içerisinde bulunan sıvı metale daldırılmıştır. Cam kalıba 3 dakika süre ile 550 mmHg (0.72368 atm) değerinde vakum uygulanmıştır. Daha sonra pota içerisinden dışarı çıkarılmış ve vakum bağlantısı kesilerek silis kumunun içerisinde soğumaya bırakılmıştır.

3.4 Özelliklerin Karakterizasyonu

Üretilen kompozit malzemelerin porozite miktarlarının, sertlik değerlerinin ve aşınma davranışlarının belirlenmesinde kullanılan yöntemler bu kısımda verilmiştir.

3.4.1. Porozite Deneyi

Üretilen numunelerin yoğunluk değerleri Arşimet prensibi yardımıyla hesaplanmıştır. Numunelerin havadaki ve sudaki ağırlıkları ölçülerek Eş.3.1 yardımıyla deneysel yoğunlukları hesaplanmıştır. Ölçüm yapılan terazi Sartorius marka ve 0,1 mg hassasiyetindedir. Ölçümler teraziye yerleştirilen yoğunluk ölçüm kiti ile birlikte yapılmıştır.

Numunelerin teorik yoğunlukları ise Eş.3.2'de verilen karışım kuralı yardımıyla hesaplanmıştır. Daha sonra ρ_{deneysel} ve ρ_{teorik} değerleri kullanılarak Eş.3.3 yardımıyla porozite değerleri elde edilmiştir.

$$\rho_{\text{deneysel}} = \frac{G_{\text{havada}}}{G_{\text{havada}} - G_{\text{suda}}} \times \rho_{\text{su}} \quad (3.1)$$

$$\rho_{\text{teorik}} = \rho_m \times \varphi_m + \rho_t \times \varphi_t \quad (3.2)$$

$$\text{Porozite (\%Gözenek)} = \frac{\rho_t}{\rho_t - \rho_d} \times 100 \quad (3.3)$$

Burada;

ρ_{su} = Suyun yoğunluğu

ρ_t = Takviye malzemenin yoğunluğu

ρ_m = Matris malzemenin yoğunluğu

φ_m = Matris malzemenin oranı

φ_t = Takviye malzemenin oranı

G = Ağırlık

3.4.2. Sertlik Deneyi

Üretilen numunelere ait makro sertlik ölçümleri, EMCOTEST Duravision marka universal sertlik cihazı ile 2,5 mm bilya çaplı küresel tungsten uç kullanılarak malzeme yüzeyine 10 saniye boyunca 31,25 kgf (306,5 N) yükün uygulanması ile elde edilmiştir. Makro sertlik ölçümlerinde Brinell sertlik ölçüm yöntemi kullanılmıştır.

3.5. Mikroyapı ve Kimyasal Bileşimlerin Karakterizasyonu

Üretilen kompozit malzemelerin mikro yapı karakterizasyonları ve kimyasal bileşimleri optik mikroskobu, SEM, EDS ve XRD yöntemleri kullanılarak elde edilmiştir.

3.5.1 Mikroyapı Analizi

Üretilen kompozit malzemelerin mikroyapı incelemeleri Leica Q550MW model optik mikroskopu yardımı ile yapılmıştır. Çalışmada üretilen kompozit malzemelerden alınan numuneler ATM Opal 460 model bakalite alma cihazında sıcak bakalite alma yöntemiyle kalıplanmıştır. Bakalite alınarak kalıplanan

numunelerin zımparalama ve parlatma işlemleri ATM Saphir 520 model otomatik zımparalama ve parlatma cihazı ile yapılmıştır. Zımparalama işleminde sırasıyla 220, 400, 600, 800, 1000, 1200 mesh zımparalar kullanılmıştır. Daha sonra ayrı ayrı parlatma keçeleri ile 6, 3 ve 1 µm boyutlarında alümina aşındırıcı içeren süspansiyonlar yardımıyla parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Numunelerin dağlama işleminde Keller reaktifi kullanılmıştır. Daha sonra metal mikroskobunda optik görüntüleri elde edilmiştir.

3.5.2. Taramalı Elektron Mikroskobu ve EDS Analizi

Bakalite alınarak kalıplanan numunelerin SEM görüntüleri QUANTA 400F model yüksek çözünürlüklü taramalı elektron mikroskobu kullanılarak alınmıştır. Numunelerin EDS analizleri JEOL JEM 2100F model yüksek çözünürlüklü transmisyon elektron mikroskobu kullanılarak elde edilmiştir.

3.5.3. X-Ray Difraksiyon Analizi

XRD analizleri, %40 T-H oranında kaplanmamış tozlardan üretilen kompozit malzeme ve aynı T-H oranında akımsız nikel kaplanmış tozlardan üretilen kompozit malzemeden elde edilmiştir. Numuneler zımparalama ve parlatma işlemlerine tabi tutulmuş yüzeyleri alkol ile temizlenmiş ve kurutulmuştur. X-Ray Difraksiyon analizleri, Gazi Üniversitesi Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan yüksek çözünürlüklü BRUKER D8 DISCOVER markalı cihazda, Cu(K α) kaynağı ışınması ile gerçekleştirilmiştir.

Takviye MgO tozlarının akımsız nikel kaplanmasıyla, üretilen kompozitlerde meydana gelen yapısal farklılık ve oluşturduğu fazların yorumlanması amacı ile XRD analizine ihtiyaç duyulmuştur.

4.DENEYSEL BULGULAR VE İRDELEME

4.1. Takviye Partikül Boyutu T-H Oranı Değişimi

Deneylerde kullanılan takviye MgO partiküllerinin oluşturdukları T-H oranı ölçülmüştür. MgO takviye partiküllere ait T-H oranları çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kompozitlerin üretiminde kullanılan MgO partiküllerin oluşturdukları T-H oranları

Takviye Partikül Büyüklüğü (μm)	105	150	212	300
Takviye Hacim Oranı (%)	52	54	56	57

Partikül boyutu küçük olan MgO daha düşük T-H oranında olduğu, partikül boyutu büyük olan MgO'larda bu oranın daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Artan partikül büyüklüğüne bağlı olarak T-H oranının arttığı görülmüştür. Bu durum küçük partikül büyüklüğüne sahip takviyelerdeki yüzey alanlarının fazla oluşundan ve daha az hacim oluşturmalarından kaynaklanmaktadır. Benzer durum Çalın vd.'nin yaptıkları çalışmada görülmektedir [87].

4.2. Üretilen Kompozit Malzemelerin İnfiltrasyon Mesafeleri

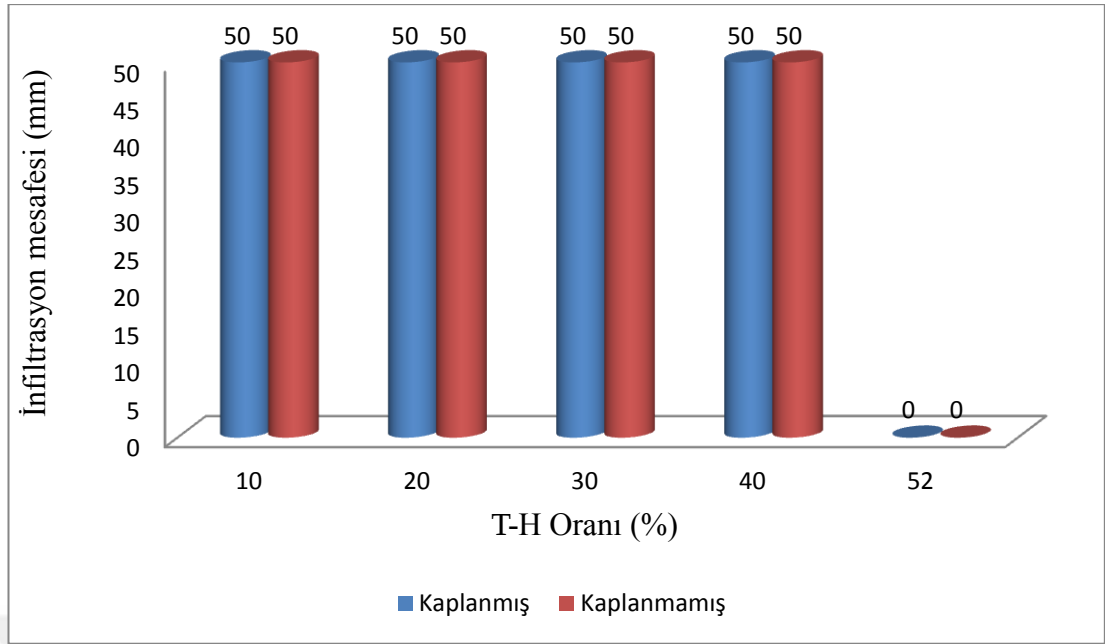
4.2.1. T-H oranının infiltrasyon mesafesine etkisi

750 °C infiltrasyon sıcaklığında, 550 mmHg vakum basıncı altında ve 3 dakika vakum süresinde gerçekleştirilen infiltrasyon işleminde T-H oranının infiltrasyon mesafesine etkisi Çizelge 4.2'de ve Şekil 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. T-H oranı infiltrasyon mesafesi ilişkisi

Takviye Hacim Oranı (%)	Takviye Partikül Büyükluğu (μm)	İnfiltrasyon Mesafesi (mm)	
		Kaplanmış Partiküllerde	Kaplanmamış Partiküllerde
10	105	50	50
20	105	50	50
30	105	50	50
40	105	50	50
52	105	*	*

Çizelge 4.2.'de görüldüğü üzere kaplanmış ve kaplanmamış tozlarda 105 μm partikül büyüklüğünde, %10, 20, 30 ve 40 takviye hacim oranlarında, 750 °C infiltrasyon sıcaklığında yapılan deneylerde 50 mm infiltrasyon mesafesi elde edilmiştir. 105 μm partikül büyüklüğündeki tozların takviye hacim oranının %52'e çıkarıldığı Ni kaplanmış ve kaplanmamış tozlarla yapılan deneylerde kompozitler üretilmemiştir. Benzer sonuçlar Çalın vd. tarafından da ifade edilmiştir [88].

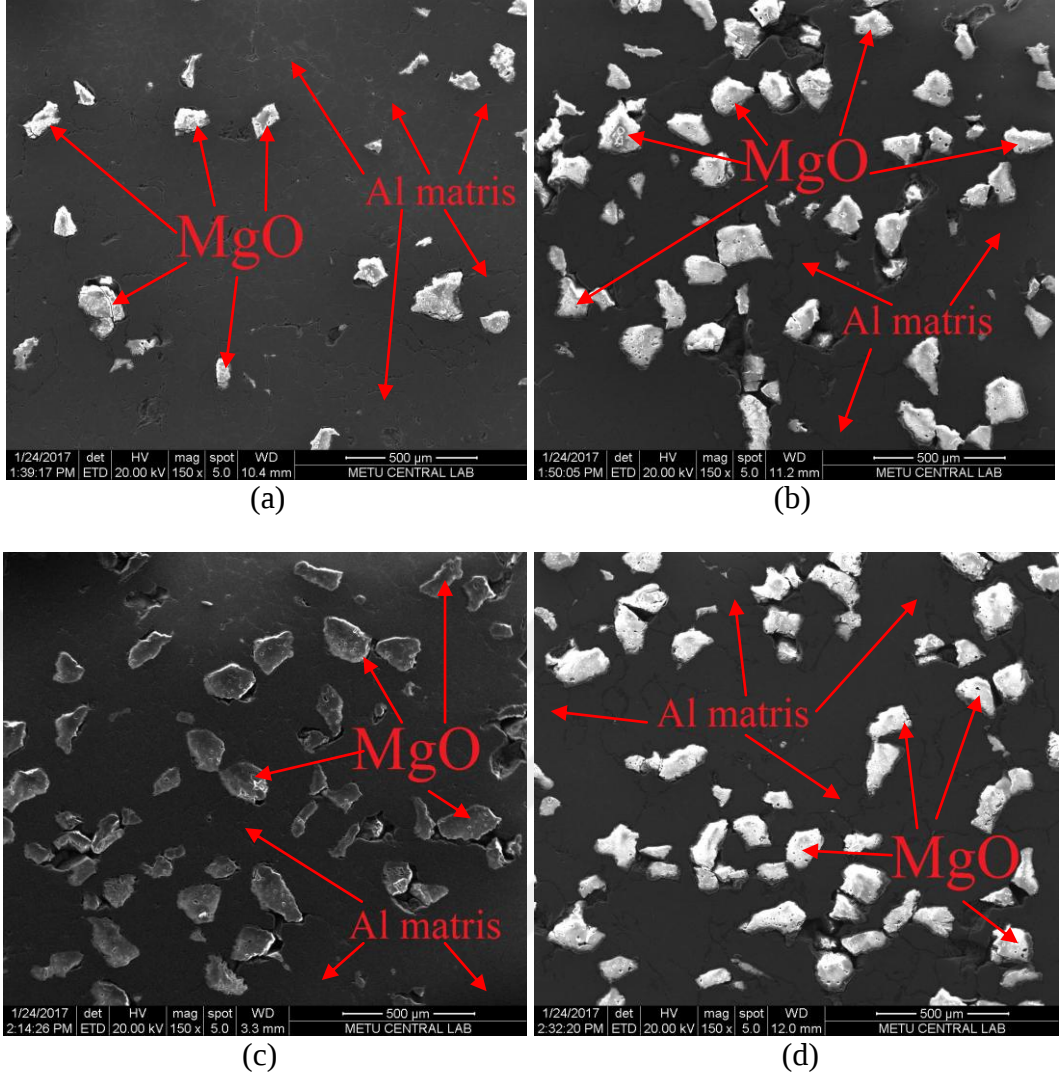


Şekil 4.1. T-H oranına bağlı infiltrasyon mesafesi değişimi.

Çalın vd.'nin yaptıkları çalışmada farklı olarak artan takviye hacim oranı ile infiltrasyon mesafesinin azaldığını belirtmişlerdir [89].

Her ne kadar %40 T-H oranına kadar infiltrasyon mesafesi değişmese de hiç alüminyum tozları bulunmadan %52 MgO takviyeli kompozit malzemeler üretilmemiştir. Ancak; üretilen kompozitlerin mikro yapı ve gözeneklilik oranları incelendiğinde T-H oranının artmasıyla gözenekliliğin arttığı görülmektedir. Bu durum artan T-H oranıyla infiltrasyon davranışının zorlaştığını göstermektedir. Benzer sonuçlar Çalın [6], Durman[90], Kurnaz [91] tarafından da ifade edilmiştir.

