



T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AA6061 MATRİSLİ SiC TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN
VAKUM İNFİLTRASYON YÖNTEMİYLE ÜRETİMİNDE
MEKANİK TİTREŞİMİN İNFİLTRASYON DAVRANIŞI
ÜZERİNDE ETKİSİ

MURAT ARI
SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Recep ÇALIN

KIRIKKALE-2023



T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AA6061 MATRİSLİ SiC TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN
VAKUM İNFİLTRASYON YÖNTEMİYLE ÜRETİMİNDE
MEKANİK TİTREŞİMİN İNFİLTRASYON DAVRANIŞI
ÜZERİNDE ETKİSİ**

MURAT ARI
SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Recep ÇALIN

KIRIKKALE-2023

KABUL ONAY SAYFASI

MURAT ARI tarafından hazırlanan “AA6061 MATRİSLİ SiC TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN VAKUM İNFİLTASYON YÖNTEMİYLE ÜRETİMİNDE MEKANİK TİTREŞİMİN İNFİLTASYON DAVRANIŞI ÜZERİNDE ETKİSİ” adlı tez çalışması, aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Savunma Teknolojileri Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Unvanı Prof. Dr. Recep ÇALIN

İmza.....

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum .

Başkan : Prof. Dr. Ahmet GÜRAL

İmza.....

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Üye : Doç. Dr. Hanifi ÇİNİCİ

İmza.....

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Tez Savunma Tarihi: 29/05/2023

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Recep ÇALIN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYANI

Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

(İmza)

Murat ARI

29.05.2023

ÖZET

AA6061 MATRİSLİ SiC TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN VAKUM İNFİLTASYON YÖNTEMİYLE ÜRETİMİNDE MEKANİK TİTREŞİMİN İNFİLTASYON DAVRANIŞI ÜZERİNDE ETKİSİ

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr Recep ÇALIN

Haziran 2023, 55 sayfa

Seramik takviyeli Al matrisli kompozitler Al alaşımlarının mekanik değerlerini arttırdığı bilinmektedir. Daha çok askeri alanda, otomotiv sektöründe ve denizcilikte dayanıklı ve ağırlıkça az malzemelere olan gereksinim bu çalışmalara yön vermiştir. Al alaşımlarına bu talebin en büyük nedeni çelikten daha hafif olması ve aynı özellikleri gösterebilmesidir. Seramik matrisli Al matrisli kompozitler karıştırmalı döküm, toz metalurjisi ve infiltrasyon gibi bir çok yöntemle üretilmektedir. Bu çalışmada kullandığımız vakum infiltrasyon metodunda; gözenekli takviye içine infiltrasyon işlemi sıvı matris ters basınç metoduyla yapılmaktadır. Yöntem basit ve oldukça ekonomiktir. Bu çalışmada % 5SiC takviyeli Al-6061 matrisli kompozitlerin titreşimle vakum infiltrasyonunda titreşim şiddetinin kompozit numunelerin gözenek, mikroyapı ve sertlik oranları incelenmiştir. Vakum infiltrasyon işleminde içerisinde %5 oranında SiC bulunan tüplere sıvı AA-6061 metali titreşimsiz, 500, 1000 ve 1500 Hz titreşimlerde vakumla infiltre edilmiştir. Mikroyapı analizlerine bakıldığında 500 Hz numunede takviye elemanı dağılımının homojenliğinin en yüksek olduğu görülmüş. En yüksek sertlik değeri de 500 Hz titreşimde infiltre edilen numunenin matrisinden alınmıştır. Gözeneklilik oranlarına bakıldığında artan titreşim oranıyla düşmüştür. En düşük gözenek oranı 1500 Hz titreşimde görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, SiC, vakum, titreşim, metal matrisli kompozit, alüminyum matrisli kompozit

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF VIBRATION IN THE PRODUCTION
OF SiC REINFORCED AA 6061 MATRIX COMPOSITE MATERIALS BY
VACUUM INFILTRATION METHOD
MURAT ARI

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Defence Technologies MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Recep ÇALIN

June 2023, 55 pages

Ceramic reinforced Al matrix composites are known to increase the mechanical values of Al alloys. The need for light and durable materials, especially in the aerospace, military application areas, automotive and maritime industries, constitutes an important force for these researches. High temperature values and properties to dimensional elements are important factors in composite properties. The biggest reason for this demand for Al alloys is that they are lighter than steel and can show the same properties. Ceramic matrix Al matrix composites are produced by many methods such as mixed casting and infiltration. In the vacuum infiltration method we used in this study; the liquid matrix infiltrates into the porous reinforcement by applying a negative pressure. The method is simple and quite economical. In this study, pore, microstructure and hardness ratios of vibration intensity of 5%SiC reinforced Al-6061 matrix composites of composite samples were investigated in vacuum infiltration with vibration. In the vacuum infiltration process, liquid AA-6061 metal was infiltrated with vacuum at 500, 1000 and 1500 Hz vibrations without vibration into the tubes containing 5% SiC. According to the microstructure analysis, it was seen that the homogeneity of the reinforcement element distribution was the highest in the 500 Hz sample. The highest hardness was observed in the sample infiltrated at 500 Hz vibration. Considering the porosity ratios, it decreased with increasing vibration rate. The lowest pore ratio was observed at 1500 Hz vibration.

Keywords: Aluminum, SiC, vacuum, vibration, metal matrix composite, aluminum matrix composite

ÖNSÖZ

Tez çalışmam sırasında yönlendirici katkılarından, emeklerinden ve gösterdiği sabırdan dolayı tez danışmanım Prof. Dr. Recep ÇALIN'a, ek olarak deney süresinde destek veren Arş. Gör. Naci Arda TANIŞ'a, ve Arş. Gör. Onur OKUR'a teşekkürlerimi sunarım. Annem ve babam Gönül-İsmail ARI, kardeşlerim İlknur TEKİN – Gülnur ÖZŞEKER'e desteklerinden dolayı teşekkür ediyorum.

2023 Murat ARI

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KOMPOZİT MALZEMELER	3
2.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	4
2.1.1. Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler	4
2.1.2. Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler.....	5
2.2. Metal Matrisli Kompozitler	6
2.3. MMK'ların Üretim Metotları	8
2.3.1. Sıvı Faz Üretim Metotları	9
2.3.2. Karıştırma Döküm Metodu	10
2.3.3. İnfiltrasyon Metodu.....	11
2.3.3.1. Vakum İnfiltrasyon	12
2.3.4. Basınçlı Döküm Metodu	14
2.3.5. Püskürterek Biriktirme Metodu.....	14
2.3.6. Katı Faz Üretim Metodları	15
2.3.7. Toz Metalürjisi Metodu.....	15
2.3.8. Difüzyonla Bağlama Metodu	16
2.4. İki Faz (Sıvı – Katı) Üretim Metodları	17
2.5. Biriktirme Üretim Metodu.....	17
2.6. In-situ Üretim Metodu	17
3. MATRİS MALZEMELERİ	19
3.1. Alüminyum ve Alaşımları	19

3.2. Alüminyum-Bakır-(Magnezyum) Alaşımları.....	20
3.3. Alüminyum-Magnezyum Alaşımları.....	20
3.4. Alüminyum-Silisyum Alaşımları	21
3.5. Takviye Malzemeleri.....	23
3.6. Titreşimin Etkisi	23
4. MALZEME VE METOT	25
4.1. Kullanılan Malzemeler	26
4.2. Üretim Metodu.....	26
4.3. Yoğunluk	28
4.4. Optik Mikroskop Görüntüleri.....	29
4.5. SEM Görüntüleri ve EDS Analizi	29
4.6. Sertlik Analizi.....	30
5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA	31
5.1. Gözeneklilik.....	31
5.2 Optik Mikroskop Görüntüleri.....	32
5.3. SEM ve EDS Analizleri.....	33
5.3.1. EDS Haritalama	48
5.4. Sertlik Analizi Sonuçları.....	49
6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	51
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ.....	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
4.1. AA6061 kimyasal bileşim [34]	25
4.2. AA6061 mekanik özellikler	25
5.1. Titreşim frekansına göre malzeme değerleri.....	31
5.2. Ortalama sertlik değerleri.....	49



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Metal matrisli kompozit malzeme ile üretilen ürün [8].....	4
2.2. MMK üretim metotları [17].....	8
2.3. Sıvı faz üretim metotları [1]	9
2.4. Karıştırma döküm metodu [1]	11
2.5. Vakum infiltrasyon metodu şematik gösterimi [22].....	13
2.6. Basınçlı döküm metodu [1]	14
2.7. Toz metalurjisi metodu [1]	16
2.8. Endüstriyel alanda tercih edilen mmk üretim grafiği [24]	18
2.9. Uygulama alanları [24].....	18
3.1. Al-Mg Faz diyagramı [30].....	21
3.2. Al-Si Faz diyagramı [30].....	22
4.1. Vakum infiltrasyon düzeneği.....	27
4.2. Vortex karıştırıcı titreşim cihazı	27
4.3. Üretimi yapılmış kompozit malzemeler (0 Hz - 500 Hz - 1000 Hz - 1500 Hz)	27
4.4. Gazi üniversitesi metalografi laboratuvarı	28
4.5. Sertlik ölçüm cihazı	29
4.6. JEOL JSM-6060LV	30
4.7. Sertlik ölçüm cihazı	30
5.1. Kompozitlerin Gözeneklilik – Frekans değerleri	31
5.2. Üretilen %5 SiC takviyeli Al 7075 matrisli kompozitlerin 10X optik mikroskop görüntüleri a) titreşimsiz, b) 500 Hz , c) 1000 Hz ve d) 1500 Hz	32
5.3. 0 Hz Titreşimsiz Vakum İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretilen Kompozit SEM Görüntüleri	33
5.4. Titreşimsiz üretilmiş kompozit - EDS görüntüsü	34
5.5. 0 Hz – 1 nolu alan EDS analizi	34
5.6. 0 Hz – 2 nolu alan EDS analizi	35

5.7. 0 Hz – 3 nolu alan EDS analizi	35
5.8. 0 Hz – Genel EDS analizi.....	36
5.9. 500 Hz titreşimde vakum infiltrasyon yöntemiyle üretilen kompozit sem görüntüleri	36
5.10. 500 Hz titreşimde üretilmiş kompozit - EDS görüntüsü	37
5.11. 500 Hz – 1 Nolu alan EDS analizi.....	37
5.12. 500 Hz – 2 Nolu alan EDS analizi.....	38
5.13. 500 Hz – 3 Nolu alan EDS analizi.....	38
5.14. 500 Hz – 4 Nolu alan EDS analizi.....	39
5.15. 500 Hz – 5 Nolu alan EDS analizi.....	40
5.16. 1000 Hz titreşimde vakum infiltrasyon yöntemiyle üretilen kompozit sem görüntüleri	40
5.17. 1000 Hz Titreşimde üretilmiş kompozit - EDS görüntüsü.....	41
5.18. 1000 Hz – 1 Nolu alan EDS analizi.....	42
5.19. 1000 Hz – 2 Nolu alan EDS analizi.....	42
5.20. 1000 Hz – 3 Nolu alan EDS analizi.....	43
5.21. 1000 Hz – 4 Nolu alan EDS analizi.....	43
5.22. 1000 Hz – Genel EDS analizi.....	44
5.23. 1500 Hz titreşimde vakum infiltrasyon yöntemiyle üretilen kompozit sem görüntüleri	44
5.24. 1500 Hz Titreşimde üretilmiş kompozit - EDS görüntüsü.....	45
5.25. 1500Hz – 1 Nolu alan EDS analizi.....	46
5.26. 1500 Hz – 2 Nolu alan EDS analizi.....	46
5.27. 1500 Hz – 3 Nolu alan EDS analizi.....	47
5.28. 1500 Hz – 4 Nolu alan EDS analizi.....	48
5.29. 1500 Hz – Genel EDS analizi.....	48
5.30. 500Hz titreşimle üretilen %5 SiC takviyeli AA 6061 matrisli kompozit numunenin EDS haritalama analizi	49
5.31. Ortalama numune sertlik grafikleri (HV0,2)	50

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

MMK	Metal Matrisli Kompozit
SMK	Seramik Matrisli Kompozit
PMK	Polimer Matrisli Kompozit
XRD	X Işınları Difraksiyonu
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
HV	Vickers Sertliği
SiC	Silisyum Karbür
Al / AA	Alüminyum
Zn	Çinko
Cu	Bakır
Mg	Magnezyum
Ni	Nikel
Ti	Titanyum
Gh	Havadaki Ağırlık
Gs	Sudaki Ağırlık
ρ_d	Deneysel Yoğunluk
ρ_{su}	Suyun Yoğunluğu
ρ_t	Teorik Yoğunluk

1. GİRİŞ

Geleneksel malzemeler, endüstrinin gelişimine bağlı olarak, günümüz teknolojisinin ihtiyaçlarını tek başına karşılayamaz duruma gelmiştir. 1900'lü yıllardan bugüne kadar kompozit malzemelerin üretimi ve bu malzemelerin özellikleri hakkında araştırmaları faaliyetleri yapılmaya devam etmektedir. Havacılık ve askeri uygulama alanları öncelikli olmak üzere, denizcilik ve otomotiv endüstrisinde dayanıklı ve hafif malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Kompozit malzemelerin gelişiminde boyutsal kararlılık ve yüksek sıcaklık dayanımı önemli bir etkidir. Son dönemde, kompozit malzemeler istenilen özellikleri sağlayamadığından dolayı hibrit kompozit üretimi ihtiyaç hasıl olmaktadır. Alüminyum matrisli kompozit malzemelerin günümüzde en çok kullanılan Kompozit malzeme türlerinden bir tanesi olduğu bilinmektedir. Bu malzemenin %70'e kadar takviye hacim oranına sahip olduğu bilinmektedir. Öncelikli olarak yüksek performansın ve düşük ağırlığın talep edildiği uygulamalarda tercih edilmektedirler. [1] [2] [3]

Kompozit malzemeler yüksek mukavemet, esneklik modülü ve kırılma tokluğu, iyi aşınma ve yorulma dayanımı gibi üstün mekanik özellikleri, yüksek mukavemet-ağırlık ve esneklik modülü-ağırlık oranları, korozyon dayanımı, mükemmel ısı ve akustik yalıtım/iletim özellikleri, tasarıma yatkınlıkları gibi çeşitli nedenlerle giderek artan oranda endüstriyel kullanım alanları bulmaktadır.

Kompozit malzemeler farklı şekillerde sınıflandırılabilir. MMK'lar sermet, metalik köpük, partikül veya fiber takviyeli metaller gibi geniş bir malzeme grubunu oluşturmaktadır. MMK'lar yerlerine kullanıldıkları metal ve diğer yekpare malzemelere oranla önemli avantajlara sahiptir; düşük yoğunluk,tekrar üretilebilir iç yapı ve özellikler, Yüksek mukavemet ve esneklik modülü, yüksek tokluk ve darbe dayanımı v.b.

Genel olarak bakıldığında metal matrisli kompozitlerin, metallere göre üstün olan temel özellikleri şöyle sıralanmaktadır; daha yüksek aşınma direnci, daha iyi yorulma direnci, düşük ısı genleşme katsayısı, yüksek sıcaklıklarda mukavemetini koruyabilme.