Artan takviye hacim oranına bağlı yapılan infiltrasyon işlemlerinde elde edilen kompozit malzemelere ait mikro yapılar Şekil 4.2.'de verilmiştir. Artan takviye hacim oranı ile birlikte iç yapıdaki takviye miktarının da arttığı görülmektedir. Ayrıca takviye elemanının yapı içerisine homojen olarak dağıldığı görülmektedir.



Şekil 4.2. 105 µm tane boyutunda (a) %10 T-H, (b) %20 T-H, (c) %30 T-H, (d) %40 T-H oranlarında kaplanmamış tozlarla üretilen kompozit malzemelerin SEM görüntüleri

4.2.2. Takviye partikül büyüklüğünün infiltrasyon mesafesine etkisi

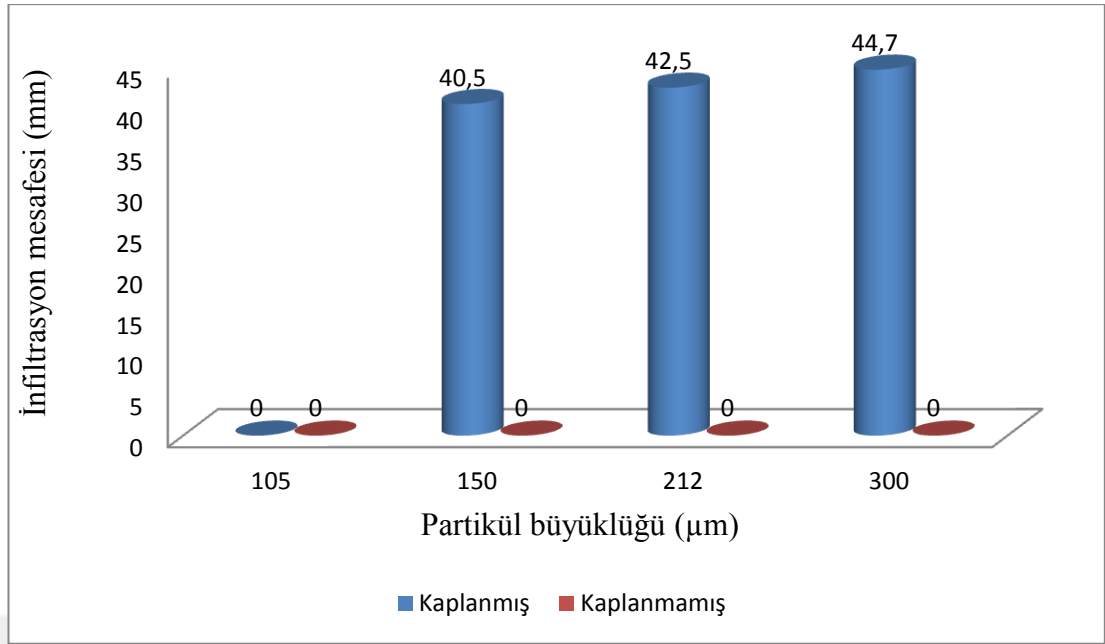
750 °C infiltrasyon sıcaklığında, 550 mmHg vakum basıncı altında ve 3 dakika vakum süresinde gerçekleştirilen infiltrasyon işleminde takviye partikül büyüklüğünün infiltrasyon mesafesine etkisi Çizelge 4.3'de ve Şekil 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Takviye partikül büyüklüğü infiltrasyon mesafesi ilişkisi

Takviye Partikül Büyüklüğü (µm)	Takviye Hacim Oranı (%)	İnfiltrasyon Mesafesi (mm)	
		Kaplanmış Partiküllerde	Kaplanmamış Partiküllerde
105	52	*	*
150	54	40,5	*
212	56	42,5	*
300	57	44,7	*

Çizelge 4.3'de görüldüğü üzere AA 1070 sıvı matrisle, kaplanmış ve kaplanmamış partiküllerin infiltrasyonu sonucu 105, 150, 212 ve 300 µm kaplanmamış tozlarda infiltrasyon gerçekleşmemiştir. Kaplanmış partiküllerde ise 150 µm tozlarda 40,5 mm, 212 µm tozlarda 42,5 ve 300 µm tozlarda 44,7 mm infiltrasyon mesafesi elde edilmiştir. Ancak 105 µm kaplanmış tozlarda infiltrasyon sağlanamamıştır.

Şekli 4.3.'de partikül büyüklüğüne bağlı infiltrasyon mesafesi değişimi görülmektedir. Kaplanmamış tozlarla yapılan infiltrasyon işleminde infiltrasyon elde edilemezken, kaplanmış tozlarda artan MgO tane büyüklüğü ile infiltrasyon mesafesinin arttığı görülmektedir.



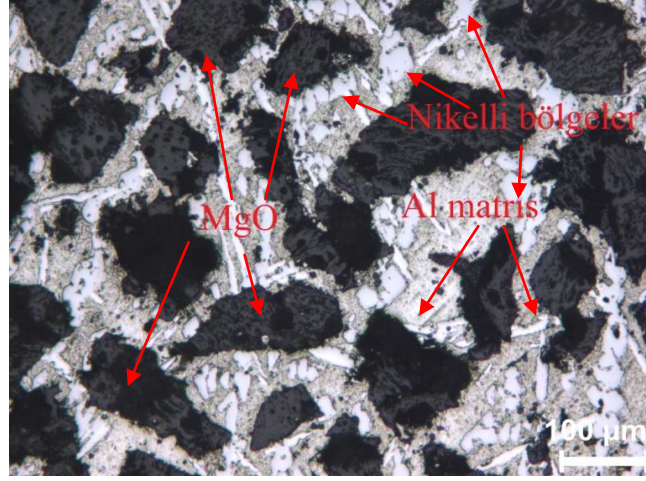
Şekil 4.3. Takviye partikül büyüklüğü infiltrasyon mesafesi ilişkisi

Kaplanmış partiküllerle infiltrasyon sonucu elde edilen kompozit malzemelerde, Ni kaplama yüzey gerilimlerini düşürerek infiltrasyon mesafesini artırmıştır. Bu durum Thakur vd.'nin yaptıkları çalışmada takviyelerin Ni ve Cu kaplanmasının iyi matris-takviye arayüzeyi özellikleri oluşturarak ve ıslatılabilirliği artırarak infiltrasyon davranışını geliştirdiği görülmektedir [39].

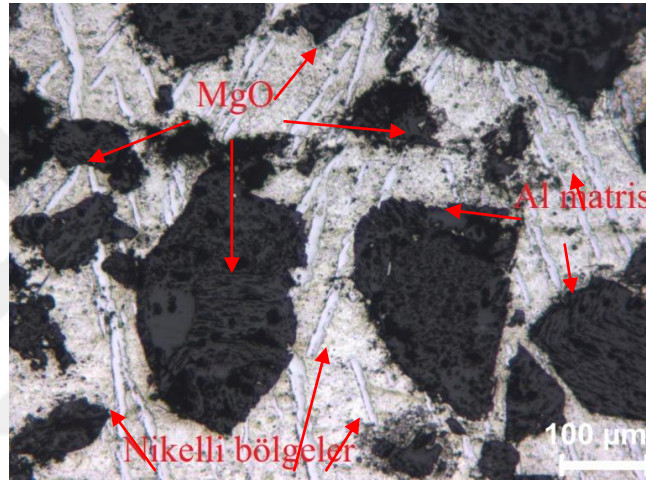
Partikül büyüklüğünün artmasıyla partiküller arasındaki gözeneklerinde büyüdüğü ve bu gözeneklere sıvı matrisin daha kolay infiltre olması, artan partikül boyutunda infiltrasyon mesafesini artırmıştır.

Küçük tane boyutlarında daha yüksek eşik basınca ihtiyaç olduğu Candan vd. tarafından da açıklanmıştır [92].

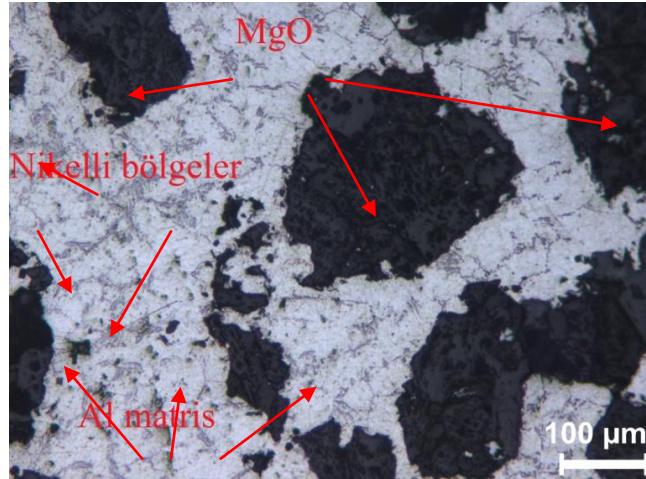
Partikül büyüklüğüne bağlı yapılan infiltrasyon işlemlerinde kaplanmış tozların infiltre edilmesinden elde edilen kompozit malzemelere ait mikro yapılar Şekil 4.4'de verilmiştir. Şekil 4.4'de verilen resimlerde görüldüğü üzere artan partikül boyutuna bağlı olarak taneler arası uzaklık artmıştır. Taneler arası uzaklığın artması ile sıvı metal taneler arasına daha iyi infiltre olmuştur ve infiltrasyon davranışı artış göstermiştir. Benzer sonuçlar Çalın tarafından da elde edilmiştir [6].



(a)



(b)



Şekil 4.4. (a) 150 μm, (b) 212 μm, (c) 300 μm tane boyutlarında Ni kaplanmış tozlarla üretilen kompozit malzemelerin x100 büyütmede alınan optik mikroskop görüntüleri

4.3. Porozite Deney Sonuçları

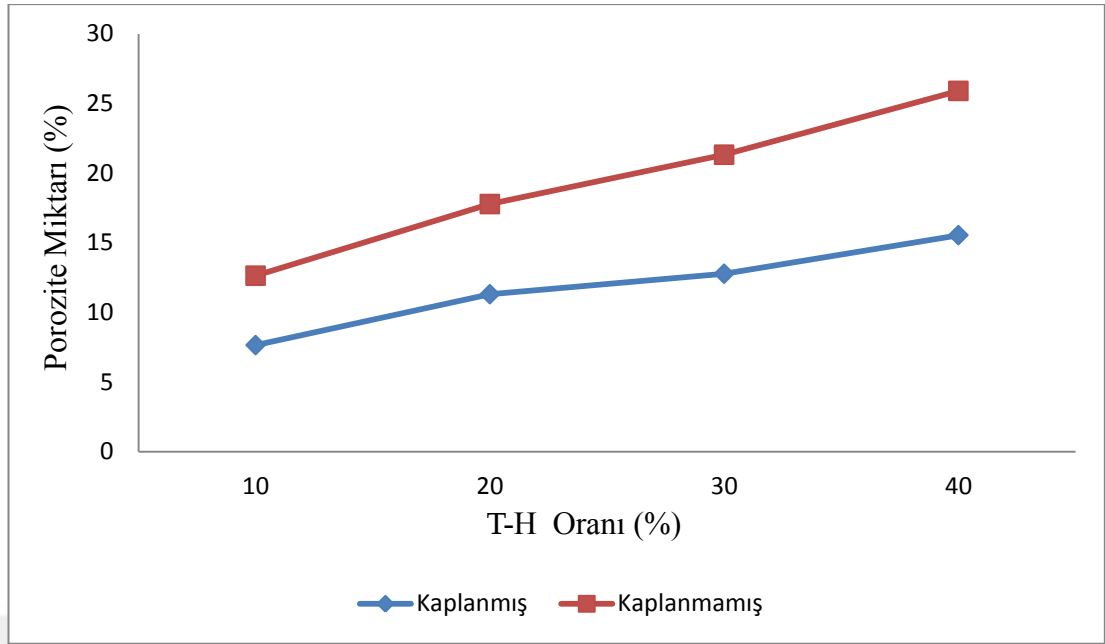
4.3.1. T-H oranının poroziteye etkisi

750 °C infiltrasyon sıcaklığında, 550 mmHg vakum basıncı altında ve 3 dakika vakum süresinde gerçekleştirilen infiltrasyon işleminde T-H oranının porozite miktarına etkisi Çizelge 4.4'de ve Şekil 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. T-H oranı porozite ilişkisi

Takviye Hacim Oranı (%)	Takviye Partikül Büyüklüğü (μm)	Porozite (%)	
		Kaplanmış Partiküllerde	Kaplanmamış Partiküllerde
10	105	4,98	7,66
20	105	6,47	11,31
30	105	8,54	12,78
40	105	10,35	15,55

Çizelge 4.4.'de belirtildiği üzere 105 μm partikül büyüklüğündeki Ni kaplanmış MgO takviyeler ile üretilen kompozit malzemelerden %10 T-H oranında %4,98, %20 T-H oranında %6,47, %30 T-H oranında %8,54 ve %40 T-H oranında %10,35 porozite değeri elde edilmiştir. Bu oran Ni kaplanmamış MgO takviyeler ile üretilen kompozit malzemelerde %10 T-H oranında %7,66, %20 T-H oranında %11,31, %30 T-H oranında %12,78, %40 T-H oranında %15,55 olarak ölçülmüştür.

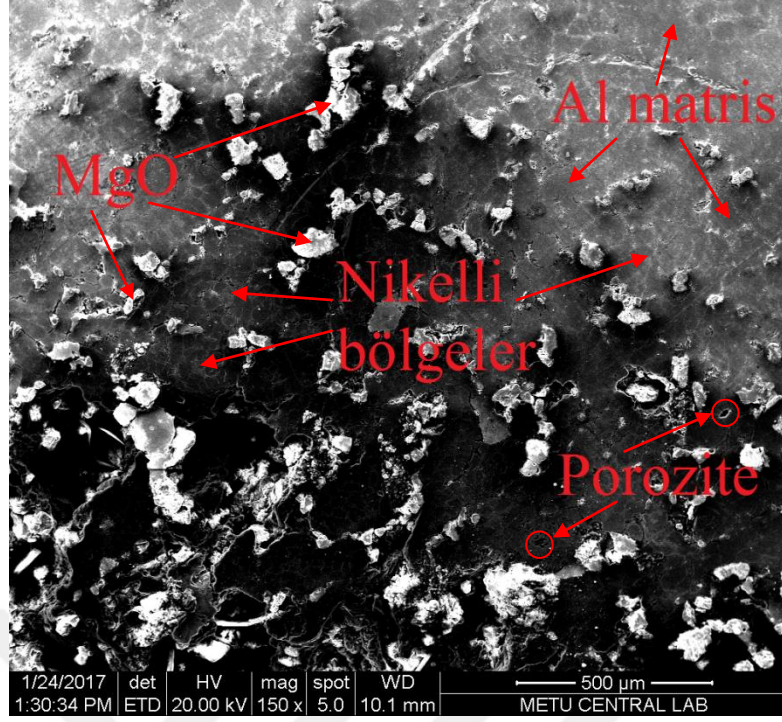


Şekil 4.5. T-H oranı ile porozite ilişkisi

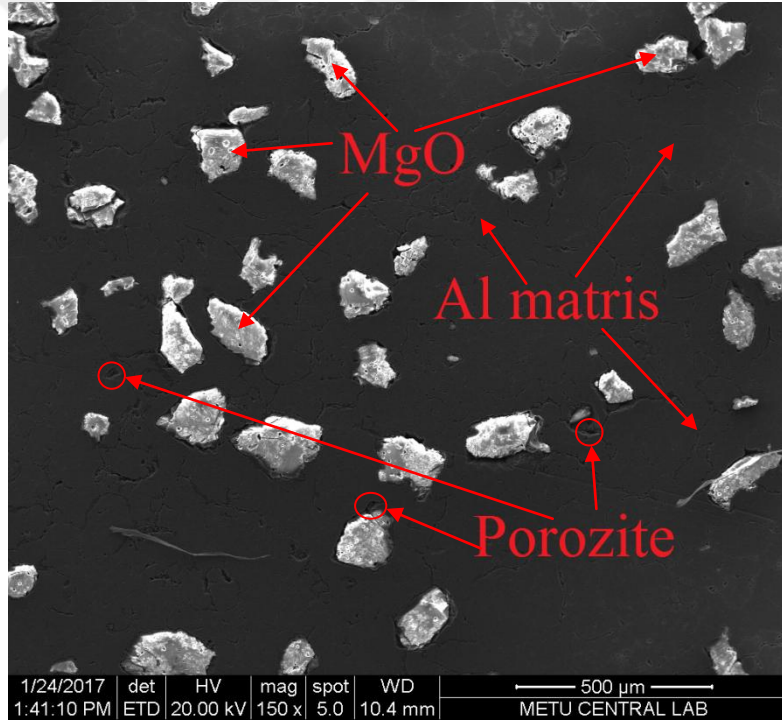
Ni kaplanmış ve kaplanmamış MgO partiküller ile üretilen kompozit malzemelerde porozite miktarları numunenin içerdiği T-H oranının artmasıyla artış göstermektedir. Ni kaplanmış tozlarla üretilen kompozit malzemelerin porozite değerleri kaplanmamış tozlarla üretilen kompozit malzemelerin porozite değerlerinden daha düşüktür. Bu durum akımsız nikel kaplamanın iyi bir matris takviye ara yüzeyi oluşturmasından kaynaklanmaktadır. Benzer durum Oh vd.'nin yaptıkları çalışmada ifade edilmiştir [44].

Akımsız nikel kaplanmış tozlardan elde edilen kompozit malzemelerde, tozların akımsız nikel kaplanması yüzey gerilimini düşürdüğünden dolayı infiltrasyonu kolaylaştırmış ve kaplanmamış tozlardan daha düşük porozite değerlerine sahip olmuşlardır. Thakur vd. yaptıkları çalışmada benzer durumu ifade etmişlerdir [39].

%10, 20, 30 ve 40 T-H oranlarında akımsız nikel kaplanmış ve kaplanmamış tozlardan üretilen kompozit malzemelere ait SEM görüntüleri Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9 'de verilmiştir.

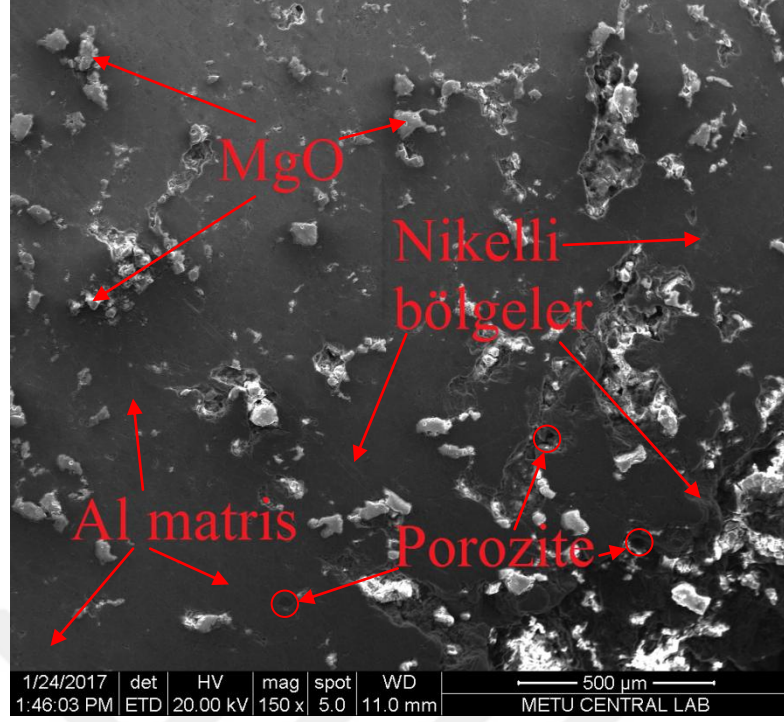


(a)

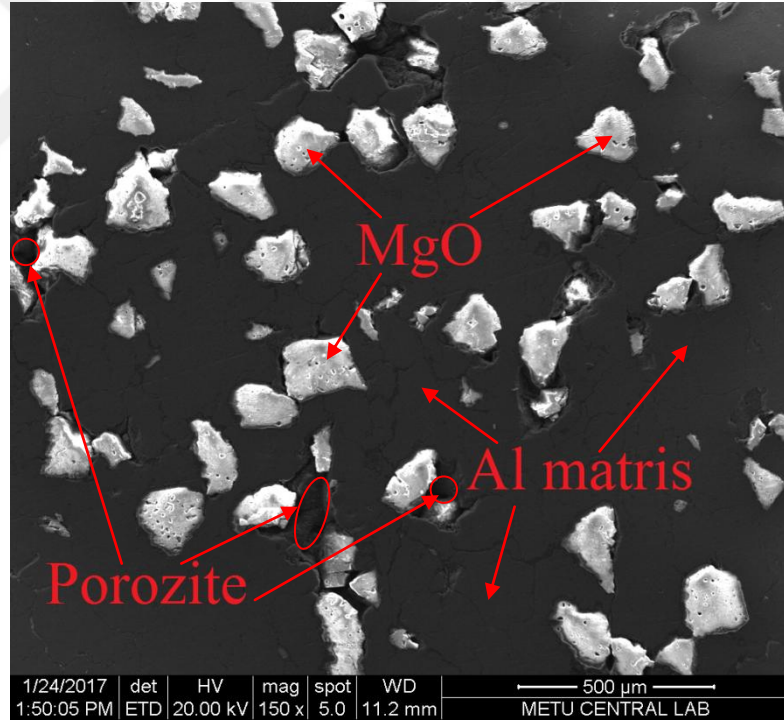


(b)

Şekil 4.6. 105 µm partikül büyüklüğünde (a) %10 T-H oranında kaplanmış tozlardan, (b) %10 T-H oranında kaplanmamış tozlardan elde edilen kompozit malzemelere ait x150 büyütmedeki SEM görüntüleri

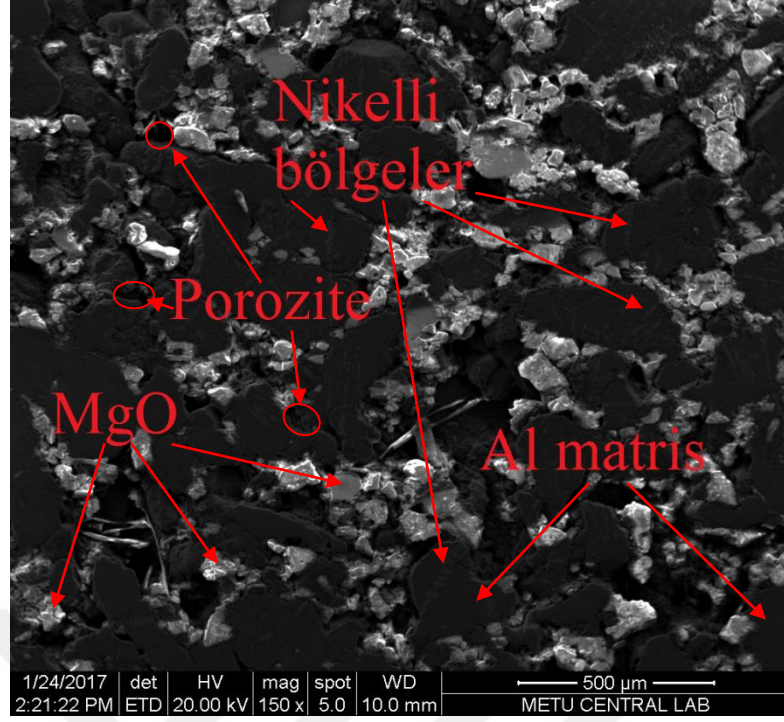


(a)

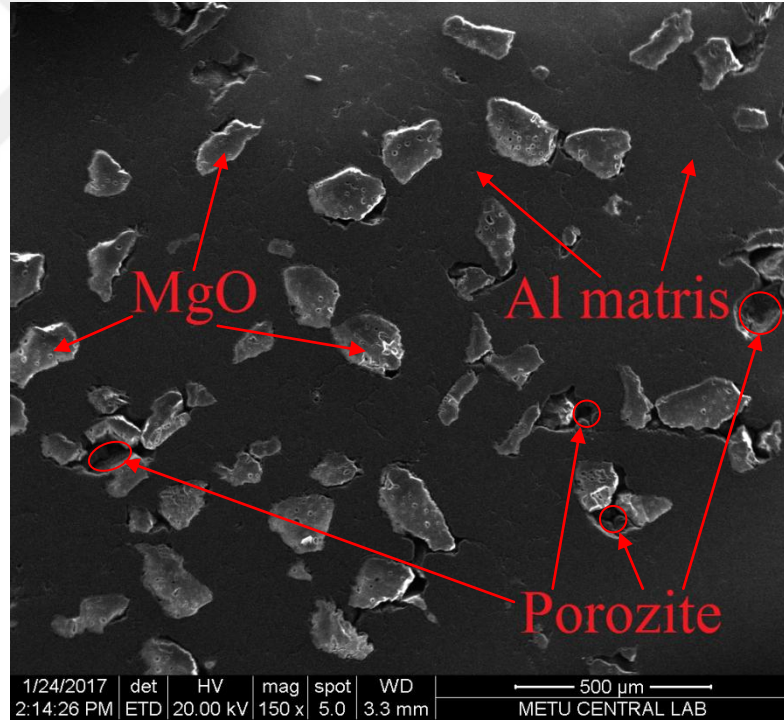


(b)

Şekil 4.7. 105 μm partikül büyüklüğünde (a) %20 T-H oranında kaplanmış tozlardan, (b) %20 T-H oranında kaplanmamış tozlardan elde edilen kompozit malzemelere ait x150 büyütmedeki SEM görüntüleri

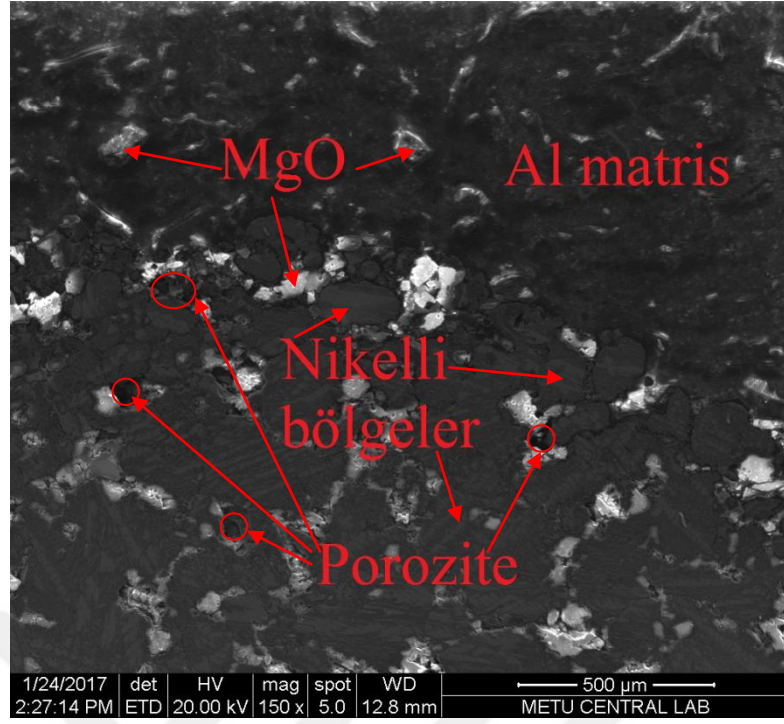


(a)