Metal matrisli kompozitlerde, bir metal, kendine ait çekici mühendislik özelliklerine sahip yeni bir malzeme üretmek için genellikle metalik olmayan başka faz ile birleştirilir. 1980'lerde ve 1990'larda çok araştırma konusu olan bu malzeme sınıfı, son on yılda farklılık yönünden önemli ölçüde arttı. Bakır matrisli kompozitler, katmanlı kompozitler, yüksek iletkenlikli kompozitler, nano ölçekli kompozitler, mikro hücreli metaller ve biyo-türevli kompozitler, silisyum matrisli kompozitler v.b kullanılmaya başlandı. [4]



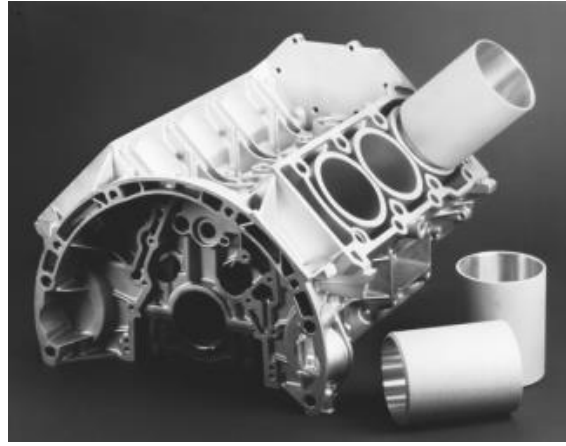
2. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemelerin, iki veya daha fazla bileşenden oluşan malzemeler olduğu bilinmektedir. Kimyasal olarak birbirinden farklı olup, tek bir malzeme özelliği göstermektedirler. Kompozit malzemeyi oluşturan kimyasalların her biri tek başına kullanıldığında elde edilmesi mümkün olmayan bazı özellikleri, birlikte kullanıldığında elde etmek mümkün olmaktadır. Dolayısıyla buda istenilen uygulama alanı için gerekli özelliklere sahip yeni malzemelerin tasarlanmasını ve üretilmesini mümkün kılmaktadır. Buna bağlı olarak günümüzde bilimsel çalışmaların monolitik (tek tip) takviyeli kompozit malzemelerden uzaklaşarak hibrit kompozit malzemelere doğru hızla geliştiği izlenmektedir. Genel olarak kompozit malzemelerin üretimi, bir veya daha fazla süreksiz fazın, sürekli bir faz içerisinde dağıtılması yoluyla olduğu bilinmektedir. Süreksiz faz, genellikle olarak sürekli fazdan daha iyi özelliğe sahip olduğundan dolayı, takviye edici ve kuvvetlendirici malzeme olarak bilinmektedir. Sürekli fazın ise matris olarak isimlendirildiği bilinmektedir. Matris malzemesinin görevlerinden biri de şekilsel bütünlüğünü korumak ve takviyeleri bir arada tutmaktır. Takviye malzemeleri de, matris malzemesinin iyileştirilmesi için kullanılmaktadır. [5] [7]

Kompozit malzemelerinin kırılma tokluğu, yorulma dayanımı, yüksek mukavemet, iyi aşınma ve esneklik modülü vb. üstün mekanik özellikleri, esneklik modülü-ağırlık oranı, yüksek mukavemet-ağırlık oranı, mükemmel ısı özelliği, korozyon dayanımı, akustik iletim/yalıtım özelliği ve tasarıma yatkınlıkları gibi özellikleri nedeniyle endüstriyel alanlarda kullanımının arttığı bilinmektedir. Kompozit malzemeler, farklı ana dokusunu oluşturan matris türüne bağlı olarak seramik, metal ve polimer olmak üzere üç ana sınıfa ayrılmaktadır. [6]

Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri üzerinde; matris ve takviye malzemesinin hacim oranı, takviye malzemesinin ve kompozit yapı içerisindeki yönelmesi, takviye malzemesinin şekli ve yapısı, matris ve takviye bileşenleri arasındaki bağın özellikleri ve yapıyı oluşturan matris ve takviye malzemelerinin özellikleri gibi değişkenler etki etmektedir.

Kompozit yapıdaki matris ve onun takviye fazı, birbiri içinde çözünmemesi gerekmektedir. Fakat çok az bir miktar çözünürlük, matris ve takviye arasında güçlü bağın oluşmakta ve bu bağ olumlu yönde etkilemektedir. Bazı durumlarda matris ve takviye arasında doğrudan bir bağ oluşabilmektedir. Matris ve takviye arasındaki bağ iyi olmadığı durumda, bağlanmayı geliştirmek için takviye malzemesinin üzerine matris ile bağ oluşturabilen malzeme kaplanabilmektedir. Matris-takviye bağının ara yüzey yapısı ve bu yapının özellikleri, matris üzerine etkiyen gerilmelerin takviye malzemesine aktarılması ara yüzey aracılığıyla gerçekleştiğinden dolayı, kompozit malzemenin fiziksel ve mekanik özelliğinin önemli ölçüde etkilendiği bilinmektedir.[6][7]



Şekil 2.1. Metal matrisli kompozit malzeme ile üretilen ürün [8]

2.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler, takviye elemanının tipine veya matris malzemesine göre sınıflandırılmaktadır. Matris malzemesine göre malzemeler;

- Polimer matrisli kompozit malzemeler
- Metal matrisli kompozit malzemeler
- Seramik matrisli kompozit malzemeler

olmak üzere üçe ayrılmaktadır.

2.1.1. Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler

Polimer matrisli kompozit malzemeler, metal ve seramik malzemelerin yerlerine mekanik dayanımı ve hafifliğinin yanı sıra, insan dokuları ile de uyum sağlayan,

sertlik derecesi ayarlanabilen ve yapay doku, organ uygulamalarında; basınç ve optik elyaf ile elektrik üretebilen 'piezo elektrik' özellikli ve istenildiği şekilde işlenilebilen özel sistemlerin yapımında kullanılmaktadır. Bu malzemelerde, yüksek aşınma dirençleri, kopma mukavemetleri ve kimyasal dirençlerinin yüksek olması sebebiyle sıklıkla termoset matrisler kullanılmaktadır. Yüksek maliyeti ve üretimdeki zorluk nedeniyle matris olarak kullanılan termoplastikler sınırlıdır. Polimer matrisli kompozitlerin takviye elemanı olarak çoğunlukla aramid, karbon ve fiber kullanılmaktadır.[6][9]

2.1.2. Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler

Genel olarak seramik malzemeler çok çekici bir özellik paketine sahiptir: çok yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemet ve yüksek sertlik, kimyasal inertlik, düşük yoğunluk vb. Kusurların varlığında (yüzeysel veya dahili) yıkıcı arızalara eğilimlidirler. Termal şoka karşı son derece hassastırlar. İmalat ve hizmet sırasında kolayca hasar görebilirler. Bu nedenle, seramik matrisli kompozitlerde (SMK) en önemli düşüncenin, seramiği içlerine lifler ekleyerek sertleştirmek ve böylece yıkıcı bir arıza riski olmadan seramik malzemelerin çekici yüksek sıcaklık mukavemetinden ve çevresel direncinden yararlanmak olduğu anlaşılabilir. SMK'lar ve diğer kompozitler arasında bazı temel farklılıklar olduğunu en baştan belirtmekte fayda var. Seramik olmayan matris kompozitlerdeki genel felsefe, elyafın uygulanan yükün daha büyük bir kısmını taşımasıdır. Bu yük dağılımı, elyaf ve matris elastik modüllerinin E f/E m oranına bağlıdır. Seramik olmayan matrisli kompozitlerde bu oran çok yüksek olabilirken, SMK'larda oldukça düşük ve 1'e kadar düşebilir. [10] [11] [12]

Seramik matrisli kompozit malzemelerin yüksek sıcaklıkta çalışması gereken parçalarda kullanıldığı bilinmektedir. Sert ve kırılındırlar. Çok düşük kopma uzaması ile düşük tokluğa sahiptirler. Termal şoklara karşı dayanıksız oldukları bilinen Seramik matrisli kompozit malzemeler, takviye malzemesi ile takviye edilmektedirler. Matris malzemesi olarak da en yaygın olanlar; SiC, B₄C, Al₂O₃ ve Si₃N₄ malzemeleridir. Al₂O₃ ve SiC gibi seramik malzemeler genellikle fiber formuna getirilerek kullanılmaktadır.

Metal matrisli kompozit malzemeler ise; yüksek elastiklik modülü, düşük termal genleşme katsayısı, yüksek sertlik, mukavemetin yüksek oluşu, aşınma değeri yüksek ve kırılma direnci gibi özelliklere sahip, dikkat çeken malzeme gruplarıdır.[7]

2.2. Metal Matrisli Kompozitler

1960'lı yılların ilk zamanları, standart kullanım sıcaklıklarının üzerinde sıcaklıklarda kullanılacak ve yüksek mukavemet özelliğine sahip malzemelere ihtiyaç duyulması sebebiyle geliştirilmiştir.

Bu malzemeler, fiber takviyeli metaller, sermet, partikül veya metalik köpük gibi geniş malzeme grubu oluşturmaktadır. MMK'lar önemli avantajlara sahiptir. Bunlar: [13]

- Yüksek mukavemet ve esneklik modülü,
- Sıcaklık değişikliklerine veya ısı şoka karşı düşük hassasiyet,
- Düşük yoğunluk,
- Yüksek elektriksel iletkenlik,
- Yüksek ısı iletkenlik,
- Yüksek tokluk dayanımı,
- Yüksek darbe dayanımı,
- Yüksek yüzey sertliği ve yüzey çatlaklarına karşı düşük hassasiyet,
- Tekrar üretilebilir iç yapı.

Genele bakıldığında metal matrisli kompozitler, metal malzemelere istinaden iyi olan temel özellikleri aşağıda sıralanmaktadır:

- Yüksek mukavemet/yoğunluk oranı (spesifik mukavemet),
- Düşük ısı genleşme katsayısı,
- Daha iyi yorulma direnci,
- Yüksek sıcaklıklarda mukavemetini koruyabilme
- Daha yüksek aşınma direnci,

- Düşük sürtünme oranı gibi daha iyi yüksek sıcaklık özellikleridir.

Bu malzemelerin üstün özellikleri olduğu kadar, sınırlayıcı özellikleri de bulunmaktadır. Ana sınırlayıcı özellikleri;

- Yüksek maliyetli üretim sistemi ve teçhizata ihtiyaç duyulmaz,
- Sünekliğinin düşük olması,
- Sürekli fiber takviyesinin söz konusu olduğu durumlarda, kompozit üretimi için sade yapısı olmayan ve kolay olmayan üretim süreçlerinin kullanılması,
- Firmaların ve üreticilerin bu alandaki bilgi birikiminin az olması.

Matristen beklenen özellikler; hafiflik, kırılma tokluğu, korozyon direnci ve takviye elemanı ile uyumluluk olarak sıralanabilmektedir. Matris malzemeler, takviye elemanlarına yük aktarımı yaparken aynı zamanda onları aşınma ve korozyona karşı korumaktadır. Kırılgan çatlakların yayılmasını engeller. Bu malzemeler, kompozit yapının kayma, akma, basma, dielektrik, sürünme ve termo mekanik özelliklerinde belirleyici rol oynamaktadırlar. [13] [14]

Bu yapılarda yaygın olarak tercih edilen matris malzemeler, iyi mekanik özelliklere sahip, yüksek tokluk ve düşük yoğunlukta hafif metaller ve alaşımlardır. Bu metal alaşımları, özgül ağırlık oranının iyi olması sebebiyle hafif yapılarda tercih edilmektedir. Atmosfere karşı korozyon dayanımının da yüksek olması da bir diğer tercih sebebidir. Genellikle çinko (Zn), alüminyum (Al), bakır (Cu), magnezyum (Mg), nikel (Ni) ve titanyum (Ti) gibi metaller ve bu metallerin alaşımları, metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminde matris malzemesi olarak kullanıldığı bilinmektedir.[15]

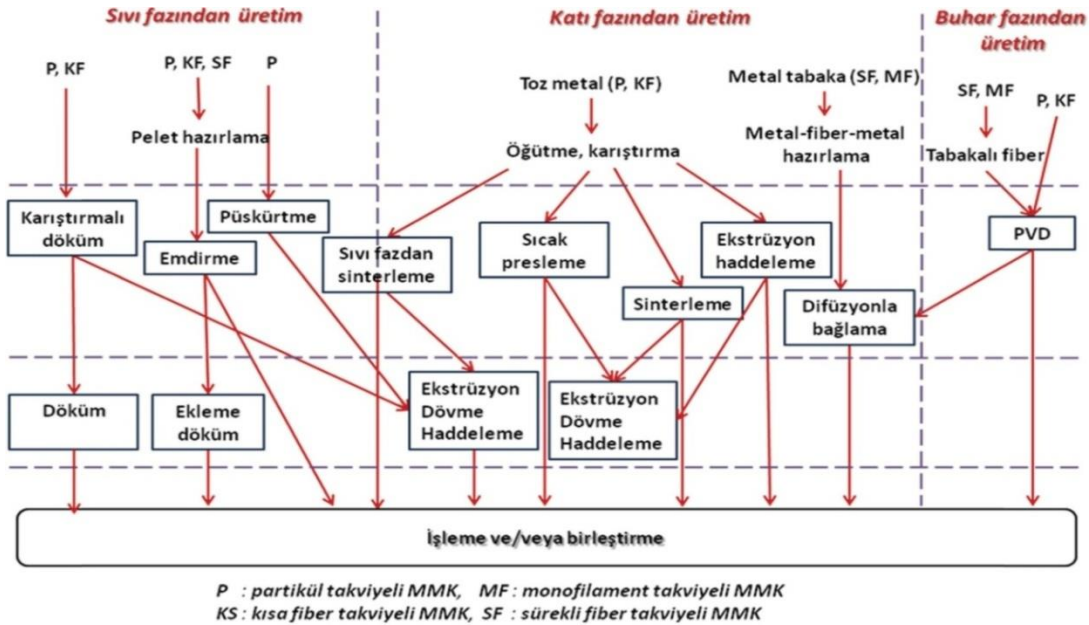
Al ve Al alaşımları en yaygın kullanılan matris malzemeleridir. Al malzemesinin doğada çok miktarda bulunması, işleme kolaylığı, hafifliği, korozyon direnci ve takviye edilebilirliği gibi de önemli özelliklere sahip olduğu bilinmektedir. Al alaşımları ise; hafif, birçok üretim yöntemi ile ekonomik olarak üretilebilir olmasının yanı sıra, yüksek dayanıma ve korozyon direncine sahipliği nedeniyle tercih edilmektedir. Al ve alaşımlarının mevcut özelliklerini, takviye elemanı kullanarak geliştirmek mümkün olup, buna bağlı olarak ısıl kararlılık, çekme mukavemeti, üretilebilirlik ve ergime sıcaklığı vb. özelliklerinin iyileştirilmesini de mümkün kılmaktadır. [16]

2.3. MMK'ların Üretim Metotları

Üretilen kompozit malzemeden beklenen özellikler dikkate alınarak üretim yöntemi belirlenmektedir. Bu özellikler;

- Takviye malzemesinin şekli,
- Matris ve takviye malzemelerinin ek işlem ihtiyacı,
- Matris-takviye ara yüzey bağlantısının sağlanması,
- Elde edilecek üründen istenen boyutsal özellikleri,
- Matris malzemesi ile takviye malzemesi arasındaki olası tepkimeler,
- Kullanım sıcaklık aralıkları,
- Takviyenin matris malzemesi içerisinde eş dağılımı,
- Matris malzemesi ile takviye malzemesi arasındaki uyum.

Üretimde farklı tekniklerin geliştirilmesi sırasında matrisin; sıvı, katı veya buhar fazında bulunmasına bağlı olarak, MMK'lerin üretim metotlarını Şekil 2.2'deki gibi sınıflandırmak mümkün olmaktadır. [1] [13]



Şekil 2.2. MMK üretim metotları [17]

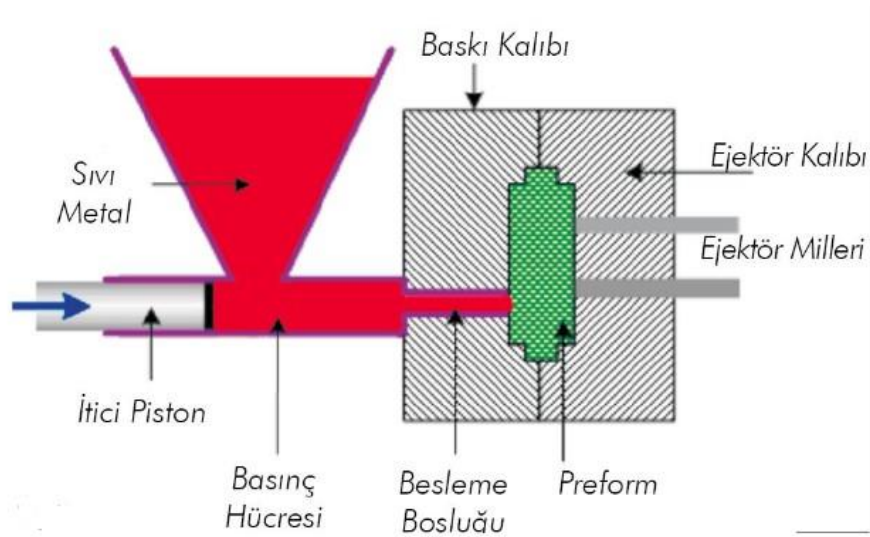
Malzemelerin mekanik özelliklerini ve mikro yapılarını optimize etme uğraşları sonucu her yıl üretim teknolojileri evrim geçirmekte ve buna bağlı olarak gelişim göstermektedir. Üretim yöntemleri metalik matrisin üretim esnasındaki sıcaklığına göre sınıflandırılmakta olup, üretim yöntemlerini şu şekilde sıralayarak açıklayabiliriz. [18]

- Sıvı-katı faz (iki faz) üretim yöntemleri,
- Katı faz üretim metotları,
- Sıvı faz üretim metotları,
- In-situ üretim yöntemi
- Biriktirme üretim yöntemleridir.

2.3.1. Sıvı Faz Üretim Metotları

Bu üretim yönteminin günümüzde katı hal (özellikle toz metalurjisi) yönteminden daha ekonomik, teknik öneme sahip ve daha avantajlı olduğu görülmektedir. Sıvı faz yöntemi ile üretim üçe ayrılmaktadır.

- Sıkıştırma veya basınçlı döküm,
- İnfiltrasyon,
- Compo-casting veya karıştırma dökümdür.



Şekil 2.3. Sıvı faz üretim metotları [1]

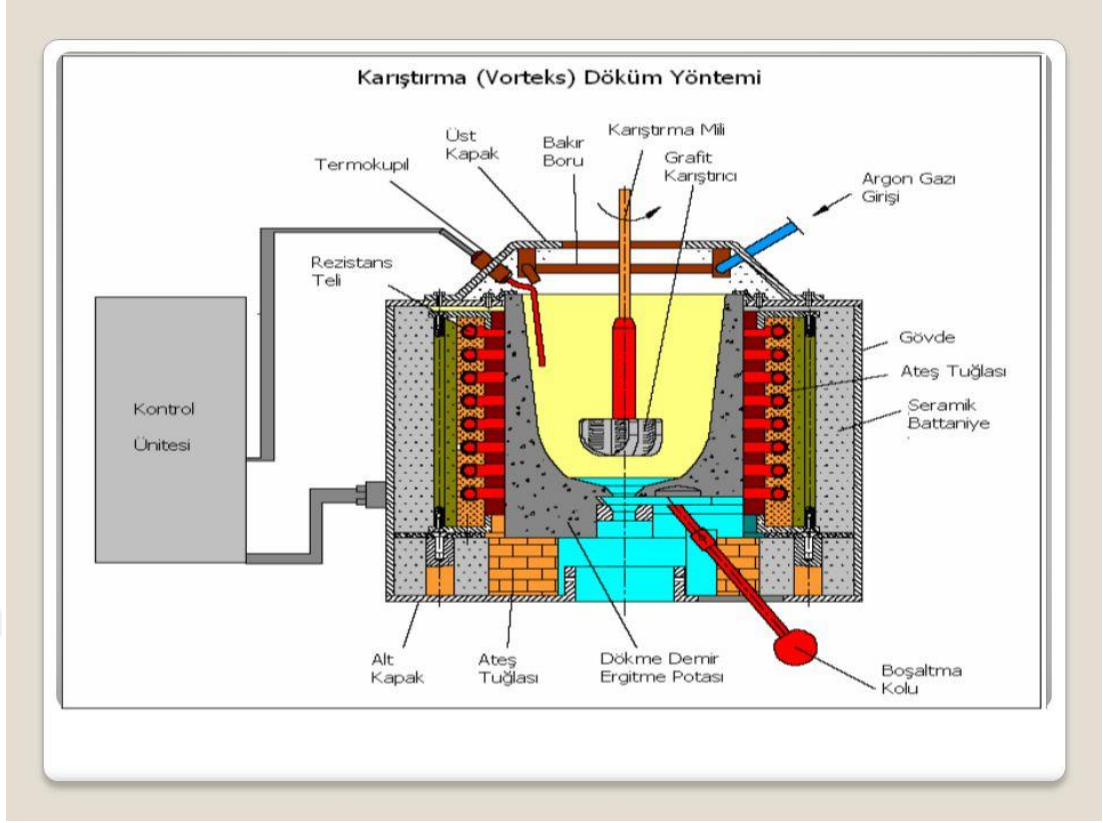
2.3.2. Karıştırma Döküm Metodu

Bu yöntem, karıştırılan ergimiş metalin içine seramik partikülün katılması ile partikülün homojen dağılabilmesi için yapılan partikül besleme işleminin tamamlanması ile karışımın karıştırılması ve bu karışıma ergiyik karışımın dökülmesini içeren üretim yöntemidir. Özellikle endüstriyel açıdan bu yöntem vadedilmektedir. Yüksek miktarda esnek ve basit üretime imkan sağlaması başlıca üstün özelliklerindedir. Yanı sıra geleneksel metal üretim yöntemi kullanıldığından, ürünün son maliyetinin de az olduğu bilinmektedir. Sıvı metalürji tekniği, metal matrisli kompozit malzemelerin üretim yöntemlerinin arasındaki en ekonomik yöntemdir ve daha büyük boyutlarda malzeme üretimine de olanak sağladığı bilinmektedir. [19]

Bu metot ile hazırlanan malzemelerde, takviye ve matris malzemesi arasındaki dikkat edilmesi gereken faktörler şunlardır;

- Islatılabilirlik,
- Kimyasal reaksiyonlar,
- Takviye elemanlarının homojen dağıtılma zorluğu,
- Döküm metal matrisli kompozit malzemelerdeki gözeneklilik.

Üretimi yapılan kompozit malzemelerinin ideal özelliklerini kazanabilmesi için; takviye elemanlarının matris alaşımları içinde homojen dağılabilmesi ve aralarındaki ıslatılabilirlik özelliğinin optimize edilebilmesi gerekmektedir.



Şekil 2.4. Karıştırma döküm metodu [1]

2.3.3. İnfiltrasyon Metodu

Bu metot, mühendislik alanında ve doğada pek çok farklı yolla kendini gösterebilmektedir. Örneğin; petrolün topraktan çıkarılması ya da yağmur yağdığı anda süngerin yağmur suyu ile dolması vb. olaylar infiltrasyonun neticesidir.

Metal matrisli kompozit malzemeler için uygun olan en iyi üretim metotlarından biri de Sıvı-metal infiltrasyon teknikleridir. Dış basınç göz önünde bulundurularak sıvı-metal infiltrasyon yöntemi aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir.

1. Basıncsız,
2. Basıncılı kokil,
3. Vakum,
4. Basıncı yardımcı hassas döküm,
5. Santrifüj,
6. Elektromagnetik,
7. Mekanik basınçlı,

8. Gaz basınçlı,
9. Ultrasonik ve,
10. Direk veya dolaylı sıkıştırırmalı infiltrasyonlardır.

2.3.3.1. Vakum İnfiltasyon

Silindir gömlekleri, otomobil motor pistonları, karmaşık şekilli parçalar ve motor bloğunun, basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretimi esnasında yüksek basınca uğrayan preformda (ön şekillendirilmiş yapıda) oluşan deformasyon nedeniyle düşük basınçlı (vakum) infiltrasyon yöntemi ortaya çıkarılmıştır. Bu yöntem üretim maliyetlerinin düşürülmesine de olanak sağlamaktadır.

Vakum infiltrasyon yönteminde; sıvı matrise, olumsuz basınç uygulanarak, gözenekli takviye içine infiltre edilmesi sağlanmaktadır. Yöntem basit olup, oldukça da ekonomiktir. Şekil 2.5'te vakum infiltrasyon yöntemi şematik olarak gösterilmektedir. Bu işlemin atmosfere açık durumda yapılması, Al alaşımında halde olan sıvı matrisin yüzeyinde oksit tabakası oluşturmaktadır. Bu da takviye malzemesinin ıslatılma işleminin kolay yapılmasını engellemektedir. Sıvı matrisin içine takviye malzemenin ıslatılma işlemini kolaylaştıracak elementler ilave edilebilmekte olup, artı bir yöntem olan takviye malzeme kaplanarak infiltrasyon işlemi ile de aynı sonuç gerçekleştirilebilmektedir. [20]

İnfiltasyon metodu, devamlı veya kısa fiberden, whisker ya da partikülden üretilmiş gözenekli kompakt bir yapının içine sıvı metalin eklenmesi olarak tanımlanabilmektedir. Bu yöntemde etkin parametreler şunlardır;

- Takviye elemanın başlangıçtaki bileşimi,
- Morfolojisi, hacim oranı ve sıcaklığı,
- İnfiltre edilen metalin başlangıçtaki bileşimi ve sıcaklığı
- Dışarıdan uygulanan kuvvetin büyüklüğüdür.

Kullanım yönteme göre, metal matrisli kompozit malzemelerin takviye elemanın hacim oranı % 10-70 oranında değiştiği bilinmektedir. Bu metot ile üretilen üretim malzemelerinde bazı kademelerde gibi istenmeyen durumlar oluşabildiği görülmektedir.

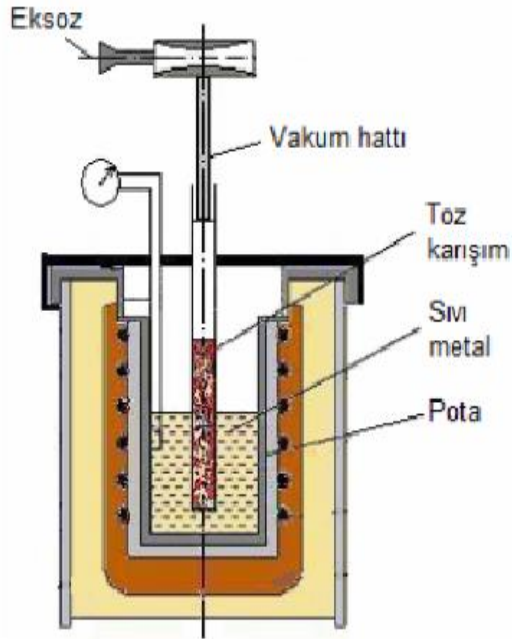
Bu yöntem genellikle basınçlı ve basınçsız infiltrasyon olarak ikiye ayrılmaktadır.

Fakat bazı kaynaklar üçüncü yöntem olarak, vakumlu infiltrasyon yöntemini de tanımlamaktadır.

Basıncısız infiltrasyon metodunda, ergimiş bir metal kuvvet olmadan infiltre işlemi yapılmaktadır. Bu tekniğin uygulama esnasında, takviye elemanlarının hacim oranlarının kolayca kontrol edilebilmesi ve pahalı ekipman kullanılmaması gibi özellikleri, bu yöntemi ekonomik kılmaktadır.

Basıncılı infiltrasyon metodunda ise, önceden şekillendirilmiş fiber ve ergimiş metal arasında oluşan ıslatma sorununun çözülmesi için mekanik bir kuvvet uygulanmaktadır. Dışardan uygulanan bir basınç ile ilk hedeflenen kılcal (capillary) kuvvetlerini bertaraf etmek olsa da, kimyasal reaksiyonların kontrol edilebilmesi, yüksek basınç üretim hızındaki artış, matris mikroyapısının düzenlenmesi ve katılaşma büzülmesinin beslenmesi sırasında ürünün sağlamlığının artması gibi faydalar da sağlamaktadır.

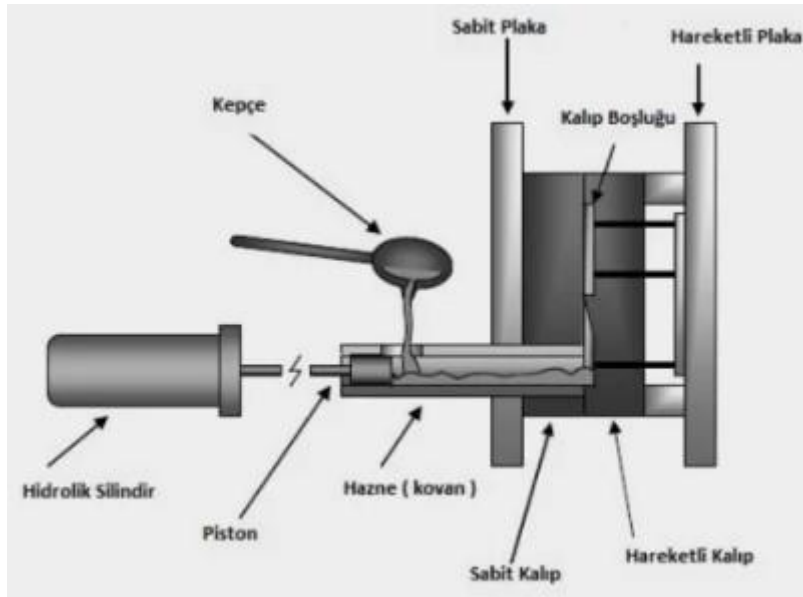
Presleme kuvveti, hidrolik pres ile 10-100 MPa kuvvetle ergimiş bir metale uygulanarak, ergimiş metalin önceden şekillendirilen fibere infiltre edilebilmesini sağlamaktadır. Yapılan bazı çalışmalar incelendiğinde, takviye elemanının etrafında vakum oluşturabilmek için ergimiş bir metal önceden şekillendirme işlemi yapılmış fibere infiltre edilmektedir. [20] [21]



Şekil 2.5. Vakum infiltrasyon metodu şematik gösterimi [22]

2.3.4. Basınçlı Döküm Metodu

Son üretim şekline yakın bir döküm kompozit malzemeler üretmek için, hidrolik plakalar arasında yerleştirilen kapalı kalıplar ile uygulanan pres basıncı altında ergimiş bir metale şekil verme tekniğidir. Yöntem şu şekilde yapılmaktadır; Pres uygulanmadan önce, önceden ısıtılmış bir kalıba, önceden şekillendirilmiş seramikler yerleştirilecektir. Uygulanacak presleme basıncı 100-200 MPa aralığında olacaktır. Kısa fiber, partikül, metal veya metal sıcaklığı gereken değerden düşükse, döküm ürünlerinin de kalitesi düşük olabilmektedir. Bu üretim yöntemi öncelikle devamlı fiberlerin basınçlı dökümü için geliştirilmiş olup, günümüzde kısa fiberlerin ve partiküllerin ergimiş metal ile karıştırılması ve üretilmesi işlemi için de kullanılmaktadır. Şematik gösterim şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Basınçlı döküm metodu [1]

2.3.5. Püskürterek Biriktirme Metodu

Metot, ergimiş bir metal damlacığının takviye elemanı ile birlikte altlık üzerine püskürtülerek biriktirilmesidir. Bu prosesin yerine başka bir şekilde, takviye elemanı bir altlık üzerinde bulunmakta ve ergimiş metal de bu yüzeyin üzerine püskürtülerek de yapılmaktadır. Püskürterek biriktirme metodundaki önemli parametreler şunlardır;

- Takviye elemanının besleme hızı
- Boyut dağılımı ve
- Metal damlacıklarının akma hızı (velocity),

- Altlık malzemesinin sıcaklığı
- Başlangıç sıcaklığı,
- Altlık malzemesinin pozisyonudur.