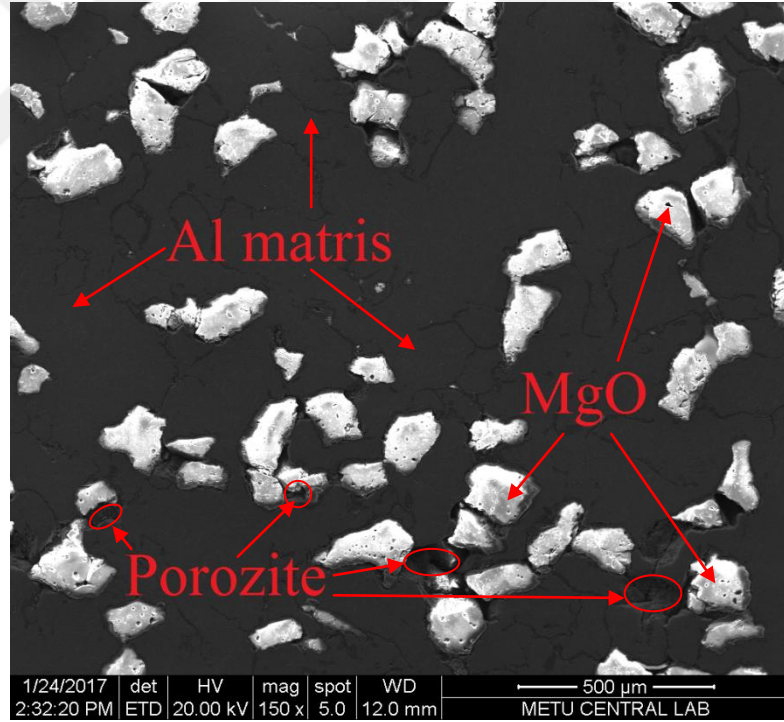


(b)

Şekil 4.8. 105 µm partikül büyüklüğünde (a) %30 T-H oranında kaplanmış tozlardan, (b) %30 T-H oranında kaplanmamış tozlardan elde edilen kompozit malzemelere ait x150 büyütmedeki SEM görüntüleri



(a)



(b)

Şekil 4.9. 105 μm partikül büyüklüğünde (a) %40 T-H oranında kaplanmış tozlardan, (b) %40 T-H oranında kaplanmamış tozlardan elde edilen kompozit malzemelere ait x150 büyütmedeki SEM görüntüleri

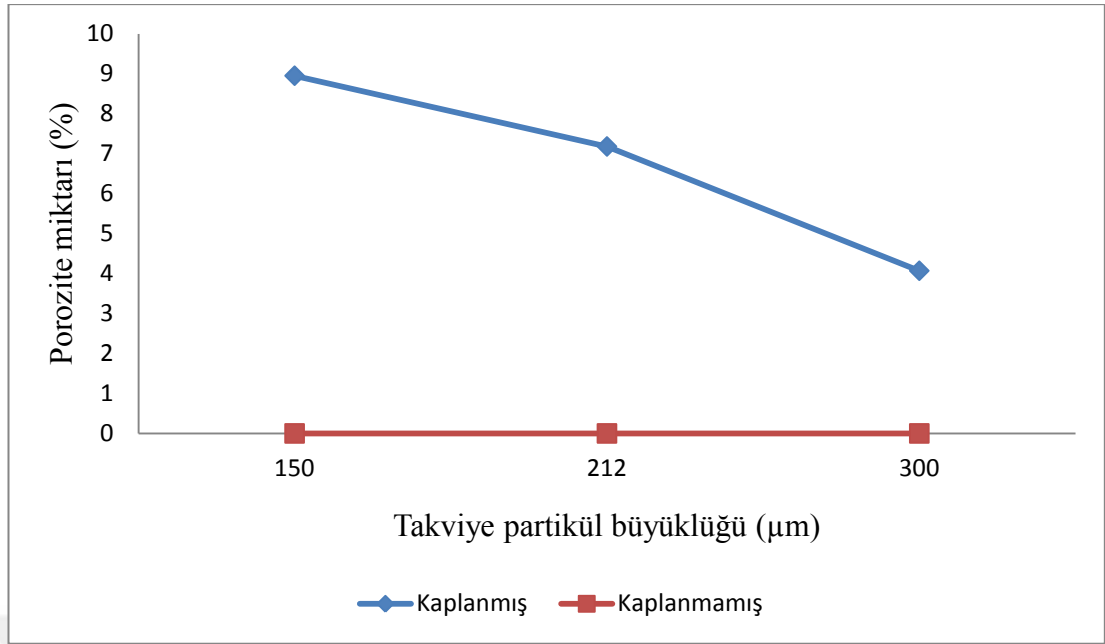
4.3.2. Takviye partikül büyüklüğünün poroziteye etkisi

750 °C infiltrasyon sıcaklığında, 550 mmHg vakum basıncı altında ve 3 dakika vakum süresinde gerçekleştirilen infiltrasyon işleminde T-H oranının porozite miktarına etkisi Çizelge 4.5'de ve Şekil 4.10'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Takviye partikül büyüklüğü porozite ilişkisi

Takviye Partikül Büyüklüğü (µm)	Takviye Hacim Oranı (%)	Porozite Miktarı (%)	
		Kaplanmış Partiküllerde	Kaplanmamış Partiküllerde
105	52	*	*
150	54	8,95	*
212	56	7,18	*
300	57	4,07	*

Çizelge 4.5'de görüldüğü üzere akımsız nikel kaplanmış tozlardan elde edilen kompozit malzemelerden; 150 µm büyüklüğünde takviye partiküllere sahip kompozit malzemelerin porozite değeri %8,95, 212 µm büyüklüğünde takviye partiküllere sahip kompozit malzemelerin %7,18, 300 µm büyüklüğünde takviye partiküllere sahip kompozit malzemelerin ise %4,07 olarak hesaplanmıştır. Akımsız nikel kaplanmış tozlardan 105 µm takviye boyutunda kompozit malzeme elde edilememiştir. Kaplama işlemi uygulanmamış 105, 150, 212 ve 300 µm takviye partikül büyüklüğündeki tozlardan kompozit malzemeler elde edilememiştir.

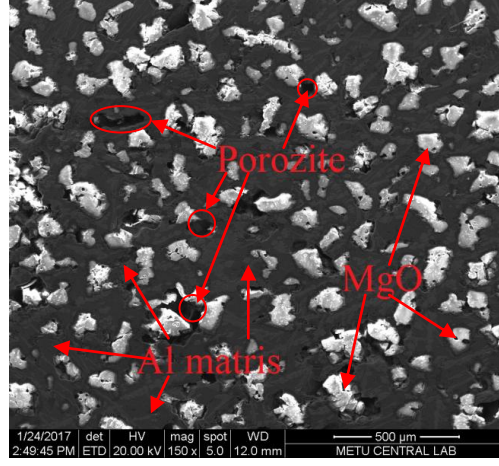


Şekil 4.10. Takviye partikül büyüklüğü porozite ilişkisi

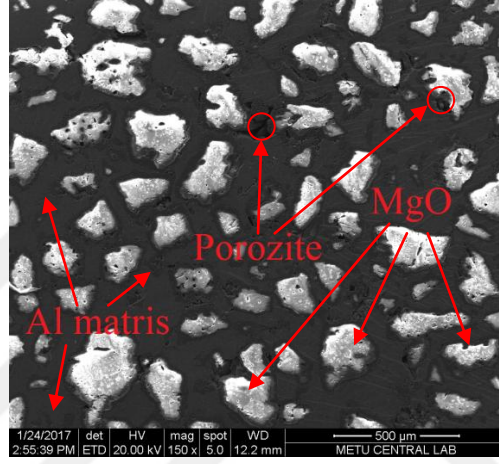
Takviye partikül büyüklüğü arttıkça sıvı metalin blok parçaya infiltrasyonu kolaylaşacağından porozite değeri artan takviye partikül büyüklüğüne bağlı olarak azalmıştır.

Akımsız nikel kaplanmış tozlardan elde edilen kompozit malzemelerde, tozların akımsız nikel kaplanması yüzey gerilimini düşürdüğünden dolayı infiltrasyonu kolaylaştırmış ve üretilen kompozitlerin gözenek miktarları azalmıştır.

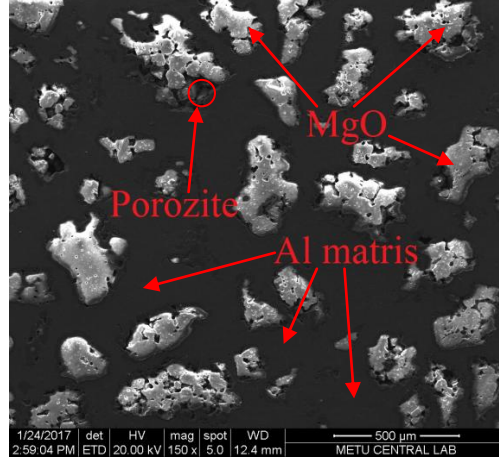
Şekil 4.11'de 150, 212 ve 300 μm takviye tane büyüklüğüne sahip akımsız nikel kaplanmış tozların infiltrasyonundan elde edilen kompozit malzemelere ait SEM görüntüleri verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.11. (a) 150, (b) 212, (c) 300 µm tane büyüklüğünde akımsız nikel kaplanmış tozlardan elde edilen kompozit malzemelerin x150 büyütmedeki SEM görüntüleri

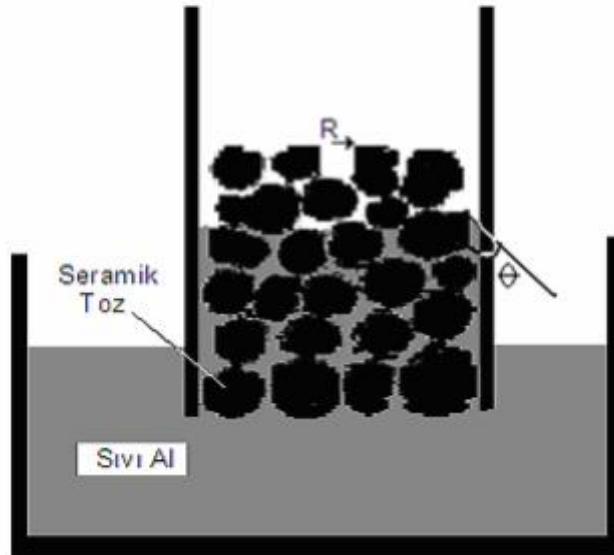
$$\Delta p = \frac{2\gamma_{sb} \cdot \cos \theta}{r} \quad (4.1)$$

Burada,

Δp , gerekli basınç, γ_{sb} , sıvı buhar yüzey gerilimi, θ , sıvı matris ile takviye arasındaki temas açısı ve r , kılcalık yarı çapını ifade etmektedir.

Eşitlik 4.1.'de Liplike-Young eşitliği verilmiştir. Bu eşitlikte taneler arası uzaklık ile gerekli eşik basıncı ilişkisi görülmektedir. Şekil 4.12'de Liplike-Young eşitliğindeki değişkenler şematik olarak gösterilmiştir.

Takviye partikül büyüklüğü arttıkça partiküller arası mesafe de artacaktır. Bu durumda Liplike-Young eşitliğinde de görüldüğü gibi gerekli eşik basıncı azalacaktır. İhtiyaç duyulan eşik basınçtaki bu azalma infiltrasyon davranışını artırmıştır. Mikro yapılarında da görüldüğü gibi tane büyüklüğü arttıkça kompozitlerin gözenek miktarları azalmıştır. Benzer sonuçlar Çalın tarafından da ifade edilmiştir [6].



Şekil 4.12. Sıvı matrisin gözenekli bir yapıda şematik olarak yükselmesi [6]

4.4. Sertlik Deney Sonuçları

4.4.1. Takviye hacim oranının sertliğe etkisi

750 °C infiltrasyon sıcaklığında, 550 mmHg vakum basıncı altında ve 3 dakika vakum süresinde gerçekleştirilen infiltrasyon işleminde T-H oranının sertlik değerlerine etkisi Çizelge 4.6'de ve Şekil 4.13'de verilmiştir.

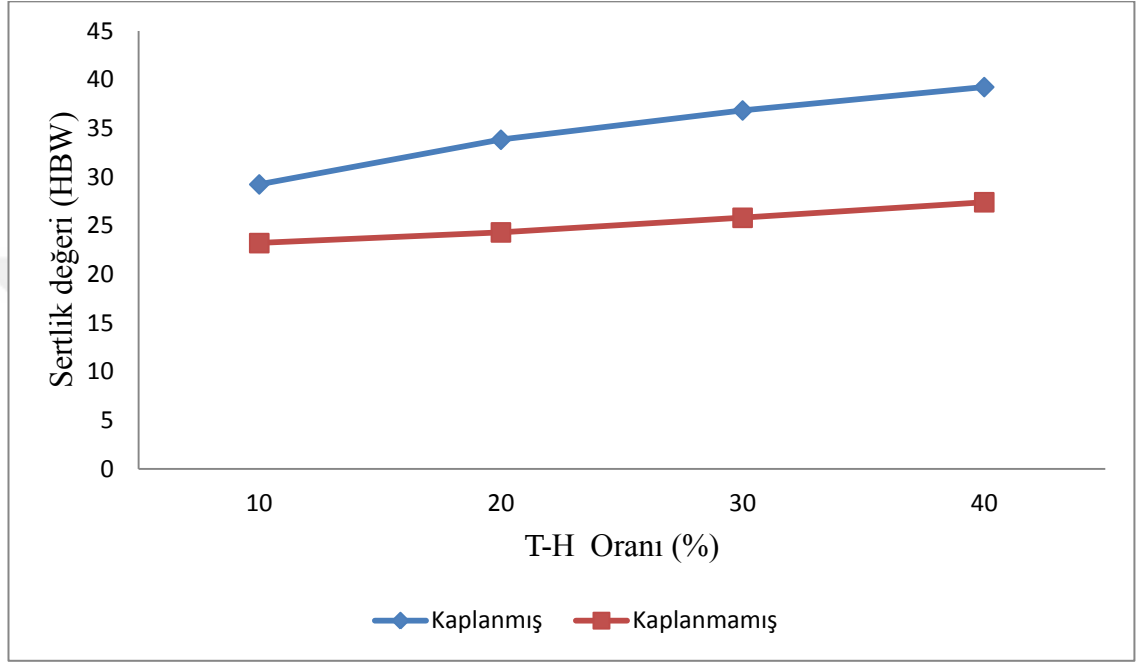
Çizelge 4.6. T-H oranına bağlı sertlik değerleri

Kaplama Durumu	Tane Boyutu (µm)	Sertlik Değerleri (Brinell)			
		T-H Oranı			
		10	20	30	40
Kaplanmış	105	29,23	33,82	36,83	39,23
Kaplanmamış	105	23,21	24,35	25,80	27,44

Çizelge 4.6'da belirtildiği gibi akımsız nikel kaplanmış partiküllerin infiltrasyonundan elde edilen kompozit malzemelerde sertlik değerleri %10 T-H oranında 29,23 HBW, %20 T-H oranında 33,82 HBW, %30 T-H oranında 36,83 HBW, %40 T-H oranında 39,23 HBW olarak ölçülmüştür. Akımsız nikel kaplanmamış MgO partiküllerin infiltrasyonu sonucu elde edilen kompozit malzemelerdeki sertlik değerleri ise %10 T-H oranında 23,21 HBW, %20 T-H oranında 24,35 HBW, %30 T-H oranında 25,80 HBW, %40 T-H oranında ise 27,44 HBW olarak ölçülmüştür.