Püskürterek biriktirme yönteminin çoğunda, ergimiş metalden istenilen düzeyde damlacık üretmek için (300 µm çapına kadar) gazlar kullanılmaktadır. Bu partiküller, damlacık akışının içerisine ya da damlacık akışı ile kullanılmakta olan gaz arasına enjekte edilmektedir.

Bu metodun sağladığı üstünlükler; düşük segregasyon ve matris mikroyapısında ufak tane boyutudur. Yanı sıra takviye elemanı ile ergiyik metalin kısa süre teması sonucunda, ara yüzey reaksiyonları minimize edilebilmektedir. Yöntemin eksileri ise; toplanması ve giderilmesi gereken atık toz miktarlarının çokluğu, kullanılan gazların yüksek maliyeti olduğu söylenebilmektedir.

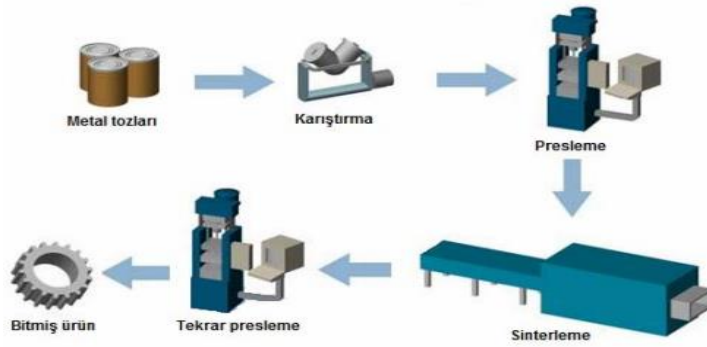
2.3.6. Katı Faz Üretim Metodları

Katı fazların üretim metotlarında takviye elemanı ve ana malzeme arasındaki kimyasal reaksiyon çok azdır. Katı faz metotlarında takviye malzemesi ve matrisin tam olarak karıştırılması gereklidir. Sade bir şekilde incelendiğinde, bu metotlar takviye elemanının matris tozu ile karıştırılması ve karışımın sık kullanılan toz metalurjisi metotları ile (sinterleme, sıcak presleme, sıcak izostatik presleme, soğuk presleme işlemi) numune elde etmeyi hedefler. Katı faz üretim metotları içinden toz metalurjisinden farklı olarak genellikle kullanılan diğer bir yöntem difüzyonla bağlanma metodudur.

2.3.7. Toz Metalürjisi Metodu

Toz Metalurjisi metodu genellikle partikül takviyeli kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan metottur, metot şematik gösterimi 2.7'de gösterilmiştir. Bunun nedenleri ise şöyledir; matris malzemesinin fiber ve visker takviye malzemeleri ile karıştırılması kolay değildir ve presleme işleminde fiber takviye malzemesinden dolayı kırılmalar yaşanmaktadır. Takviye elemanı ile matris karıştırıldıktan sonra, mukavemeti sağlamak ve gözenek yapısından uzaklaşmak için sinterleme ve presleme işlemi yapılmaktadır.

Sinterleme işlemi yapılırken seramik takviye elemanının yoğunlaşma hızı metal matristen düşüktür ve seramik partiküller bu sıcaklıkta sinterlenmez ve yoğunlaşmaya katkı sağlamazlar. Bundan dolayı parçacık takviye oranı % 40'tan fazla olan MMK malzeme üretimi oldukça zordur.



Şekil 2.7. Toz metalurjisi metodu [1]

2.3.8. Difüzyonla Bağlama Metodu

Bu metot farklı veya metallerin birleştirilmesinde genellikle kullanılan katı faz üretim metodudur. Bu metodun üstün özellikleri, çeşitli matris malzemelerin kullanımı, dağılımının kontrol edilmesi ve fiber yönlendirilmesidir. Zayıf özellikleri, üretim sıcaklığının yüksek olması, üretim zamanının uzun olması, presleme kuvveti ve karmaşık parça üretimindeki yaşanan zor durumlardır. Difüzyonla bağlanma metodunda ve mekanik özelliklerin kontrolünde fiber dağılımı önemli bir kriterdir.

Fiberlerin birbirlerine yakın olması ve temas durumunda olması, fiber kırılması ve matrisin olumsuzluğu ile sonuçlanmakta, bu işlemin sonucunda büyük ve bölgesel gerilim birikimleri gözlemlenir. Bu parçaya uygulanan herhangi bir basınç, parçada kırılmalara ve hatalara yol açar.

Difüzyon ile bağlanma metodunda, matris alaşım ile üretilmiş folyolar, matris malzemenin tozu ile organik bağlayıcıdan meydana gelen toz karışımı ile fiberler önceden belirlenerek dizilir. Dizilmiş tabakalara vakum ortamında, sıcak presleme metoduyla şekil verilir. Bu metottan farklı olarak sıcak izostatik presleme işlemi de kullanılmaktadır, kalıp içerisine yerleştirilen parçaya eşit miktarda tüm yönlerden kuvvet uygulanarak, şekilleri karışık olan parçaların üretimine imkan yaratmaktadır.

2.4. İki Faz (Sıvı – Katı) Üretim Metodları

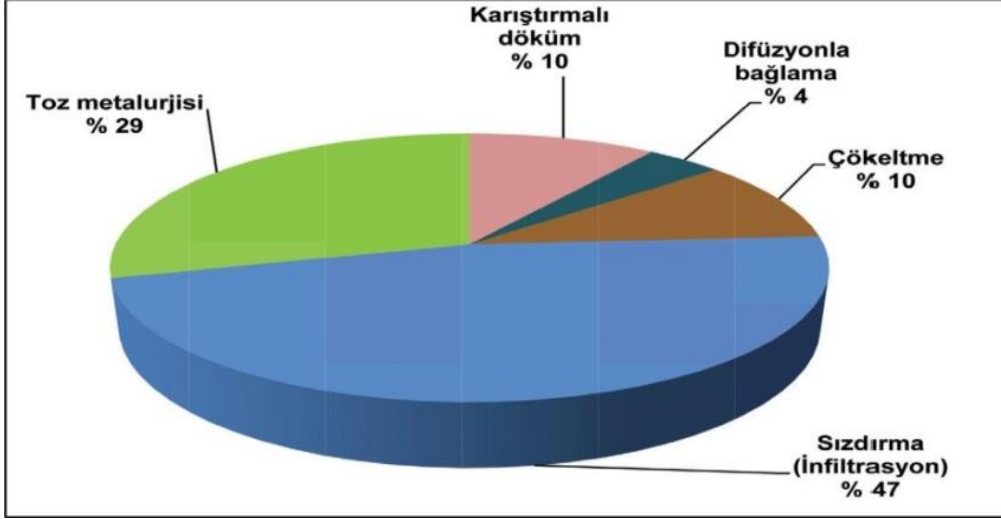
İki faz metotları matris malzemesinin faz diyagramında hem sıvı hem katı bölgede bulunan matris ve takviye elemanın karıştırılmasıdır. İki-faz metotları; compo döküm, ospray biriktirme ve çok fazlı malzemelerin değişken biriktirilmesi yöntemleridir.

2.5. Biriktirme Üretim Metodu

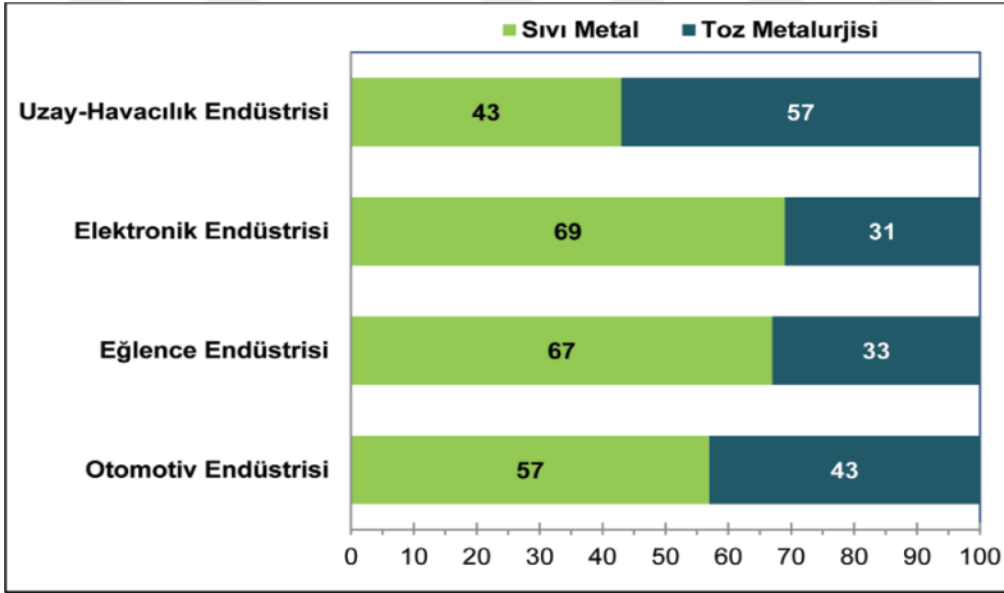
Metal matrisli kompozit malzeme üretimi için biriktirme teknikleri, kompozit formunu oluşturmak amacıyla fiberlerin matris malzemesi ile kaplanması ve yapısal şeklini sağlamak için difüzyon bağlama işleminden oluşmaktadır. Bu metotlar ile üretimi yapılan kompozit malzemeler döküm metodu ile üretimi yapılan kompozit malzemelerden daha uniform haldedir. Biriktirme teknikleri; daldırma kaplama, sprey biriktirme, elektrokaplama, CVD (kimyasal buhar biriktirme), PVD (fiziksel buhar biriktirme), sprey biçimlendirme teknikleri olmak üzere 6 ana gruptan oluşmaktadır.

2.6. In-situ Üretim Metodu

In-situ üretim metotları, eritilmiş metal ile kullanılan gaz arasındaki reaksiyonun kontrolü ve takviye elemanlarını oluşturmak için bileşenler arasında endotermik reaksiyonları oluşturma olmak üzere iki aşamadan oluşur. Kontrollü reaksiyonlara örnek olarak laxide prosesi verilmektedir. Bu proseste Al ve Al₂O₃ karışımını elde etmek için ergimiş Al okside edilir.[23]



Şekil 2.8. Endüstriyel alanda tercih edilen mmk üretim grafiği [24]



Şekil 2.9. Uygulama alanları [24]

3. MATRİS MALZEMELERİ

Kompozit malzemelerde tercih edilen bir matris malzemesinin gayesi; tek parçalı yapı içerisine katılan takviye malzemesi ile birlikte gereken geometrik şekil ve boyutta bir kompozit malzeme oluşturmak ve buna bağlı olarak eş zamanlı kompozit malzemeye uygulanan dış yükü engelleyerek takviye malzemesine iletebilmektir. Takviye malzemelerini, erozyondan, mekanik hasarlardan, çevrili bulunduğu ortamdan veya iki takviye arasında oluşan temastan kaynaklı korozyon vb. etkilere karşı korumaktadırlar.

Çeşitli metallerin (Al, Si, Cu, Fe vb.) yanı sıra neredeyse bütün yapısal alaşım sistemleri metal matrisli kompozit malzemeler için bir matris malzemesi olarak kullanılabilir. Ti, Al, Mg 24 ve intermetalik bileşikler ise yaygın olarak kullanılan alaşım türleridir. Titanyumun ise, yüksek sıcaklık uygulamalarında daha fazla kullanıldığı bilinmektedir. Nikel ve nikel esaslı süper alaşımlar ise, ağırlığın ikinci plana atıldığı durumlarda sıcaklığı yüksek uygulamalar için uygun olarak kullanılmaktadır. [25]

3.1. Alüminyum ve Alaşımları

450°C'nin altındaki uygulamalarda özellikle kullanılmakta olup, mukavemeti yüksek ve maliyetinin düşük olmasına karşılık düşük yoğunlukta olmasından mütevellit alüminyum ve alüminyum alaşımlarının, matris malzemesi olarak daha çok kullanıldığı bilinmektedir. Alüminyum ve alüminyum alaşımları, ısıl ve elektriksel iletkenliğin yüksek olmasından dolayı, bir kaynaktan gelen elektriğin ve ısının yüksek miktarda absorbe edilmesini sağlarlar. Kompozit malzemenin üretilmesinde, sıvı faz üretim yöntemi seçildiğinde, Al-Mg, Al-Si ve Al-Cu gibi döküm alaşımları aynı zamanda dövme alaşımları kullanılmaktadır. Alaşım seçimlerinin, mevcut üretimin metoduna bağlı olduğu bilinmektedir. Eğer doğrudan üretilen parçalarda döküm alaşımları tercih edilirse, yarı mamulden üretilen parçalar için dövülebilir alaşımlar kullanılmaktadır. [19][26]

3.2. Alüminyum-Bakır-(Magnezyum) Alaşimleri

Bu alaşımların çökeltme sertleştirilmesi yapılabilen alaşımlar olduğu bilinmektedir. Bakır, alüminyum ile alaşım elementi olarak kullanılan ilk elementtir ve alaşıma sertlik kazandırmakta olup, dövme alaşımlarında %4 ile %5 oranında kullanıldığı bilinmektedir. Eğer %5'ten fazla kullanılırsa, mekanik işleme güçlüğü arttırmaktadır. Alüminyum içindeki çözünürlüğü sıcakla birlikte artmakta olup, bakır kullanılan alüminyum alaşımlar, yaşlandırma işlemiyle sertleştirilebilmektedir. Bu ısıl işlemin, tüm ticari alüminyum alaşımlarından yüksek mukavemet kapasitesine sahip olduğu söylenebilmektedir. Çökeltme için ihtiyaç olan zaman ise, alaşımın sıcaklığı ve alaşımın bileşimiyle ilişkili olmaktadır. Bu çökeltmenin mekanik özelliklere etkisinin, boyutlarına, çökeltme faz miktarına ve dağılımına bağlı olduğu söylenebilmektedir.

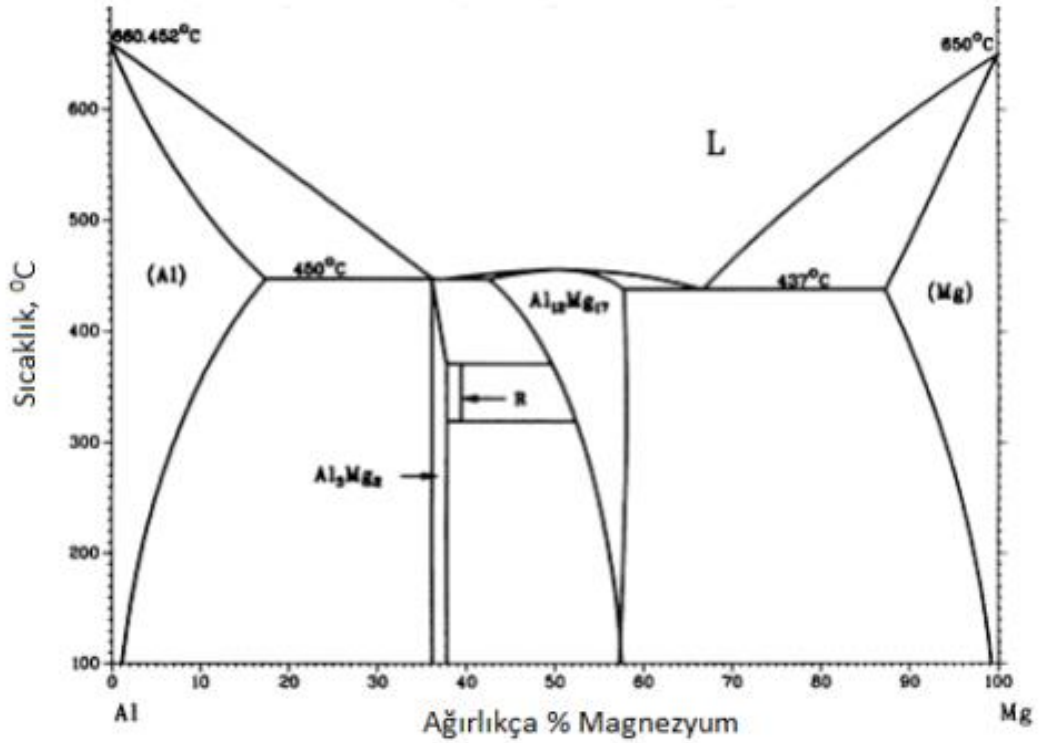
Alüminyum-Bakır-Magnezyum alaşımları; uçak konstrüksiyon, kamyon şasileri, motor parçaları, yüksek sıcaklıklarda çalışabilen piston ve dövme silindir kafası gibi yerlerde kullanılmaktadır. [27] [28]

3.3. Alüminyum-Magnezyum Alaşımları

Bu alaşımlar, 2XXX, 4XXX, 6XXX ve 7XXX serisi ticari alaşımlar olarak bilinmektedir. Magnezyum, katı çökeltme sertleşmesi sonucunda alüminyum mukavemetini arttırabilmek için sık kullanılan alaşım elementidir. 5XXX serisi alüminyum alaşımları %0,5'den %12-13'e kadar değişen Mg oranına olup, magnezyumun eklenmesi ile birlikte döküm alüminyumunun alaşım yoğunluğu %10 düşürülerek 2,55 g.cm³, plastik şekil verilmiş alüminyumunun alaşım yoğunluğu %8 düşürülerek 2,65 g.cm³ olmaktadır. Düşük magnezyuma sahip alaşımlara iyi şekil verilirken, yüksek magnezyuma sahip alaşımlar ise basit dökülebilirler ve mukavemetleri yüksektir. Normal uygulamalarda yüksek saflıktaki alüminyum (\geq %99,7 Al) alaşımlarını hazırlamak ve maksimum korozyon direncini sağlayabilmek için demir ve silisyum bileşenleri genel olarak diğer alüminyum alaşımlarına oranla daha düşük miktarda kullanılmaktadır. Alüminyum-Magnezyum ticari alaşımlarında katılaşma, α -Al birincil kristalleri olarak başlamaktadır.

Genelde, dendritik olarak büyümeye ve buna bağlı ilerleme sağlamaktadır. Diğer bileşenler ile de tane sınırlarına veya dendrit 29 kolları arasına devam etmektedirler.

%10'dan fazla Magnezyum ve %0,5'den fazla Silisyum içeren alaşımlarda, Mg₂Si kristalleri hekzagonal ya da küp şeklinde görülebilmektedirler. Magnezyum elementi, diğer alaşım elementleriyle birlikte Al-Mg alaşımının mekanik özelliğinin kontrolü olarak ana sebebidir. Saf alüminyuma benzerlik olarak çekme mukavemeti, basma mukavemeti ile aynı olurken, kesme mukavemeti çekme mukavemetinin %70-%80'i kadar olduğu bilinmektedir. Elastisite modülünü, diğer bir çok alaşımın ilave edilmesi yükseltirken, Magnezyum elementinin ilavesi edilmesi düşürmektedir. Normalde bu alaşımlarda, Silisyum %0,2'den az bulunmaktadır. Tokluk ve sünekliği mukavemetteki artış ile kıyaslanamayacak kadar az oranda düşürmektedir. Su veya buhara, deniz suyu veya atmosfer şartlarına gibi diğer bir çok kimyasala karşı da iyi bir korozyon direnci gösterdiği bilinmektedir. [29]



Şekil 3.1. Al-Mg Faz diyagramı [30]

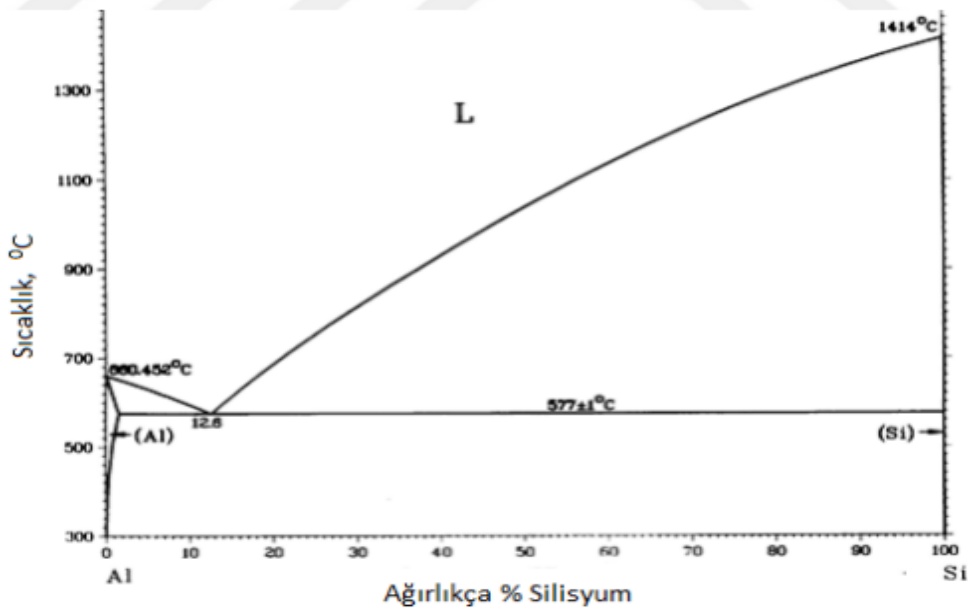
3.4. Alüminyum-Silisyum Alaşımları

4XXX serisi Alüminyum-Silisyum döküm alaşımları, uzay, otomotiv ve mühendislik sektöründe kullanılan temel alaşımlardır. Silisyum elementinin eklenmesi ile birlikte Alüminyum-Silisyum alaşımının yoğunluğu da 2,65 gr.cm³ olmakta ve saf alüminyuma göre de yoğunluğunda %12 düşüş sağlanmaktadır.

Silisyum elementinin, metalik alaşımın dökümü için önemli olduğu bilinmektedir. Bunun sebebi ise; dökülebilirliği, akışkanlığı ve talaşlı işlenebilirliğini arttırırken ergime sıcaklığını, korozyon ve aşınma direncini ve ısıl genleşme katsayısını dūřurebilen, maliyeti dūřük hammaddedir. [31]

Bu alaşım katılaşırken, primer alüminyum oluşarak dendritik olarak büyüeyebilmekte ya da bir silisyum fazı oluşarak, sivri birincil partiküller olarak dallanabildiği bilinmektedir. Ağırlık olarak %12,6 Silisyum içeren ötektik noktada, Alüminyum-Silisyum fazı çekirdeklenmekte ve katılaşana kadar büyümesi devam emektedir. Al-Si dökümlerinde en sık görülen hatanın Porozite olduğu bilinmektedir. Bu doğrultuda gözeneklerde, gerilme yığılması nedeniyle mikro çatlaklar başlayıp, ilerlediği bilinmektedir. [31] [32]

Alüminyum-Magnezyum-Silisyum alaşımları (6XXX) orta değerde mukavemetli yapısal alaşımlar olarak sıklıkla kullanılmaktadır. 6063 tipi Al alaşımları, cam ve profiller gibi orta mukavemetli karmaşık şekilli ekstrüzyonla üretilen inşaat malzemeleri için kullanılabilir. 6061 tipi Al alaşımları, elektrik dağıtım hatları, iletkenleri ve tesisatlarında hem elektriksel hem mekanik iletim özelliklerinin en iyi bileşimini ortaya çıkardıkları için tercih edilmektedirler. Al-Mg-Si alaşımları, en uygun olarak ısıl işlem uygulanabilir kaporta sacı malzemesinde kullanıldığı bilinmektedir.



şekil 3.2. Al-Si Faz diyagramı [30]

3.5. Takviye Malzemeleri

Kompozit malzemelerde kullanılan takviye malzemelerinden, kompozit malzemelerin işlem, üretim yöntemi ve matris sistemleri değerlendirilerek aynı olmayan 37 farklı özellik beklenmektedir. Beklenen özellikler şu şekilde sıralanabilir.

- Yoğunluğun düşük olması
- Mekanik olarak uygunluk
- Kimyasal uyumluluk ve Isıl kararlılık
- Yüksek elastisite modülü
- Yüksek çekme ve basma mukavemeti olması
- İyi işlenebilmesi ve ekonomik verimliliği

Metal matrisli kompozit malzemelerde kullanılacak olan takviye malzemeleri kısa fiberler, sürekli fiberler, whiskerlar veya partiküller şeklinde üretimi yapılmaktadır. Farklı şekillerdeki malzemelerde seçim yapmamız için kriter en boy arasındaki orandır. Enin boya olan oranı; partikül, fiber veya whisker uzunluklarının çapına veya enine oranı sonucudur. Takviye malzemeleri, mukavemetin yüksek olması ve elastisite modülünün yüksek olması ile yüksek ısı kabiliyetini bir araya getirir. Ek olarak maliyeti diğerinde daha yüksektir. Bileşenler olması istenilen özelliğe matris malzemenin seçimine bağlıdır. [15] [25]

3.6. Titreşimin Etkisi

Çalın, R., ve Çıtak, R., (2006) yaptıkları deneyde basınçsız, basınçlı veya vakumlu infiltrasyon yöntemlerinden birini seçerek ön şekillendirme işlemi yapılmış takviye elemanına sıvı metal infiltre edilmesi işlemiyle MMK üretimini yapmışlardır. Bu çalışmada diğerlerinde değişik olarak, titreşim aparatı yardımıyla parçacık durumundaki takviye malzemesini sıkıştırmış bu şekilde vakum yada basınç ile infiltrasyon işlemi yapılmıştır.

Aynı olmayan boyutlarda bulunan MgO tozlarının sıkıştırılma durumları incelenmiştir. Sıkıştırma yapılan cihazla ile aynı sürede ve aynı miktarda homojen şekilde malzemenin sıkışabileceğini göstermişlerdir. MgO tozlarına 3 dakika süren

sıkıştırma zamanının yeterli olduğu sonucunu görölmüştür. Ek olarak küçük taneciklerin sıkışma miktarının daha fazla olduğunu ve tüm durumdaki borular içinde doğru şekilde ve kullanılabilir şekilde sıkıştırma yapılabileceğinin tespiti yapılmıştır.
[33]



4. MALZEME VE METOT

Ortalama değeri 75 µm olan AA 6061 ve SiC tozları kullanılarak vakum intfiltrasyon yöntemi ile 4 farklı metal matrisli kompozit üretilmiştir. Üretilen malzemelere deney esnasında farklı Hz aralıklarında titreşim uygulanarak titreşimin etkisi incelenmiştir.

Çizelge 4.1'de AA6061 matris malzemesinin kimyasal bileşimi verilmiş Çizelge 4.2'de mekanik özellikleri verilmiştir. [34]

AA 6061 kimyasal bileşeni ve özellikleri;

Alüminyum malzemenin oksijene olan fazla ilgisinden dolayı hızlı oksitlenmektedir. Fakat pratik durumda yüzey bölgede çok ince, sıkı yapışkanlı ve aralıksız oksit filmi oluşturma hali, suda ve diğer kimyasal ürünlerle birlikte alüminyum çözülmeye getirebilir. Havada olmuş olan oksit filmi ~4-5 nm kalınlığı görülmüştür fakat ısıtılma süresi uzatıldığında boyutu ~200 nm kalınlık değerine ulaşmaktadır. Bu durum alüminyum alaşımlarını ve saf alüminyum korozyona karşı direnç oluşturmaktadır. [25]

Çizelge 4.1. AA6061 kimyasal bileşim [34]

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Diğer	Al
0,7	0,40-0,8	0,15-0,40	0,15	0,8-1,2	0,25	0,04-0,35	0,15	0,15	Kalan

Çizelge 4.2. AA6061 mekanik özellikler

Isıl İşlem	Akma Mukavemeti (MPa) Min-Max	Çekme Mukavemeti (MPa) Min-Max	Uzama (%50)
0	103-228	55-124	26
T4	110-140	180-230	24
T6	240-270	260-310	20

4.1. Kullanılan Malzemeler

AA 6061, takviyeli kompozit malzemelerin üretimi için matris malzemesi olarak kullanılmıştır. AA 6061 alüminyum potada eritilerek ve takviye olarak SiC tozları karışımı ile dahil edilmiştir.

Kompozit malzemelerde matris malzemesi AA 6061 seçilerek ve takviye elemanı SiC parçacıkları kullanılarak vakum infiltrasyon metodu ile kompozit malzemelerin üretimi gerçekleştirilmiştir.

4.2. Üretim Metodu

Deneyel çalışmalarda, infiltrasyon metotlarından vakum infiltrasyon metodu kullanılarak takviyeli kompozit malzemelerin üretimi yapılmıştır. Vakum infiltrasyon düzeneği vakum hattı, silindir cam tüp, filtre, toz karışımları ve ağırlıktan meydana gelmektedir.

Numunelerin üretimi Kırıkkale Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Bölümü Döküm Laboratuvarında Şekil 4.1 de görülen infiltrasyon deney düzeneğinde yapılmıştır. İnfiltrasyon deneyleri 750 °C sıvı metal sıcaklığında 550mmHg vakum değerinde 3 dakika sürede ve 4 farklı titreşim değerinde gerçekleştirilmiştir. 8mm çapında ve 300mm boyunda cam tüpler kullanılmıştır. Üretim yapılırken cam tüplerin içine, AA 6061 ve %5'i takviye elemanı dahil olacak şekilde karışımlar hazırlanmış, karşılaştırma yapılabilmesi hedefiyle de %5 SiC takviyeli karışımları farklı olarak hazır hale getirilmiştir. Hazır duruma getirilmiş karışımları, üç eksende 10 dk sürede Şekil4.2 görülen cihaz ile titreşim yapılarak, AA 6061 ve SiC uniform biçimde karıştırılması sağlanmıştır. Devamında, hazırlanan karıştırılmış malzemeleri cam tüpe yerleştirilerek vakum düzeneğine dahil edilerek infiltrasyon işlemine hazır duruma getirilmiştir. Vakum infiltrasyon işleminde içerisinde %5 oranında SiC bulunan tüplere AA-6061 metali titreşimsiz, 500 Hz, 1000 Hz ve 1500 Hz titreşimlerde kompozitler üretilmiştir.



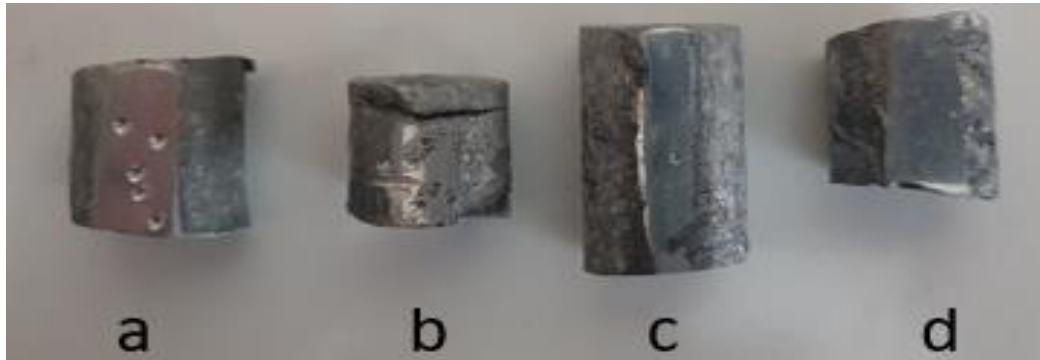
Şekil 4.1. Vakum infiltrasyon düzeneği



Şekil 4.2. Vortex karıştırıcı titreşim cihazı

Vakum infiltrasyon yöntemi ile üretilen numuneler soğumaya bırakılmıştır. Soğuma işlemi biten cam tüplerdeki malzemeler cam tüpler kırılarak kalıp dışına alınmıştır.

Şekil 4.3'te farklı parametrelerle üretilen kompozitler görülmektedir.