AA 1070 alaşımının brinell sertlik değeri 18-40 BSD arasında değişmektedir [93]. Bu çalışmada AA 1070 tozları AA 1070 alaşımı ile infiltre edildiğinde AA 1070 alaşımının sertlik değeri 20,4 HBW olarak ölçülmüştür. MgO takviyesi ile sertlik değerlerinin arttığı görülmüştür. Ayrıca kaplamanın etkisiyle de sertlik değerlerindeki artış belirtilmiştir.

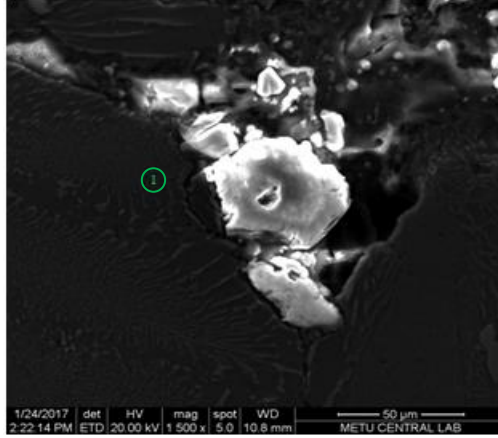
Altuner, yapmış olduğu çalışmada Al_2O_3 takviyeli AA 6061 matrisli kompozit malzemeleri sıkıştırılmalı döküm yöntemi ile üretmiş, %5 T-H oranında 41, %10 T-H oranında 43 ve %15 T-H oranında 50 HB sertlik değeri elde etmiştir. Benzer şekilde artan T-H oranı ile sertlik değeri arttığını gözlemlemiştir [94].



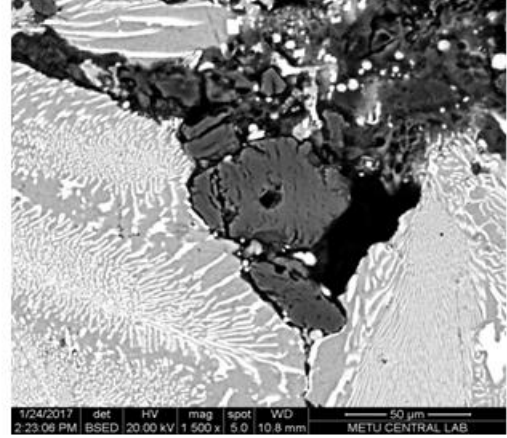
Şekil 4.13. T-H oranına bağlı sertlik değeri değişimi

Deneysel çalışmalar sonucunda üretilen kompozit malzemelerin içeriğindeki artan T-H oranı ile sertlik değeri artışı gösterdiği görülmektedir. Bu durum kompozit malzeme içerisinde daha sert olan takviye elemanı miktarının artmasından kaynaklanmaktadır. Benzer sonuçlar Çalın [6] ve Çanakçı [58] tarafından yapılan çalışmalarda da görülmektedir.

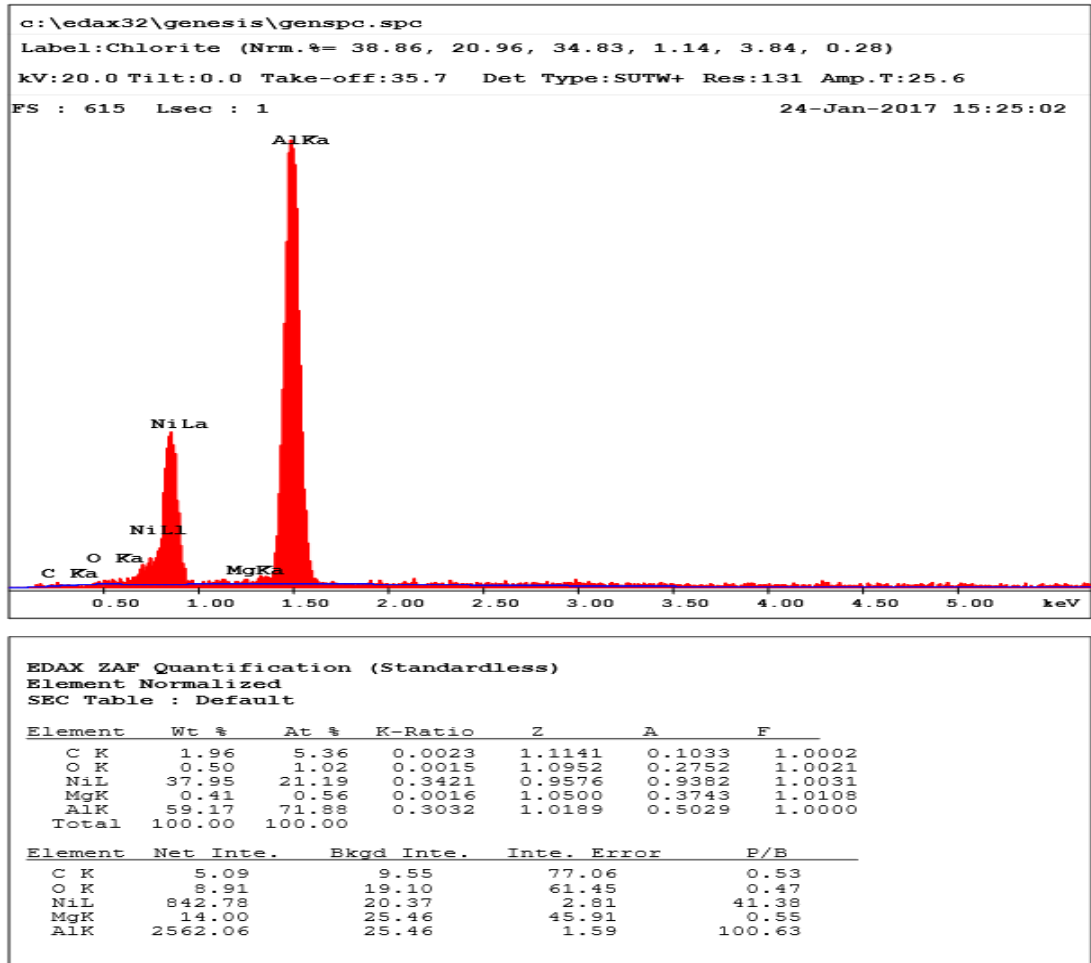
Akımsız nikel kaplanmış MgO partikülleri ile üretilen kompozit malzemelerin sertlik değeri kaplanmamış tozlarla üretilen kompozit malzemelerin sertlik değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum infiltrasyon öncesi MgO tozları üzerine kaplanan nikelin uygulanan vakumun etkisiyle matris üzerine yayılmasından kaynaklanmaktadır. Mikroyapı ve SEM analizleri de bu durumu ispat etmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.14. Akımsız nikel kaplanmış tozlardan üretilen %30 T-H orandaki kompozit malzemeye ait x1500 büyütmede (a) SEM görüntüsü, (b) backscatter görüntüsü, (c) EDS analizi

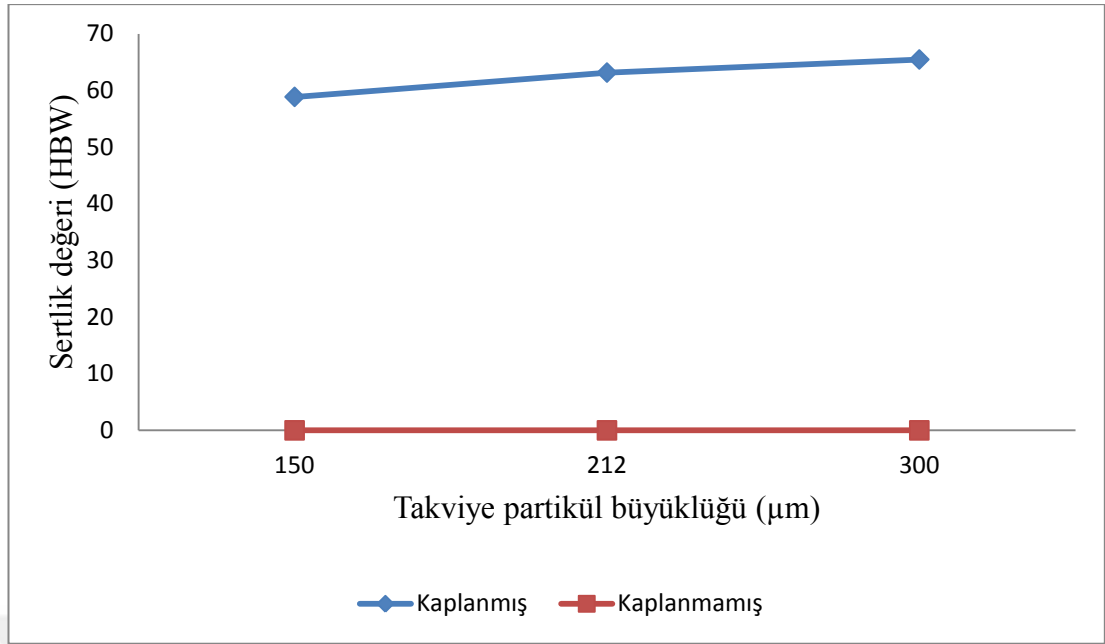
4.4.2. Takviye partikül büyüklüğünün sertliğe etkisi

750 °C infiltrasyon sıcaklığında, 550 mmHg vakum basıncı altında ve 3 dakika vakum süresinde gerçekleştirilen infiltrasyon işleminde takviye partikül boyutunun sertlik miktarlarına etkisi Çizelge 4.7'de ve Şekil 4.15'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Takviye tane boyutu sertlik değeri değişimi

Kaplama Durumu	Sertlik Değerleri (Brinell)			
	Takviye Tane Boyutu (µm)			
	105	150	212	300
Kaplanmış	-----	58,86	63,15	65,46
Kaplanmamış	-----	-----	-----	-----

Çizelge 4.7'de belirtildiği üzere akımsız nikel kaplanmış MgO partiküllerin infiltrasyonu sonucu elde edilen kompozit malzemelerde sertlik değerleri 150 µm tane boyutunda 58,86 HBW, 212 µm tane boyutunda 63,15 HBW, 300 µm tane boyutunda 65,46 HBW olarak ölçülmüştür. Akımsız nikel kaplanmış 105 µm tane boyutunda, kaplama yapılmamış 105, 150, 212 ve 300 µm tane boyutlarında infiltrasyon sağlanamadığın sertlik değerleri ölçülememiştir.



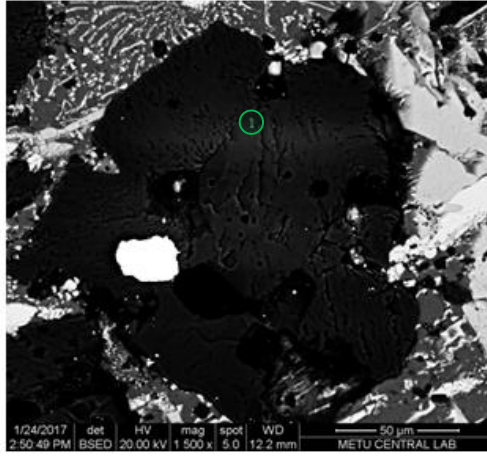
Şekil 4.15. Takviye partikül büyüklüğüne bağlı sertlik değerleri değişimi

Verilen SEM görüntülerinde görüldüğü üzere vakumun etkisiyle akımsız nikel kaplanmış MgO takviyeler üzerindeki Ni kaplama matris içerine dağılmış ve nikelli bölgeler oluşturmuştur.

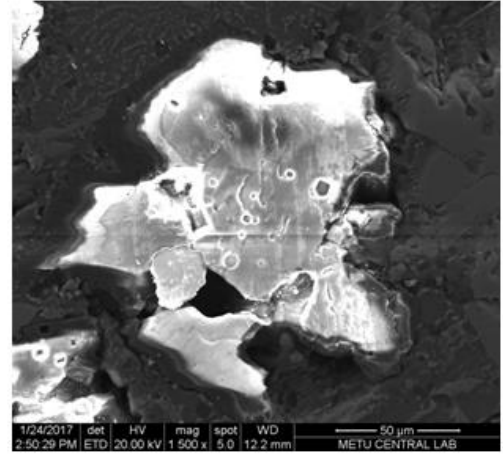
Takviye tane büyüklüğü arttıkça preforma içerisindeki gözeneklerin daha büyük oluşundan sıvı metal kılcallık prensibine göre daha iyi infiltre olmuştur. Bu durum gözenek miktarını azaltarak kompozitlerin sertliğini arttırmıştır. Benzer durum Chong vd.'nin [95] çalışmalarında da ifade edilmiştir.

Ayrıca çizelge 4.7 de belirlendiği gibi takviye partikül boyutu arttıkça kompozit içerisindeki sert faz artmış, MgO hacim oranının artması da kompozitlerin sertliklerini artırmıştır.