Şekil 4.3. Üretimi yapılmış kompozit malzemeler (0 Hz - 500 Hz - 1000 Hz - 1500 Hz)

Üretimi gerçekleştirilen kompozitler Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalografi Laboratuvarı'nda, ATM Brillant 250 model cihaz ile kesilip hazır duruma getirilmiştir.

Kesilen numunelere Gazi üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalografi Laboratuvarı'nda Şekil4.4'te görüldüğü gibi otomatik olarak çalışan parlatma ve zımparalama makinesinde 200, 400, 800, 1000 ve 1200 mesh zımparayla işlemler gerçekleştirilmiştir. sonrasında yazım sırasına göre 6 µm, 3 µm ve 1 µm şeklinde alümina aşındırıcı süspansiyon kullanılarak Şelik4.4'te verilen cihazlar ile tek tek parlatma keçeleri yardımıyla parlatma işlemi yapılmıştır. Daha sonra Kırıkkale Üniversitesi Metalografi Laboratuvarı'nda malzemeler Keller reaktifi ile dağlanarak metal mikroskobu ile 10x optik görüntüleri alınmıştır.



Şekil 4.4. Gazi üniversitesi metalografi laboratuvarı

4.3. Yoğunluk

Üretimi yapılan numunelerin deneysel ve teorik yoğunluk farklılıklarını değerlendirerek Arşimet prensibi ile porozite değerlerini bulmak için markası Sartorius olan 0.1 mg hassas terazi ve ölçüm kiti ile ölçüm yapılmıştır. Numunelerin sudaki ve havadaki ağırlıklarının ölçümü yapılarak deneysel yoğunlukları ayrıca, karışımlar kuralı yoğunluk değerleri bulunmuştur ve gözenek sonuçları aşağıdaki Arşimet presibi bağıntısı ile hesaplanmıştır. [35]

$$\rho_d = [G_h / (G_h - G_s)] \times f \quad [\text{Denklem 4.1}]$$

$$\rho_t = \rho_m \times V_m + \rho_{t1} \times V_{t1} + \rho_{t2} \times V_{t2} \quad [\text{Denklem 4.2}]$$

$$\text{Porozite (\% Gözeneklilik)} = [(\rho_t - \rho_d) / \rho_t] \times 100 \quad [\text{Denklem 4.3}]$$

ρ_d : Deneysel yoğunluk

ρ_t : Teorik yoğunluk

G_h : Havadaki ağırlık

G_s : Sudaki ağırlık

4.4. Optik Mikroskop Görüntüleri

Üretilen kompozitlerin optik mikroskop görüntüleri 10x ve 20x olarak 4 farklı numunede incelenmiştir. Görüntüler Şekil 4.5'te görülen Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji Malzeme Mühendisliği Bölümü Metalografi Laboratuvarında bulunan LEICA DM 400M mikroskop ile alınmıştır.



Şekil 4.5. Sertlik ölçüm cihazı

4.5. SEM Görüntüleri ve EDS Analizi

Şekil 4.6'da verilen görselde Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi SEM Laboratuvarı JEOL JSM – 6060LV marka cihazı kullanılarak numunelerin 100x, 500x ve 1000x büyütme yapılarak SEM görüntüleri ve EDS analiz grafikleri alınmıştır.



Şekil 4.6. JEOL JSM-6060LV

4.6. Sertlik Analizi

Üretimi yapılmış malzemelerin sertlik deneyleri Şekil4.7’de görülen Kırıkkale Üniversitesi Metalürji Malzeme Mühendisliği Bölümü Metalografi Laboratuvarı’nda bulunan Vickers Galileo marka cihaz ile HV0,2 değerinde yapılmıştır. Takviyenin matris üzerindeki etkisine bakmak için matris üzerinden mikro sertlik analizleri 200 gr yük altında Vickers sertlik analizi ile gerçekleştirilmiştir. SiC takviyeli AA6061 matrisli kompozit malzemelerin yüzeyine kuvvetin 10 saniye boyunca uygulanmasıyla 5 farklı noktadan bulunan değerler ile ortalaması alınmıştır.



Şekil 4.7. Sertlik ölçüm cihazı

5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

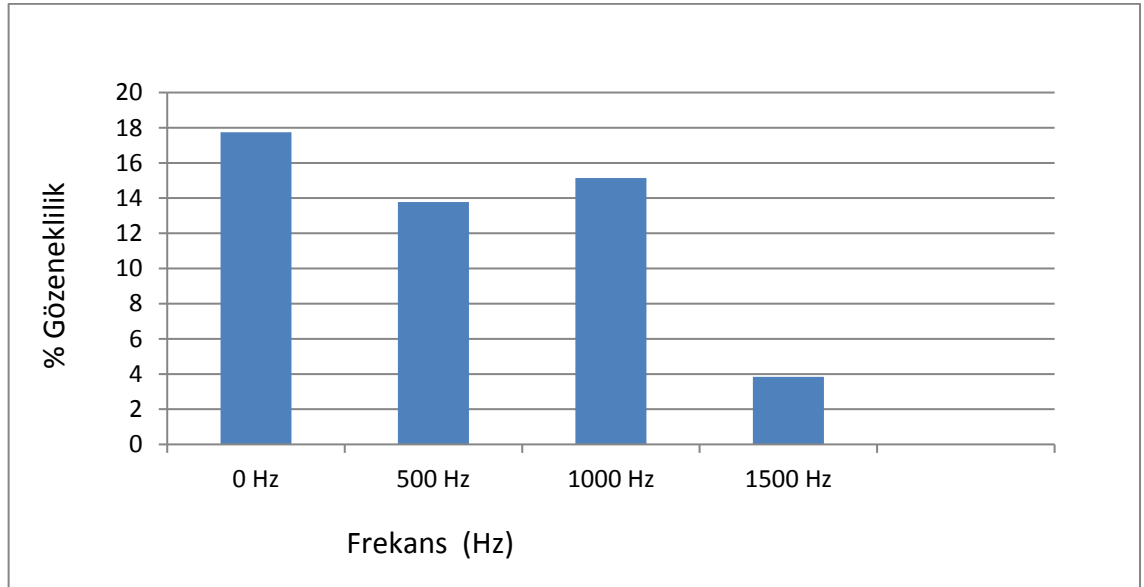
5.1. Gözeneklilik

Üretilmiş kompozit malzemelerin Arşimet prensibi ile hesaplanmış gözenek değerleri çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Titreşim frekansına göre malzeme değerleri

	G_h	G_s	ρ_{deneysel}	ρ_{teorik}	%gözeneklilik
0	12,5109	6,9335	2,2420	2,7255	17,7398
500	21,0230	12,0899	2,3529	2,7255	13,7805
1000	20,8562	11,8435	2,3138	2,7255	15,1421
1500	11,4482	7,0804	2,6205	2,7255	3,8451

Üretilen kompozit malzemeler incelendiğinde titreşim frekansı arttırıldığında malzemelerdeki gözeneklilik oranı azalmaktadır. 0Hz titreşimde %17,7398 olan gözeneklilik oranı 1500 Hz titreşim uygulanan malzemede %3,8451 olarak görülmüştür.

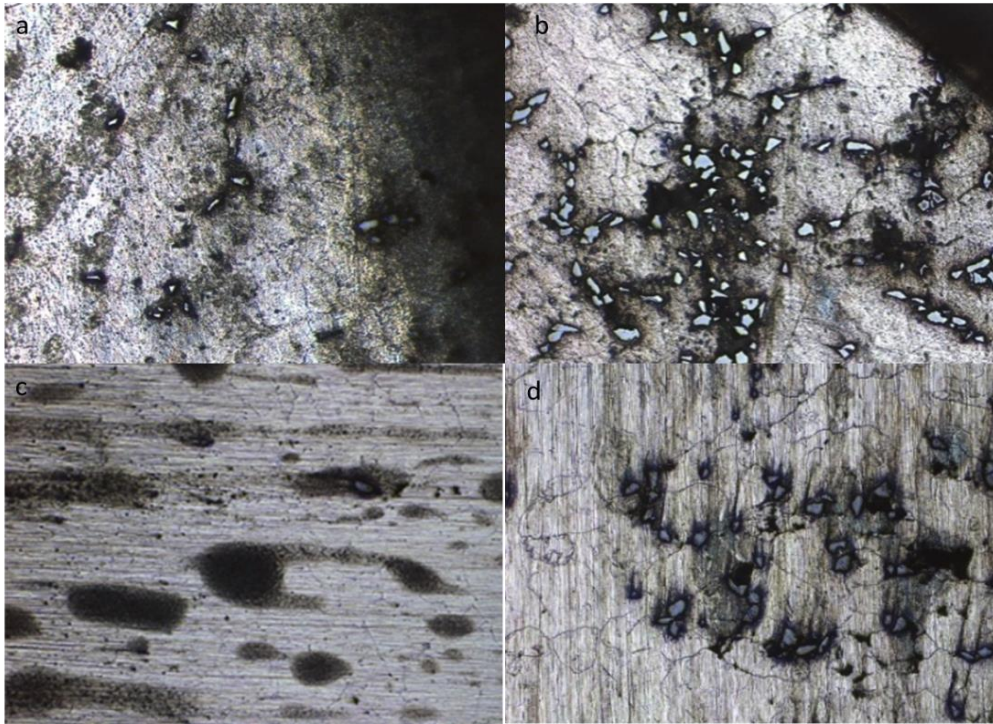


Şekil 5.1. Kompozitlerin Gözeneklilik – Frekans değerleri

Bu durum cam tüp içerisine yerleştirilen SiC ve AA6061 tozlarının vibrasyonun etkisiyle sıkışarak infiltrasyon öncesi proformda (ön şekillendirilmiş blok) bulunan boşlukların azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

5.2 Optik Mikroskop Görüntüleri

Şekil 5.2’de vakum infiltrasyon metoduyla üretilen kompozitlerin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. SiC takviye partiküllerinin titreşim frekansına göre AA-6061 matriste dağılımını görebilmek için optik mikroskop analizleri gerçekleştirilmiştir. Optik mikroskop görüntüleri Şekil.5.2’de verilmiştir. Şekil 5.2.a. da verilen titreşimsiz vakum infiltrasyon yöntemi uygulanan numunede takviye partiküllerinin homojen olduğu görülmektedir. Şekil 5.2. b ve d ‘de verilen 500 Hz ve 1500 Hz titreşimle vakum infiltrasyon yöntemi uygulanan numunelerde ise bazı bölgelerde tanelerin aglomera olmasıyla birlikte matris üzerinde dağılım gösterdiği saptanmıştır. Bu numunelerde tanelerin etrafında bulunan ve gözenekleri saptadığının karanlık bölgelerin titreşim arttıkça azaldığı saptanmıştır. Şekil 5.2.c’de verilen 1000 Hz titreşim uygulanan numunede ise bu dağılımın homojen olmadığı görülmüş ve bazı kısımlarda sadece matris saptanırken bazı bölgelerinde taneler görülmüştür.

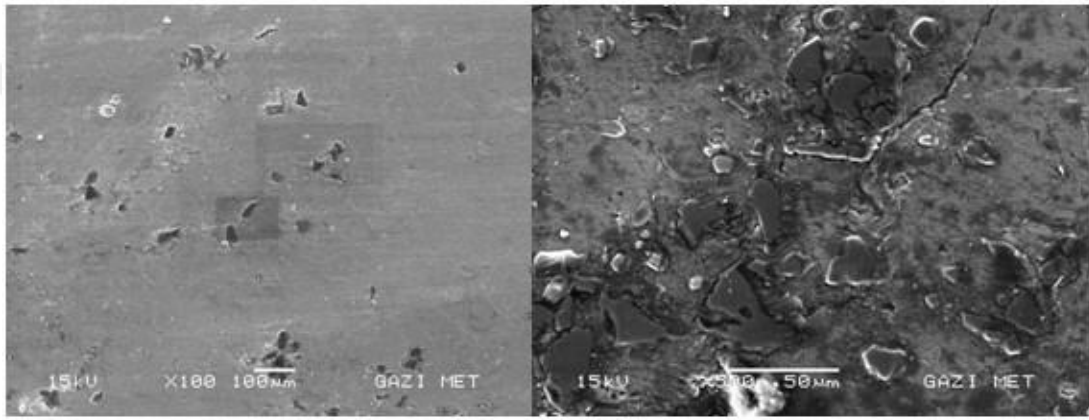


Şekil 5.2. Üretilen %5 SiC takviyeli Al 7075 matrisli kompozitlerin 10X optik mikroskop görüntüleri a) titreşimsiz, b) 500 Hz , c) 1000 Hz ve d) 1500 Hz

Çalın, R., ve Çıtak, R., (2006) yaptıkları deneyde sıkıştırma yapılan cihazla aynı sürede ve aynı miktarda homojen şekilde malzemenin sıkışabileceğini göstermişlerdir. Buradan yola çıkarak deneyde titreşim aparatı deney düzeneğine dahil edilerek malzemelere titreşim başarılı bir şekilde uygulanmıştır ve homojenlik gözlemlenmiştir.

5.3. SEM ve EDS Analizleri

Şekil 5.3.'de titreşimsiz üretilen %5SiC takviyeli AA 6061 matrisli numunenin EDS analizlerine göre SEM görüntüsü verilmiştir.

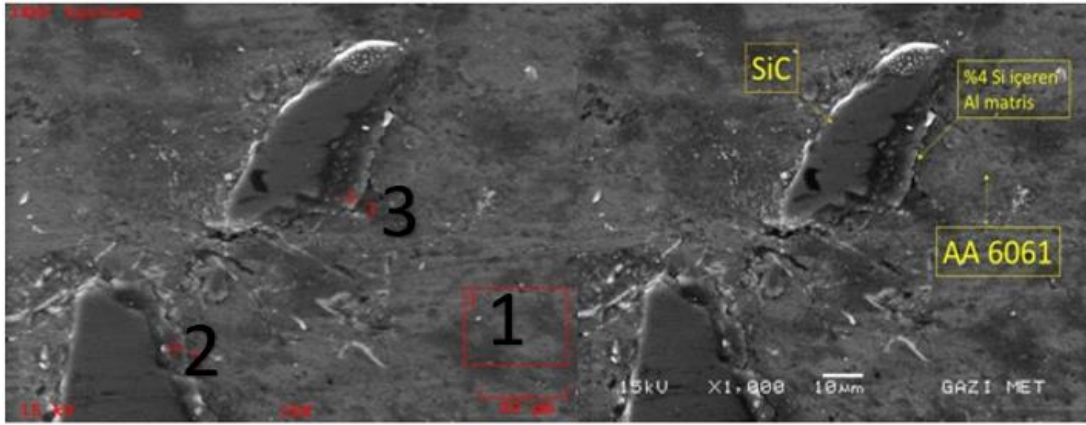


Şekil 5.3. 0 Hz Titreşimsiz Vakum İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretilen Kompozit SEM Görüntüleri

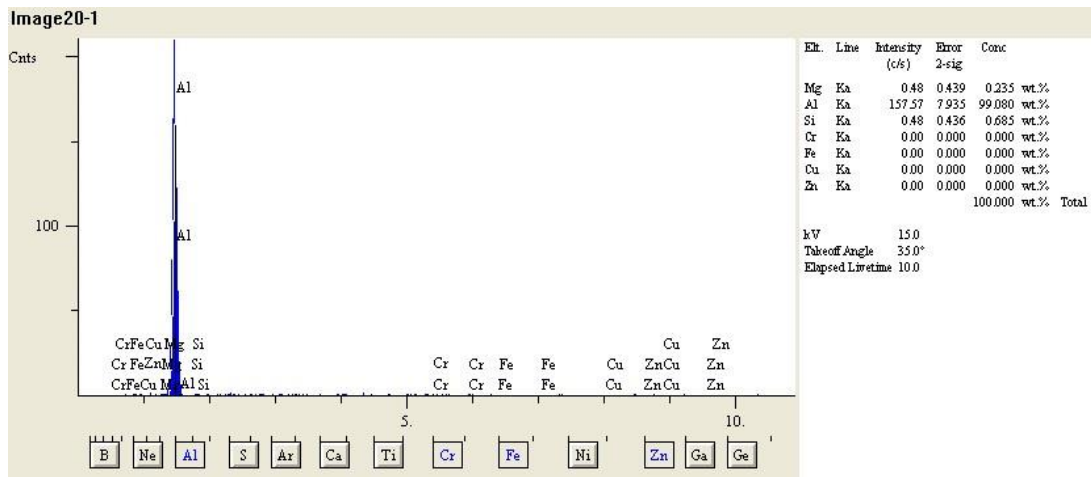
Titreşimsiz üretilen kompozit numunesinde SiC taneleri ile alüminyum matrisin birleşme durumları daha net karakterize edilebilmiştir. Tanelere yaklaşıldığında kısmen matrisle birleştiği fakat bazı kısımların gözenekler olduğu saptanmıştır. Taneler arasındaki çatlaklarda Şekil.5.3 b'de dikkat çekmektedir.