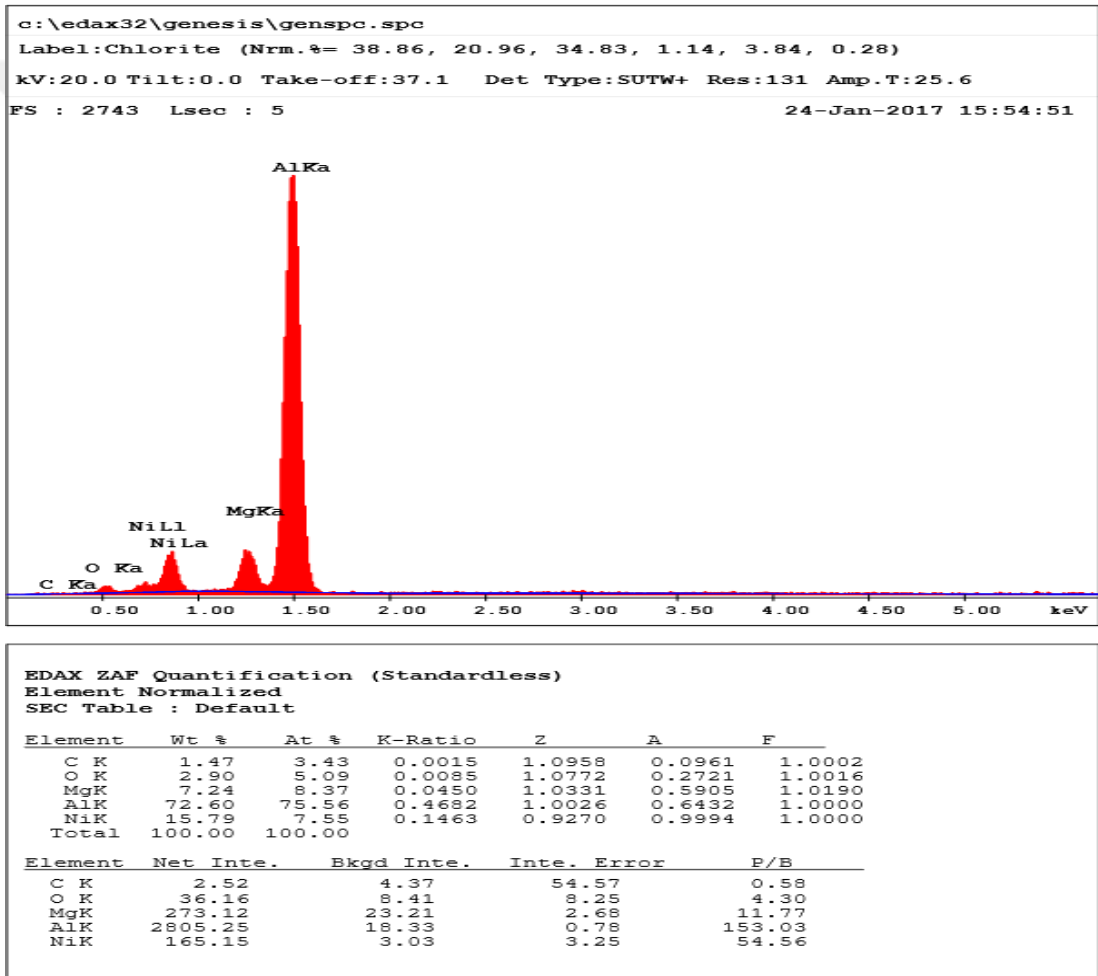
Altuner, yapmış olduğu çalışmada Al_2O_3 takviyeli AA 6061 matrisli kompozit malzemeleri sıkıştırılmalı döküm yöntemi ile üretmiş, %5 T-H oranında 41, %10 T-H oranında 43 ve %15 T-H oranında 50 HB sertlik değeri elde etmiştir. Benzer şekilde artan T-H oranı ile sertlik değerlerinin arttığını gözlemlemiştir [94].



(a)

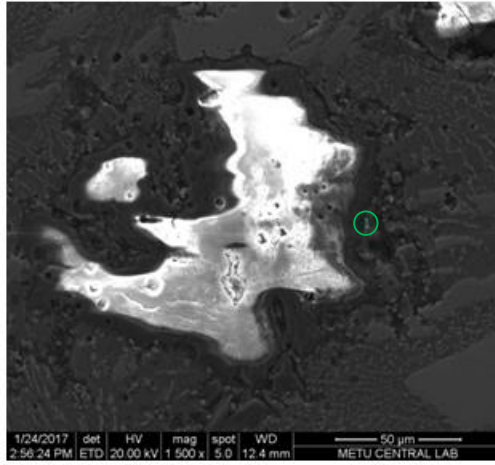


(b)

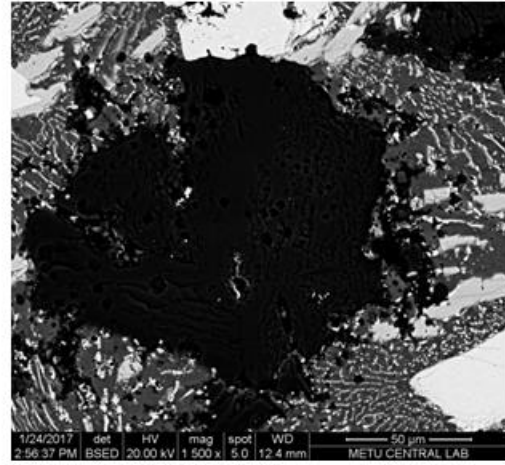


(c)

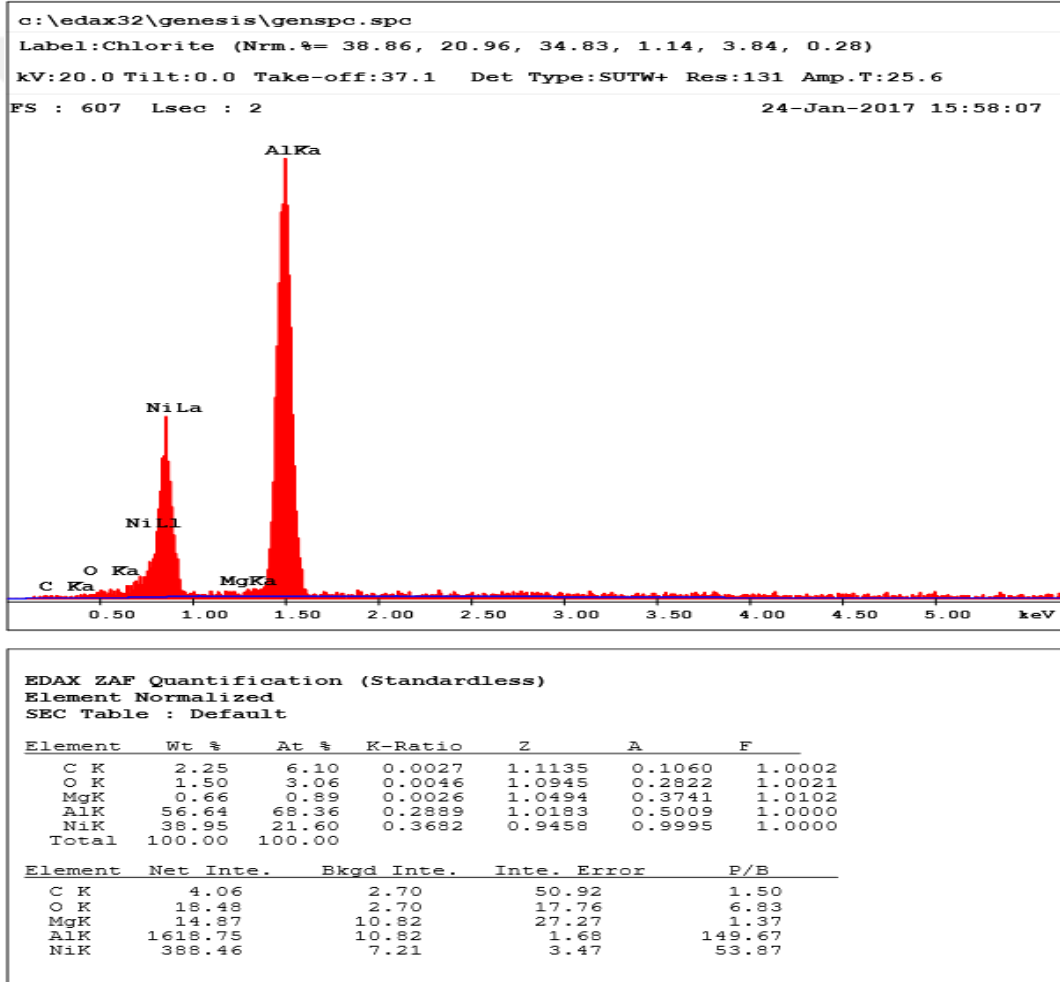
Şekil 4.16. Akımsız nikel kaplanmış 150 µm tane boyutundaki tozlardan üretilen kompozit malzemeye ait x1500 büyütmede (a) SEM görüntüsü, (b) backscatter görüntüsü, (c) EDS analizi



(a)



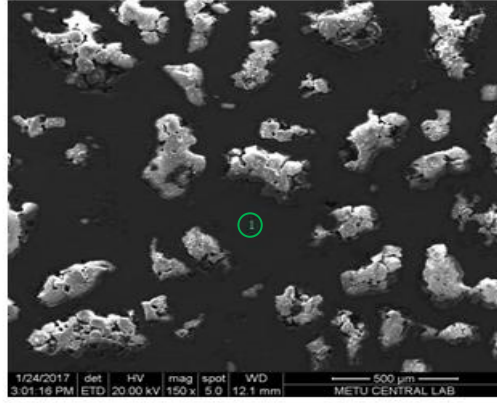
(b)



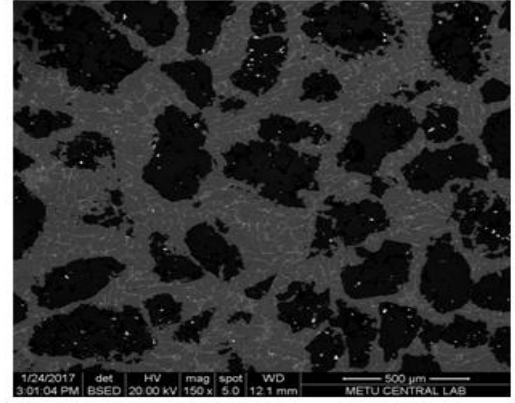
(c)

Şekil 4.17. Akımsız nikel kaplanmış 212 µm tane boyutundaki tozlardan üretilen kompozit malzemeye ait x1500 büyütmede (a) SEM görüntüsü, (b) backscatter görüntüsü, (c) EDS analizi

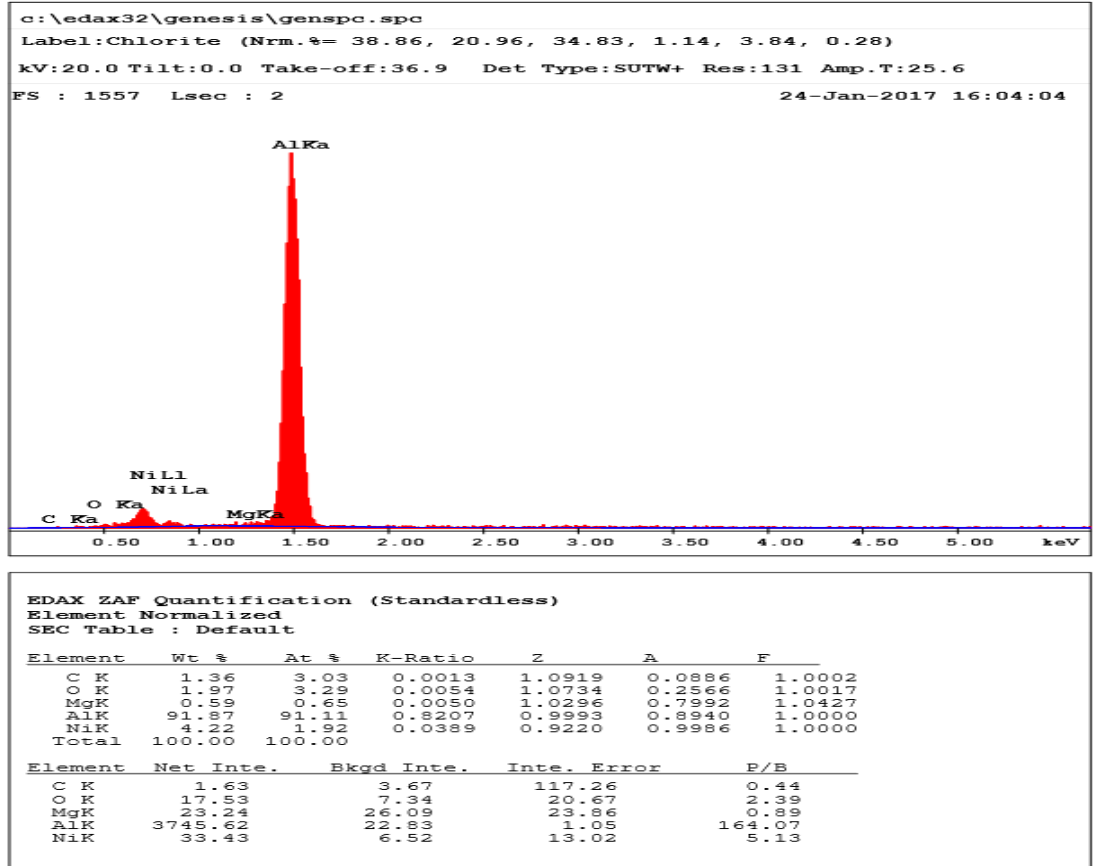
Şekil 4.18'de 300 µm tane boyutundaki tozlardan üretilen kompozit malzemeye ait x150 büyütmede SEM görüntüsü verilmiştir.



(a)



(b)



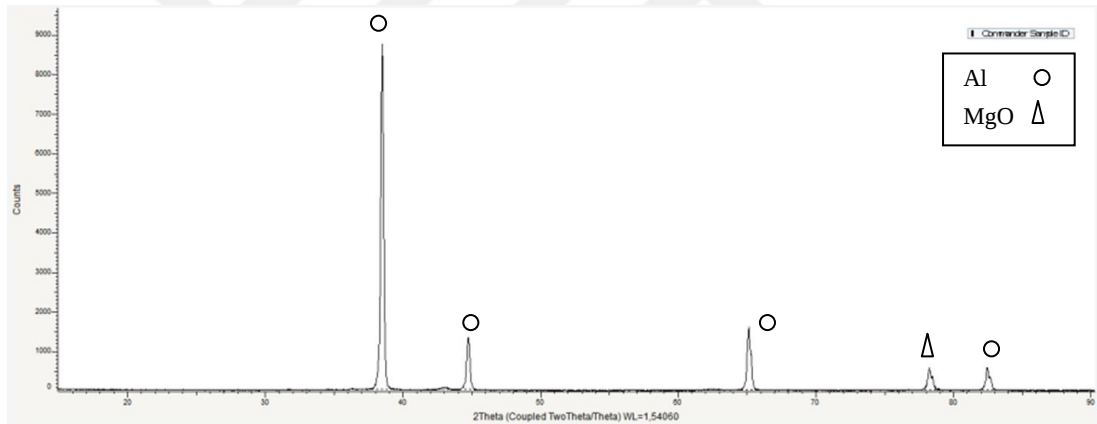
(c)

Şekil 4.18. Akımsız nikel kaplanmış 300 µm tane boyutundaki tozlardan üretilen kompozit malzemeye ait x150 büyütmede (a) SEM görüntüsü, (b) backscatter görüntüsü, (c) EDS analizi

4.5. X-Ray Difraksiyon Analizi

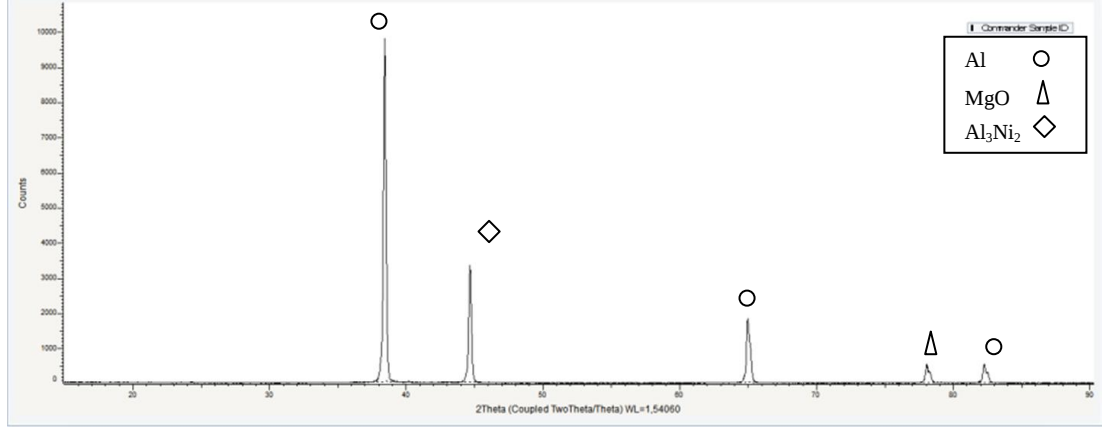
750 °C infiltrasyon sıcaklığında, 550 mmHg vakum basıncı altında ve 3 dakika vakum süresinde gerçekleştirilen infiltrasyon işleminde %40 T-H oranında akımsız nikel kaplanmış ve kaplanmamış tozlardan elde edilen kompozit malzemelere ait XRD analizleri Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'da verilmiştir.

Kaplanmış MgO takviye elemanları %40 T-H oranındaki kompozitlerde miktarca fazla olduğundan kaplamanın oluşturduğu etkinin belirginleştirilmesi için bu kompozit malzemeye XRD analizi uygulanmıştır. Kıyaslamanın yapılabilmesi için aynı takviye hacim oranında kaplanmamış kompozit malzemede de analiz gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.19. %40 T-H oranında kaplanmamış MgO tozlarından elde edilen kompozit malzemeye ait XRD analizi

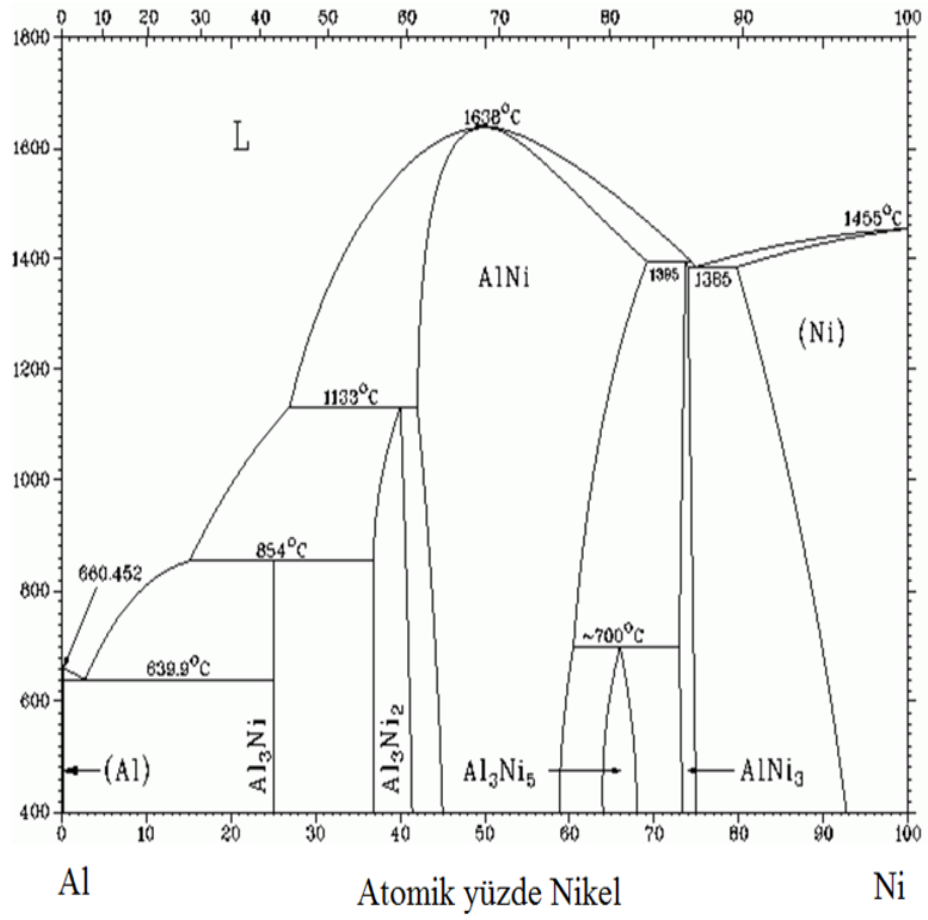
Şekil 4.19'da görülen XRD sonucu elde edilen 2θ açılarına bakıldığında Al fazı yaklaşık 38°, 45°, 65° ve 83° 'de, MgO fazının ise yaklaşık olarak 78° 'de elde edildiği düşünülmüştür. Latief [96] ve Çalın [6] yapmış oldukları çalışmalarda buna benzer sonuçlar elde edilmişlerdir.



Şekil 4.20. %40 T-H oranında kaplanmış MgO tozlarından elde edilen kompozit malzemeye ait XRD analizi

Al-Ni faz diyagramı ve benzer çalışmalar dikkate alındığında Şekil 4.20'de yaklaşık 45° 'de oluşan fazın Al₃Ni fazı olduğu düşünülmektedir. Chi vd. [97] yapmış oldukları deneysel çalışmalarda buna benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Diğer yandan Al fazının yaklaşık 38°, 65° ve 83° 'de, MgO fazının yaklaşık olarak 78° 'de elde edildiği düşünülmekte ve Latief [96], Çalın [6]'nin yapmış oldukları çalışmalarda buna benzer sonuçlar elde ettikleri görülmektedir.

Nikel Ağırlık Yüzdesi



Şekil 4.21. Al-Ni faz diyagramı [98].

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Deneysel çalışmalarda akımsız nikel kaplanmış ve kaplanmamış MgO takviye elemanı ile AA 1070 matrisli kompozit malzemeler vakum infiltrasyon yöntemi ile üretilmişlerdir. Üretilen kompozitlerin sertlik, porozite, infiltrasyon mesafesi ve mikroyapı özellikleri incelenmiştir. Takviye tane büyüklüğü ve takviye hacim oranının kompozitlerin infiltrasyon davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir ve sonuçlar aşağıdaki şekilde belirtilmiştir.

MgO tane boyutu arttıkça takviye-hacim oranının arttığı belirlenmiştir. Küçük partikül büyüklüğüne sahip takviyelerdeki yüzey alanlarının fazla oluşundan daha az hacim oluşturmuştur.

Artan partikül büyüklüğüne bağlı infiltrasyon mesafesi artmaktadır. Büyük tane boyutuna sahip tozlardan elde edilen numunelerde taneler arasında kalan infiltrasyon öncesi boşlukların daha büyük olmasından dolayı bu numunelerde infiltre olan matris boşlukları daha iyi doldurmuş ve daha fazla infiltrasyon mesafeleri elde edilmiştir. Bu büyük taneler kılcal basıncı azaltarak ergiyik haldeki Al'un ilerlemesini kolaylaştırmış ve infiltrasyona yardım sağlamışlardır.

Akımsız nikel kaplanmış partiküllerle üretilen kompozitlerde artan tane boyutu ile kompozitlerin infiltrasyon mesafeleri artmıştır.

MgO partiküllerin akımsız nikel kaplanması ile matris-takviye arayüzey gerilimi azalarak sıvı matrisin MgO takviyeyi ıslatma kabiliyeti artmıştır. Akımsız nikel kaplanan tozlarla üretilen kompozitlerde sıvı matrisin infiltrasyon davranışı artmıştır.

Akımsız nikel kaplanmış tozlarla üretilen kompozitlerin porozite miktarlarının, kaplanmamış tozlarla üretilen kompozitlere göre daha az olduğu belirlenmiştir.

Artan takviye-hacim oranı ile sıvı matrisin içerisindeki gözeneklerinde büyük oluşu sıvı matrisin blok parçaya infiltrasyonunu kolaylaştırarak gözenek miktarlarını azaltmıştır.

Artan takviye-hacim oranı ve tane büyüklüğü ile üretilen kompozitlerin sertlik değerleri artmıştır.

Nikelin alüminyum matris içerisine difüzyonu ile katı eriyik mukavemetlenmesi yoluyla kompozitlerin sertlikleri artmıştır.

Sıvı matris MgO partikül arayüzey temas açısı belirlenebilir.

Basınçlı infiltrasyon yöntemi kullanılarak daha küçük tane boyutuna sahip MgO partiküllerle kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilebilir.

Balistik dayanım kazanılması adına sertlik özelliğinin artırılmasının yanı sıra tokluk özelliğinin artırılması için diğer seramikler takviye ederek hibrit kompozitler elde edilebilir ve balistik davranışları incelenebilir.

Bu çalışmada üretilen kompozit malzemelerin ileriye yönelik balistik özellikleri araştırılabilir.

KAYNAKÇA

- [1] OKUR, O., Partikül Takviyeli AA2014 Metal Matrisli Kompozit Malzemenin İnfiltrasyon Yöntemi İle Üretimi Ve Özelliklerinin Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2016.
- [2] ELOMARI, S., et al. Thermal expansion behavior of particulate metal-matrix composites. *Composites Science and Technology*, 58.3-4: 369-376, 1998.
- [3] SAHIN, Y., *Kompozit Malzemelere Giriş*. Gazi kitabevi, 2000.
- [4] BUHRMASTER, C. L., D. E. CLARK, and H. B. SMARTT. "Spray Casting Aluminum and Al/SiC Composites." *JOM Journal of the Minerals, Metals and Materials Society* 40.11: 44-45, 1988.
- [5] SARITAŞ, S. Engineering metallurgy and materials. *Ankara, Türkiye*, 5-30, 1995.
- [6] CALIN, R., Magnezya Parçacık Takviyeli Al Matrisli Kompozitin Vakum İnfiltrasyon Yöntemi ile Üretilmesi ve Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, 2006.
- [7] GOLLER, G., et al., “Basınçlı infiltrasyon yöntemiyle üretilmiş Cu-C kompozitlerin tribolojik davranışının karakterizasyonu”, 9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 11-15 Haziran, 1305-1309, 1997.
- [8] DHANDAPANI, S. P., Jayaram, V., and Surappa, M. K., “Growth and microstructure of Al₂O₃-SiC-Si(Al) composites prepared by reactive infiltration of silicon carbide preforms”, *Acta Met. Ma.*, 42 : 649-656, 1994
- [9] DONG, Q., et al. Synthesis of TiCp reinforced magnesium matrix composites by in situ reactive infiltration process. *Materials letters*, 58.6: 920-926, 2004.

- [10] AGHAJANIAN, M. K., et al. The fabrication of metal matrix composites by a pressureless infiltration technique. *Journal of Materials Science*, 26.2: 447-454, 1991.
- [11] CHU, S.; WU, R., The structure and bending properties of squeeze-cast composites of A356 aluminium alloy reinforced with alumina particles. *Composites science and technology*, 59.1: 157-162, 1999.
- [12] KARAKOC, H., TM Yöntemi ile B₄C Takviyeli AA6061 Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretimi, Mekanik Özelliklerinin ve Balistik Performansının İncelenmesi, Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, 2017.
- [13] ÜBEYLI, M., et al. The ballistic performance of SiC-AA7075 functionally graded composite produced by powder metallurgy. *Materials & Design*, 2014, 56: 31-36.
- [14] ZHOU, Z., et al. Analysis of morphology and microstructure of B₄C/2024Al composites after 7.62 mm ballistic impact. *Materials & Design*, 2014, 63: 658-663.
- [15] HUANG, C.Y.; CHEN, Y.L. Effect of mechanical properties on the ballistic resistance capability of Al₂O₃-ZrO₂ functionally graded materials. *Ceramics International*, 2016, 42.11: 12946-12955.
- [16] KAINER, Karl U. (ed.). *Metal matrix composites: custom-made materials for automotive and aerospace engineering*. John Wiley & Sons, pp. 3-4, 27-35, 2006
- [17] BERTHELOT, Jean-Marie. Dynamics of composite materials and structures. *Institute for Advanced Materials and Mechanics, Springer, New York*, 1999.
- [18] CHEN, Huiqiang. *Fabrication of Magnesium Matrix Composites Using a Spontaneous Infiltration Technique*. PhD Thesis. McGill University Libraries. Chapter 2, 19p, 2002.
- [19] MAZUMDAR, Sanjay. *Composites manufacturing: materials, product, and process engineering*. CrC press, 2001.