EDS analizi sonucu partikülün SiC seramiği ve matrisin AA6061 alaşımı kimyasal kompozisyonunda olduğu saptanmıştır. Fakat taneye yakın kısımdan alınan nokta EDS inde matris içerisinde takviye elemanından difüze olan Si'ler nedeniyle %4 Si elementi görülmüştür.

SEM görüntüsü verilerinden alınan EDS analizinde matris üzerinde bulunan parçacıkların kimyasal analizinde SiC bileşiği olduğu görülmüştür. Takviye SiC ile matrisin ara yüzeyinden alınan analizde matriste Si oranı arttığı görülmüştür. Bu durumda takviye elemanından matris AA6061 malzemeye difüzyon olabileceği söylenebilir.

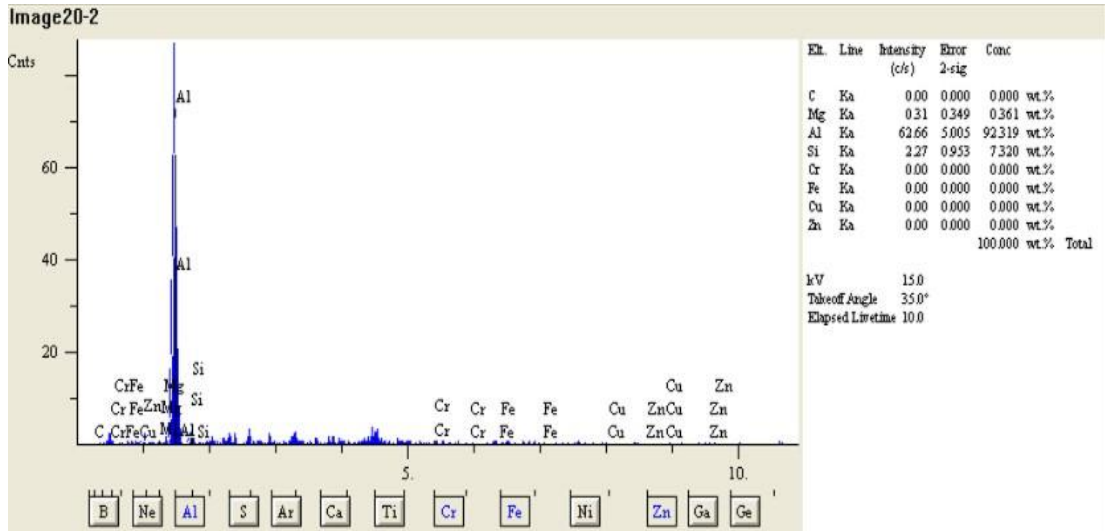


Şekil 5.4. Titreşimsiz üretilmiş kompozit - EDS görüntüsü



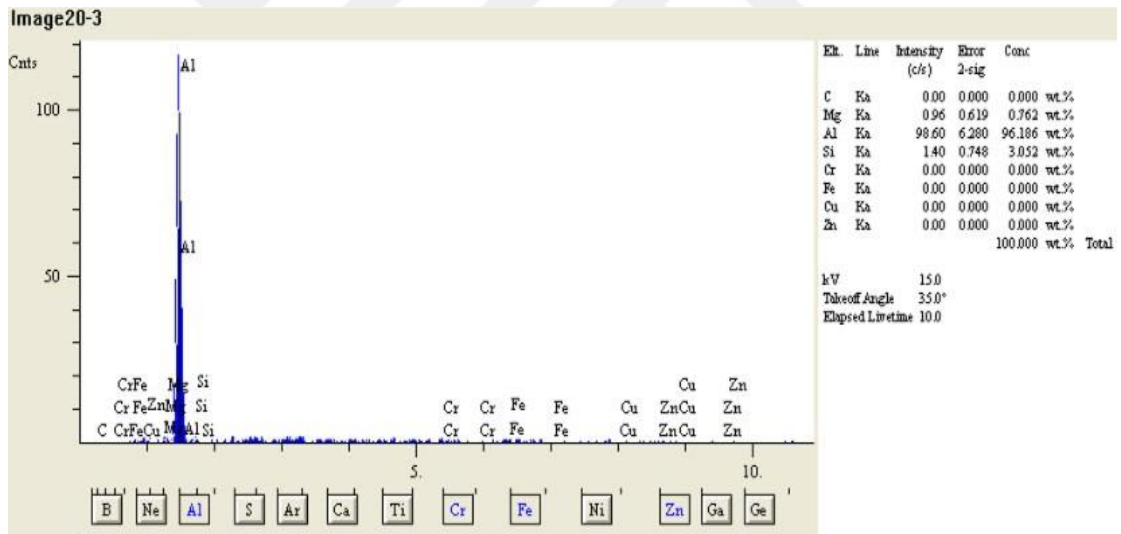
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	
Mg	Ka	0,48	0,439	0,235	ağ.%
Al	Ka	157,57	7,935	99,080	ağ.%
Si	Ka	0,48	0,436	0,685	ağ.%

Şekil 5.5. 0 Hz – 1 nolu alan EDS analizi



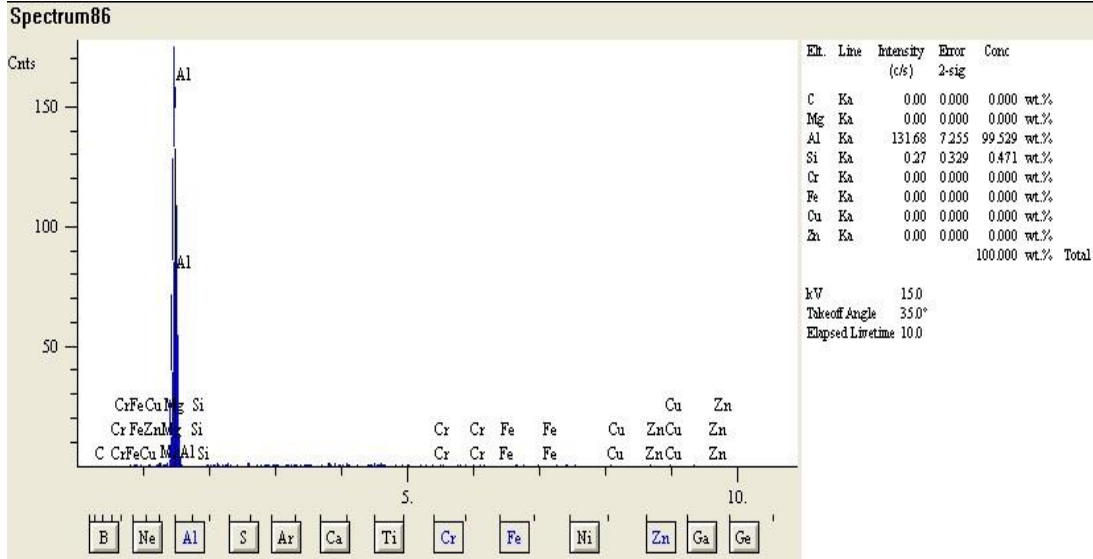
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	
Mg	Ka	0,31	0,349	0,361	ağ.%
Al	Ka	62,66	5,005	92,319	ağ.%
Si	Ka	2,27	0,953	7,320	ağ.%

Şekil 5.6. 0 Hz – 2 nolu alan EDS analizi



Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	
Mg	Ka	0,96	0,619	0,762	ağ.%
Al	Ka	98,60	6,280	96,186	ağ.%
Si	Ka	1,40	0,748	3,052	ağ.%

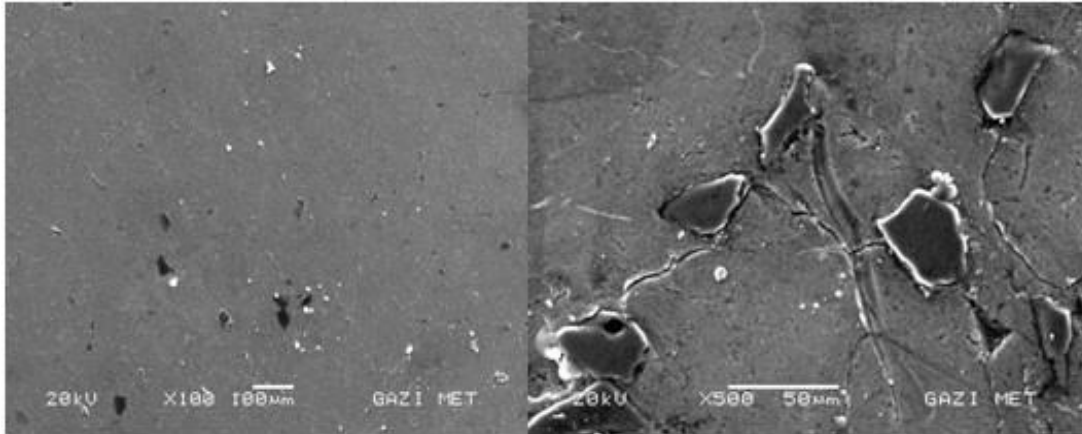
Şekil 5.7. 0 Hz – 3 nolu alan EDS analizi



Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	
Al	Ka	131,68	7,255	99,529	ağ.%
Si	Ka	0,27	0,329	0,471	ağ.%

Şekil 5.8. 0 Hz – Genel EDS analizi

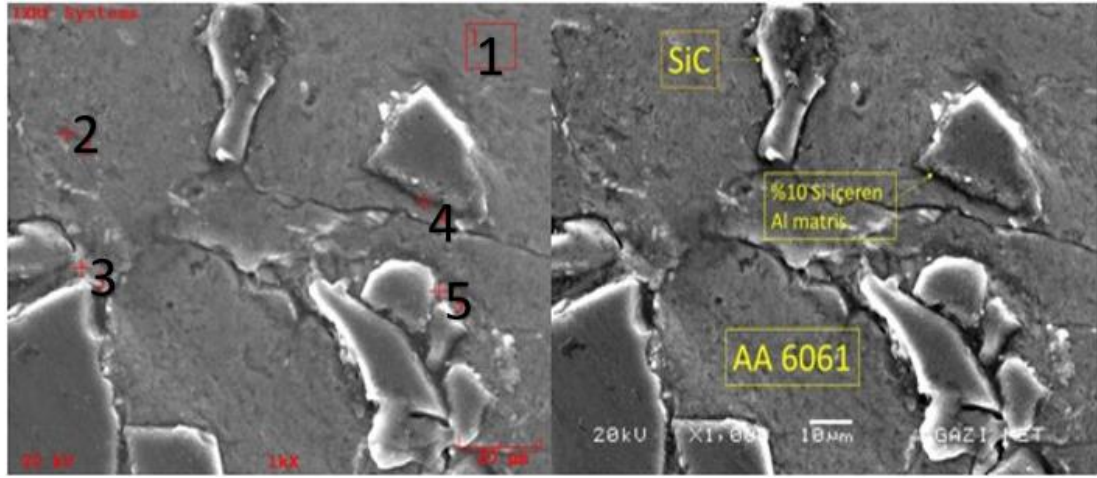
Titreşimsiz üretilen kompozit malzemenin EDS analizi sonucunda Al ve Si Şekil 5.8’de görülmüştür. Titreşim frekansına göre Si oranı değişmektedir.



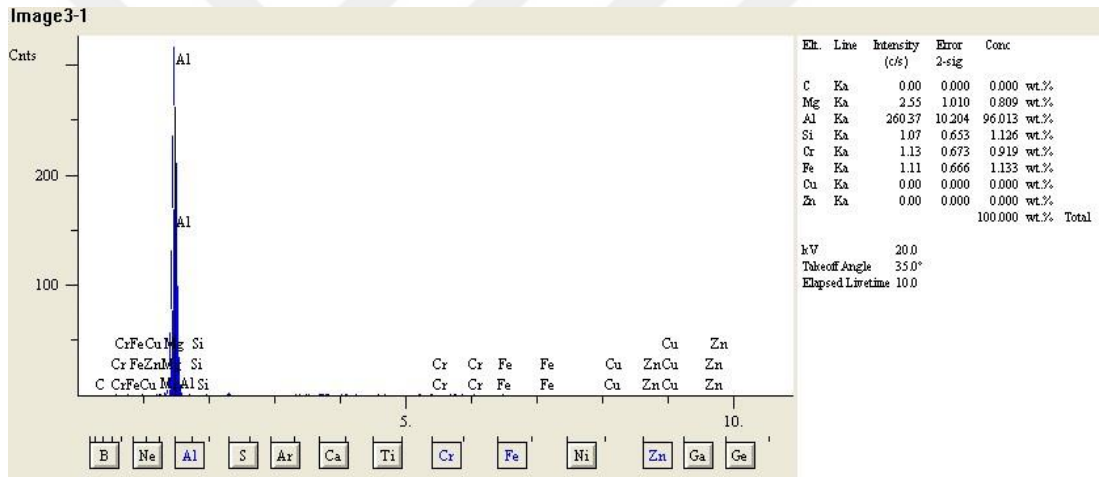
Şekil 5.9. 500 Hz titreşimde vakum infiltrasyon yöntemiyle üretilen kompozit sem görüntüleri

Şekil 5.9’da verilen 500 Hz titreşim ile vakum infiltrasyonu gerçekleştirilen %5 SiC takviyeli AA6061 matrisli numunenin 100X ve 500X büyütmede SEM görüntüleri incelendiğinde dağılımın titreşimin etkisiyle homojenliğinin değişmediği fakat bazı tanelerin birbirlerine daha yakın konumlandığı saptanmıştır. Şekil 5.9’da taneler arasında kalan matriste oluşan kılcal çatlak genişliğinin uzunluğunun azaldığı

saptanmakla beraber SiC parçacığı ile matris arasındaki gözenekliliğinde azaldığı saptanmıştır.