- [20] NISHIDA, Yoshinori. *Introduction to Metal Matrix Composites: Fabrication and Recycling*. Springer Science & Business Media, pp.4, 2013.
- [21] HIÇYILMAZ, N. Toz metalurjisi yöntemleri ile elde edilen seramik tanecik destekli alüminyum esaslı kompozit malzemelerin aşınma özellikleri. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, 1999.
- [22] DONNINI, R., *Metal Matrix Composites. Structure and Technologies*, VDM Verlag, 172p, 2009.
- [23] NISHIDA, Y., *Metal Matrix Composites*, pp. 2-3, 2001.
- [24] SHEN, Y.-L.; FISHENCORD, E.; CHAWLA, N. Correlating macrohardness and tensile behavior in discontinuously reinforced metal matrix composites. *Scripta materialia*, 42.5: 427-432, 2000.
- [25] AKBULUT, H.; DURMAN, M. Temperature dependent strength analysis of short fiber reinforced Al-Si metal matrix composites. *Materials Science and Engineering: A*, 262.1: 214-226, 1999.
- [26] DUCRET, D., et al. Characterisation of anisotropic elastic constants of continuous alumina fibre reinforced aluminium matrix composite processed by medium pressure infiltration. *Composites Part A: applied science and manufacturing*, 31.1: 45-55, 2000.
- [27] BİNER, S. B. Creep deformation and rupture behavior of a laminated metal matrix composite. *Journal of materials science*, 37.16: 3555-3558, 2002.
- [28] DİLER, E. A., Toz Metalurjisi ile Üretilen Al-SiCp Metal Matrisli Kompozitlerde Faktör Etkileşimlerinin Partikül Dağılımı, Eğme Dayanımı ve Aşınma Özelliklerinin Etkileri, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, 2012.
- [29] SAHİN, Y., *Kompozit Malzemelere Giriş*. Gazi kitabevi, s.67-69, 2000.
- [30] SCHWARTZ, Mel M. *Composite materials. Volume 2: Processing, fabrication, and applications*. 1997.

- [31] ÇITAK, R., Metalik Baryum-Alüminyum Başlangıç Tozlarının Düşük Sıcaklıkta Oksidasyonu ile Alüminyum Matrisli Kompozit Üretimi Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, 1998.
- [32] RALPH, B.; YUEN, H. C.; LEE, W. B. The processing of metal matrix composites—an overview. *Journal of materials processing technology*, 63.1-3: 339-353, 1997.
- [33] CONTRERAS, A.; LOPEZ, V. H.; BEDOLLA, E. Mg/TiC composites manufactured by pressureless melt infiltration. *Scripta materialia*, 51.3: 249-253, 2004.
- [34] RODRIGUEZ-REYES, M., et al. Effect of Mg loss on the kinetics of pressureless infiltration in the processing of Al-Si-Mg/SiCp composites. *Materials Letters*, 57.13: 2081-2089, 2003.
- [35] BEDİR, Fevzi., Alüminyum Kompozitlerin Üretimi, Karakteristik Özellikleri ve Endüstriyel Uygulamaları. *Mühendis ve Makine*, 47.554: 28-35, 2006.
- [36] MORTENSEN, A.; SANMARCHI, C.; DEGISCHER, H. P. Glossary of terms specific to metal matrix composites. *MMC-Assess Thematic Network*, 2002.
- [37] DEGISCHER, H. P.; PRADER, P.; SAN MARCHI, C., “Assessment of Metal Matrix Composites for Innovations”—intermediate report of a European Thematic Network. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 32.8: 1161-1166, 2001.
- [38] CORNIE, J. A., et al., “Solidification processing of metal matrix composites”, *Ceramic Bulletin The American Ceramic Society*, 65: 293-303, 1986.
- [39] THAKUR, S. K.; DHINDAW, B. K. The influence of interfacial characteristics between SiC p and Mg/Al metal matrix on wear, coefficient of friction and microhardness. *Wear*, 247.2: 191-201, 2001.

- [40] ASTHANA, R.; ROHATGI, P. K. Solidification synthesis of pressure-infiltrated Al alloy 2014-SiC platelet composites. *Materials Science and Engineering: A*, 1991, 144.1: 169-178
- [41] LLOYD, D. J. Particle reinforced aluminium and magnesium matrix composites. *International Materials Reviews*, 39.1: 1-23, 1994.
- [42] NARCISO-ROMERO, F. J., et al. Fabrication of ceramicceramic composites from aluminumceramic composites produced by pressure infiltration. *Scripta materialia*, 38.4: 623-629, 1998.
- [43] SRIVATSAN, T. S., et al. Processing techniques for particulate- reinforced metal aluminium matrix composites. *Journal of Materials Science*, 26.22: 5965-5978, 1991.
- [44] OH, S. Y.; CORNIE, J. A.; RUSSELL, K. C. Wetting of ceramic particulates with liquid aluminum alloys: Part I. Experimental techniques. *Metallurgical Transactions A*, 20.3: 527-532, 1989.
- [45] AHLATCI, H.; ÇIMENOĞLU, H.; CANDAN, E. Mechanical properties of Al-60 Pct SiCp composites alloyed with Mg. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 35.7: 2127-2141, 2004.
- [46] ASSAR, ABD-ELWAHED M. Fabrication of metal matrix composite by infiltration process—part 2: experimental study. *Journal of Materials Processing Technology*, 86.1: 152-158, 1999.
- [47] NISHIDA, Y., *Introduction to Metal Matrix Composites: Fabrication and Recycling*. Springer Science & Business Media, 2013.
- [48] AGUILAR-MARTÍ, J. A., et al. Effect of processing parameters on the degree of infiltration of SiC p preforms by Al–Si–Mg alloys. *Materials Letters*, 57.26: 4332-4335, 2003.
- [49] RODRIGUEZ-REYES, M., et al. Effect of Mg loss on the kinetics of pressureless infiltration in the processing of Al–Si–Mg/SiC p composites. *Materials Letters*, 57.13: 2081-2089, 2003.

- [50] LIANXI, H., et al. Investigation on the kinetics of infiltration of liquid aluminium into an alumina fibrous preform. *Journal of Materials Processing Technology*, 94.2: 227-230, 1999.
- [51] CONTRERAS, A.; LOPEZ, V. H.; BEDOLLA, E. Mg/TiC composites manufactured by pressureless melt infiltration. *Scripta materialia*, 51.3: 249-253, 2004.
- [52] DEMIR, A.; ALTINKOK, N., Effect of gas pressure infiltration on microstructure and bending strength of porous Al₂O₃/SiC-reinforced aluminium matrix composites. *Composites science and technology*, 64.13: 2067-2074, 2004.
- [53] DEMIR, A., ALTINKOK, N., ÇALISKAN, M., TATLI., Z., SOY., U., Kompozit Malzeme Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi ve Simülasyonu, TÜBİTAK 104M312, Araştırma Projesi Final Raporu, 2008.
- [54] CHAWLA, N., Metal Matrix Composites, pp.116-117, 2006.
- [55] ALTINKOK, N., Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Al₂O₃/SiC Partikül Destekli Metal Matriks Kompozit Üretimi ve Mekanik Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2002.
- [56] CHAWLA, K. K. *Composite materials: science and engineering*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [57] HULL, D.; CLYNE, T. W. *An introduction to composite materials*. Cambridge university press, pp.199, 1996.
- [58] CANAKCI, A., AA2024 Matrisli B4C Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Vorteks Yöntemiyle Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2006.
- [59] ALPAS, A. T. And ZHANG, J., “Wetting of ceramic particulates with liquid aluminum alloys; part 1, Experimental Techniques”, *Met. Trans.*, 20 (A): 527, 1989.

- [60] KRADER, G., Ed., Metal Matrix Composite, Academic Pres, 4 : 58-90, 1974.
- [61] CAMTAKAN, Z., Magnezyum Oksit Nanokristallerinin Hazırlanması, Karakterizasyonu ve Uranyum Gideriminde Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi, İzmir, 2009.
- [62] ERYILMAZ, Ö.; ÖZGEN, S. Magnezya-alümina spinel dökülebilir refrakterler, 10. *Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı, İstanbul*, 3: 1659-1666, 2000.
- [63] HULL, D., “An Introduction to Composite Materials”, Cambridge University Pres, 71-79, 1992.
- [64] DELANNAY, F.; FROYEN, L.; DERUYTTERE, A., The wetting of solids by molten metals and its relation to the preparation of metal-matrix composites. *Journal of materials science*, 22.1: 1-16, 1987.
- [65] BROWN, M., FOX, D., HAFER, M., HİGGİNS, D. and SOLOS, E., Technology Based Enhancement Program: Metal Matrix Composites, BDM Federal Inc., Virginia, 218p, 1993.
- [66] KING, F., Aluminium and its alloys. *Ellis Horwood, Market Cross House, Cooper Street, Chichester, West Sussex PO 19 1 EB, UK*, 1987. 313, 1987.
- [67] MARŞOĞLU, M.M., Alüminyum kullanım alanları ve serileri, 1- 37, İstanbul, 2012.
- [68] SAFAK, H.E., Yüzeyi PVD Yöntemiyle Kaplanmış Metallerde Tribolojik Özelliklerin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi, İzmir, 2008.
- [69] HENRY, J. R., Electroless (Autocatalytic) Plating, Metal Finishing Guidebook and Directory Issue, 95: 412-416, 1997.
- [70] FIELDS, W. D.; DUNCAN, R. N.; ZICKGRAF, J. R. Electroless nickel plating. *Plating and Electropolishing*, 219-243, 1984.

- [71] ERBİL, T. İki Yeni Mühendislik Yüzey İşlemi: Electroless Nickel ve Hard Anodizing. *Metallurji Dergisi*, 86: 42-46, 1993.
- [72] SOY, U., SiC/B₄C Takviyeli Metal Matriks Kompozit Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi. Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2009.
- [73] YONAR, İ.K., Galvanoteknik, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, 1979.
- [74] TEKMEK, Ç., Metal Matriks Kompozitlerin Sıkıştırılmalı Döküm Yöntemi ile Üretimi, Doktora Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2006.
- [75] MATİK, U., ÇITAK, R., Toz Metallurjisi İle Üretilmiş Demir Esaslı Parçalarda Asidik ve Bazik Akımsız Nikel Çözeltilerin Kaplama Kalitesine Etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20.2, 2005.
- [76] CHANG, S. Y., et al. Processing copper and silver matrix composites by electroless plating and hot pressing. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 30.4: 1119-1136, 1999.
- [77] <http://www.umms.sav.sk/> (Erişim tarihi: 11/06/2017)
- [78] ZHANG, Q.; WU, M.; ZHAO, Wen. Electroless nickel plating on hollow glass microspheres. *Surface and Coatings Technology*, 192.2: 213-219, 2005.
- [79] CAM, E., Akımsız Nikel Kaplama Banyolarının Karakteristiklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2009.
- [80] FIELDS, W. D.; DUNCAN, R. N.; ZICKGRAF, J. R. Electroless nickel plating. *Plating and Electropolishing*, 219-243, 1984.
- [81] MATİK, U. Structural and wear properties of heat-treated electroless Ni-P alloy and Ni-P-Si 3 N 4 composite coatings on iron based PM compacts. *Surface and Coatings Technology*, 302: 528-534, 2016.
- [82] PARKINSON, R. Properties and applications of electroless nickel. *Nickel Development Institute*, 37, 1997.

- [83] JIAQIANG, G., et al. Crystallization temperature of amorphous electroless nickel–phosphorus alloys. *Materials Letters*, 59.13: 1665-1669, 2005.
- [84] SHARMA, Rahul; AGARWALA, R. C.; AGARWALA, Vijaya. Development of electroless (Ni-P)/BaNi 0.4 Ti 0.4 Fe 11.2 O 19 nanocomposite powder for enhanced microwave absorption. *Journal of Alloys and Compounds*, 467.1: 357-365, 2009.
- [85] LIN, C. J.; HE, J. L. Cavitation erosion behavior of electroless nickel-plating on AISI 1045 steel. *Wear*, 259.1: 154-159, 2005.
- [86] YAZICIOGLU, Y., İleri teknoloji kaplamalarının metalik malzemeler üzerine uygulanması ve fonksiyonel özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi, İstanbul, 2007.
- [87] CALIN, R.; CITAK, R. Effect of powder size on infiltration height in producing MgO reinforced Al matrix composite by vacuum infiltration method. In: *Materials science forum*. Trans Tech Publications, p. 797-800, 2007.
- [88] CALIN, R., CITAK, R., MgO-Al Kompozitlerin İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretilmesinde MgO Miktarının İnfiltrasyon Mesafesine Etkisi, Yeni Türkiye Bilim ve Teknoloji Özel Sayısı Yıl 22, Sayı 90, 373-377 ISSN 1300-4174 Ankara, Temmuz-Aralık, 2016.
- [89] CALIN, R.; CITAK, R. Effect of Mg content in matrix on infiltration height in producing MgO/Al composite by vacuum infiltration method. In: *Materials science forum*. Trans Tech Publications, p. 611-614, 2007.
- [90] DURMAN, M., AKBULUT, H. ve YILMAZ, F., Saffil (δ - Al₂O₃) Fiber Takviyeli Alüminyum-Silisyum Metal Matriks Kompozitlerin Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi, 7. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 4-8 Mayıs, Ankara, 1993.

- [91] KURNAZ, S. C., AKBULUT, H., ve DURMAN, M., Saffil (δ - Al_2O_3) Fiber Çinko-Alüminyum Alaşımı (ZA.12) Metal Matriks Kompozitlerin İnfiltrasyon Yöntemi ile Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi, 7. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 4-8 Mayıs, Ankara, 1155-1161 1993.
- [92] CANDAN, E.; ATKINSON, H. V.; JONES, H. Effect of ceramic particle size and applied pressure on time to complete infiltration of liquid aluminium into SiC powder compacts. *Journal of materials science*, 35.19: 4955-4960, 2000.
- [93] <http://www.makeitfrom.com> (Erişim Tarihi: 11/06/2017)
- [94] ALTUNER, S., Y_2O_3 Kaplanmış Al_2O_3 Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Üretimi ve Aşınma Davranışlarının Karakterizasyonu, Doktora Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2011.
- [95] CHONG, S. Y.; ATKINSON, H. V.; JONES, H. Effect of ceramic particle size, melt superheat, impurities and alloy conditions on threshold pressure for infiltration on SiC powder compacts by aluminium-based melts. *Materials Science and Engineering: A*, 173.1-2: 233-237, 1993.
- [96] LATIEF, F. H., et al. Fabrication of exfoliated graphite nanoplatelets-reinforced aluminum composites and evaluating their mechanical properties and corrosion behavior. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 92.2: 485-492, 2011.
- [97] CHI, N. V., et al. Formation of Metastable Phases of the NiAl System by Mechanical Milling. 2004.
- [98] <https://www.researchgate.net> (Erişim Tarihi: 11/06/2017)

EKLER

EK 1: AA 1070 tozu analiz sonucu