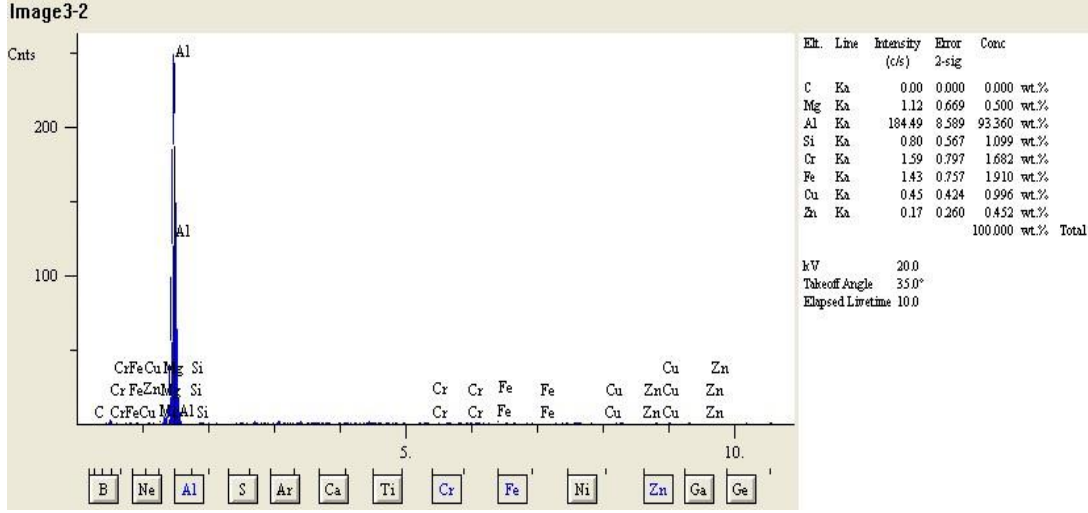
Şekil 5.10. 500 Hz titreşimde üretilmiş kompozit - EDS görüntüsü



Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	
Mg	Ka	2,55	1,010	0,809	ağ.%
Al	Ka	260,37	10,204	96,013	ağ.%
Si	Ka	1,07	0,653	1,126	ağ.%

Şekil 5.11. 500 Hz – 1 Nolu alan EDS analizi

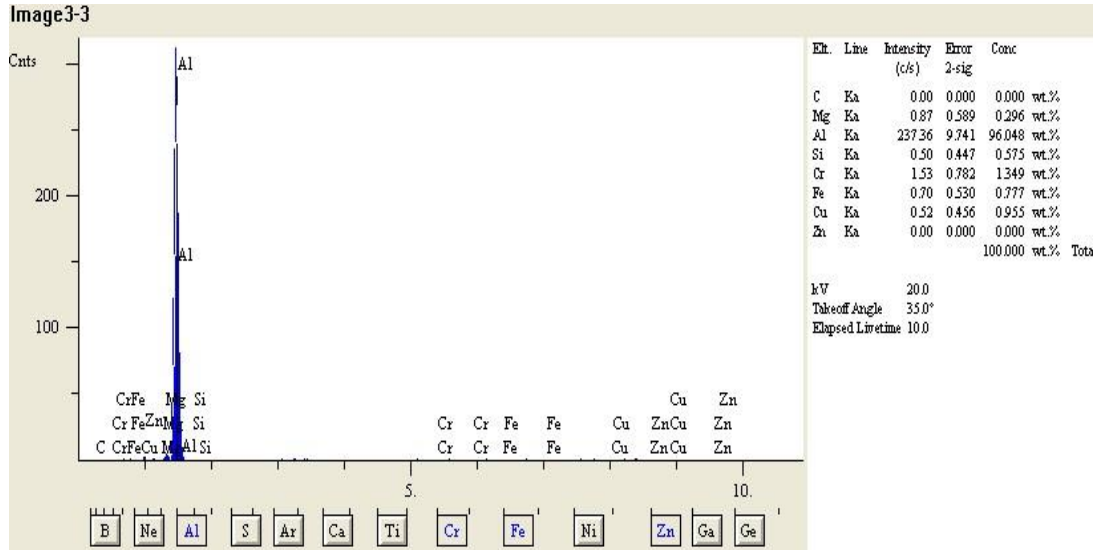
500 Hz titreşimle vakum infiltrasyon uygulanan numunenin EDS analiz sonuçlarına göre SEM görüntüsü Şekil5.11’de verilmektedir. Titreşimsiz numunede olduğu gibi bu numunenin matris ve tane analizleri AA6061 ve SiC kimyasal kompozisyonlarına uygun çıkmıştır. Fakat SiC takviyesi ile matris ara yüzeyinden alınan nokta analizinde Si oranı titreşimsiz olana göre daha yüksek çıkmıştır. Diğer EDS sonuçlarıyla karşılaştırıldığında yapılan çalışmada vibrasyonun difüzyonu hızlandırdığı söylenemez.



Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	
Mg	Ka	1,12	0,669	0,500	ağ.%
Al	Ka	184,49	8,589	93,360	ağ.%
Si	Ka	0,80	0,567	1,099	ağ.%

Şekil 5.12. 500 Hz – 2 Nolu alan EDS analizi

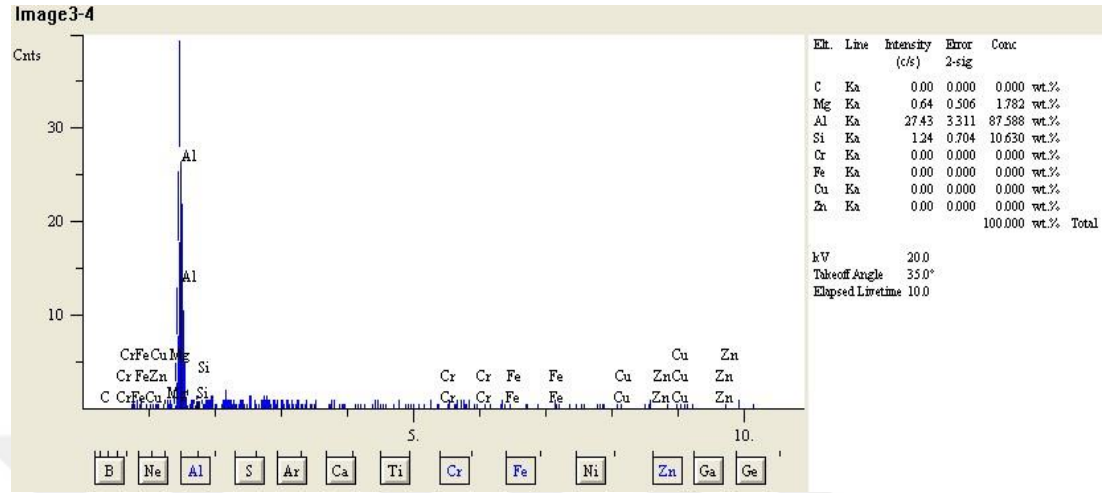
Taneciklerden uzak bölgeden alınan nokta analizinde Si oranı 2. Bölgede 1. Bölgeye daha düşük değere sahip olduğu saptanmıştır. 1. Bölgede %1.126 olan Si değeri 2. Bölgede %1.099 olarak görülmüştür.



Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	
Mg	Ka	0,87	0,589	0,296	ağ.%
Al	Ka	237,36	9,741	96,048	ağ.%
Si	Ka	0,50	0,447	0,575	ağ.%

Şekil 5.13. 500 Hz – 3 Nolu alan EDS analizi

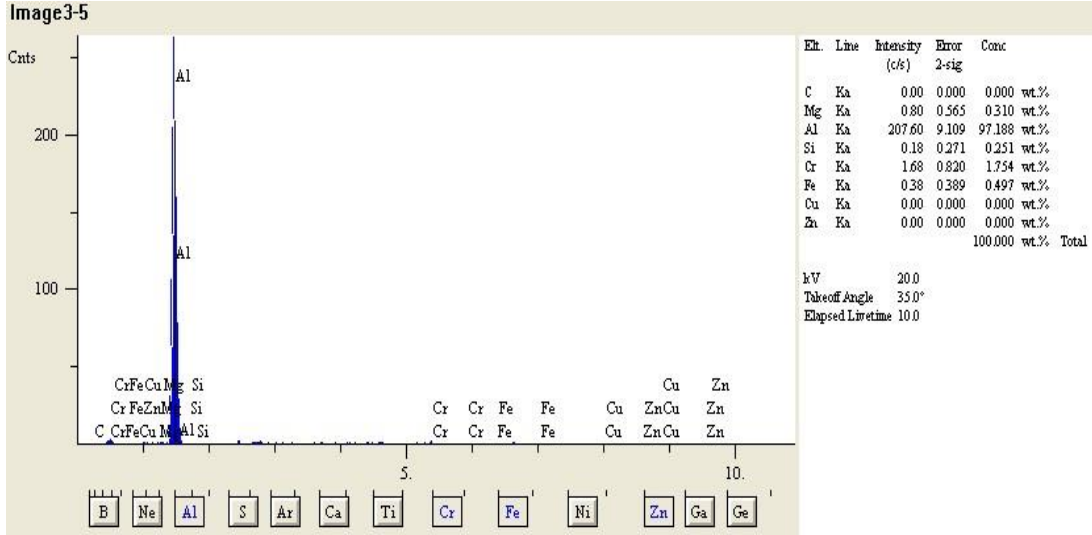
Tane sınırdan alınan (3. Bölge) nokta analizine göre 500 Hz titreşimde üretilen numunede görülen Si değeri %0,575 olarak şekil 5.13'te görülmüştür. 1. ve 2. Bölgedeki Si değerlerinden daha düşük bir değere sahip olduğu saptanmıştır



Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	
Mg	Ka	0,64	0,506	1,782	ağ.%
Al	Ka	27,43	0,704	87,588	ağ.%
Si	Ka	1,24	0,567	10,630	ağ.%

Şekil 5.14. 500 Hz – 4 Nolu alan EDS analizi

Şekil 514'te 4. Bölgede tane üzerinde alınan EDS analizi sonucunda Si oranı %10.630 olarak görülmüştür. Taneye yakın bölgede kılcal çatlaklar SiC ve gözeneklilik oranlarına etki etmektedir. Kılcal çatlakların genişliği artmasıyla Si oranının arttığı gözlemlenmektedir.

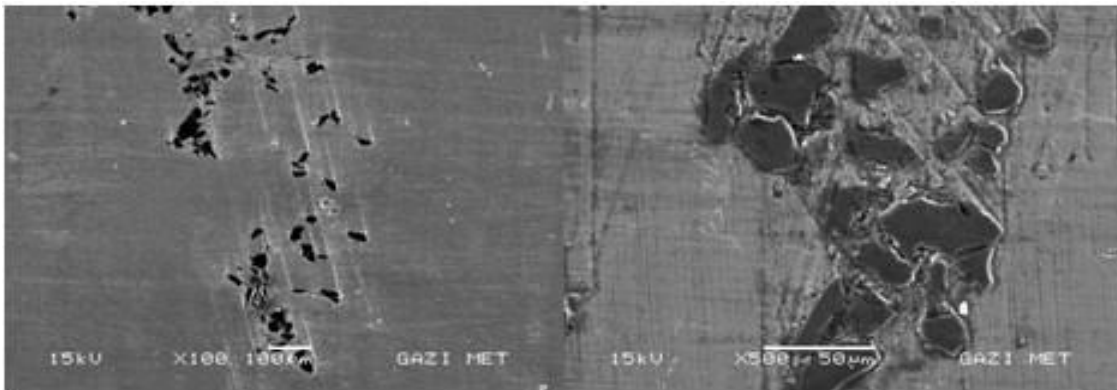


Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	
Mg	Ka	0,80	0,565	0,310	ağ.%
Al	Ka	207,60	9,109	97,188	ağ.%
Si	Ka	0,18	0,271	0,251	ağ.%
Cr	Ka	1,68	0,820	1,754	ağ.%

Şekil 5.15. 500 Hz – 5 Nolu alan EDS analizi

Şekil 5.15'te 5. Bölgeden alınan analiz sonuçlarına göre kılcal çatlakların genişliğinin azalması sonucu tane üzerinden alınan değerlerde Si oranının %0.251 olduğu görülmüştür.

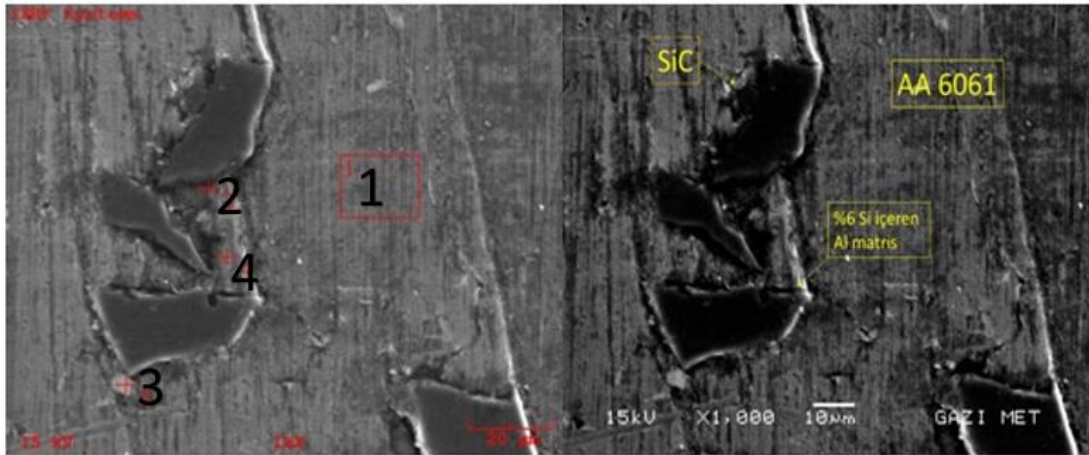
Şekil 5.16'da 1000Hz titreşim değerinde üretilen kompozitin SEM görüntüleri verilmiştir.



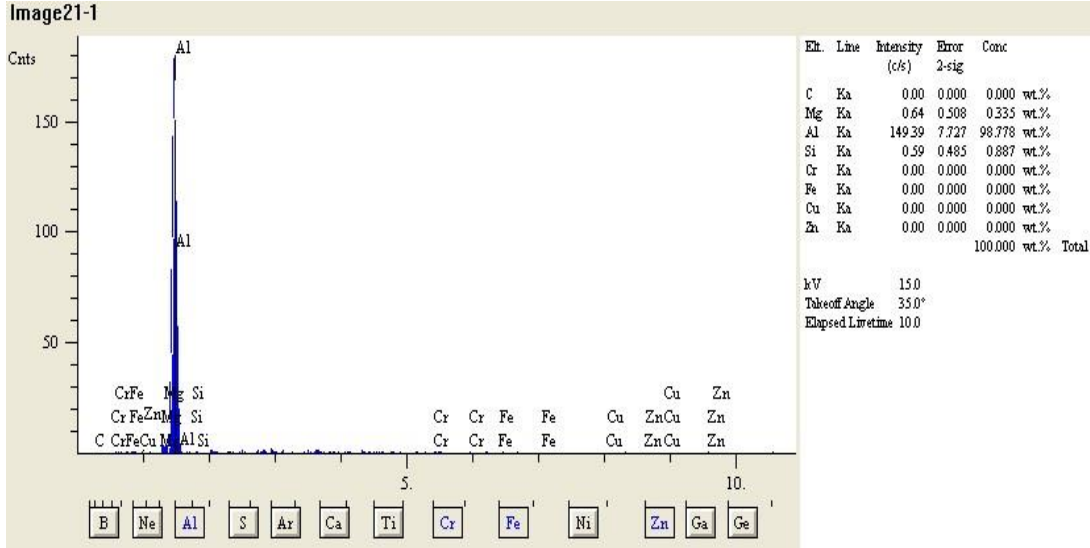
Şekil 5.16. 1000 Hz titreşimde vakum infiltrasyon yöntemiyle üretilen kompozit sem görüntüleri

Şekil 5.16'te verilen 1000 Hz titreşim ile vakum infiltrasyonu gerçekleştirilen %5 SiC takviyeli AA6061 matrisli numunenin 100X ve 500x büyütmede SEM görüntüleri incelendiğinde optik mikroskop görüntülerinde de görülen heterojen dağılım bu analizde de görülmüştür. Birbirine çok yakın konumlanan SiC tanelerine yaklaşıldığında tanelerin çok yakın olmasına rağmen titreşim frekansının artmasıyla taneler arasına matrisin aktığı saptanmıştır. SiC ve matris arasındaki gözeneklerin ise neredeyse kaybolduğu görülmüştür.

Şekil 5.17'de 1000 Hz titreşimle vakum infiltrasyon uygulanan numunenin EDS analiz sonuçlarına göre SEM görüntüsü verilmektedir. Daha az titreşimde üretilen numunelerde olduğu gibi bu numunenin matris ve tane analizleri AA6061 ve SiC kimyasal kompozisyonlarına uygun çıkmıştır. Fakat SiC takviyesi ile matris ara yüzeyinden alınan nokta analizinde Si oranı titreşimsiz olana göre daha fazla çıkmıştır. Fakat 500 Hz de üretilen numuneye göre az miktarda çıkmıştır.

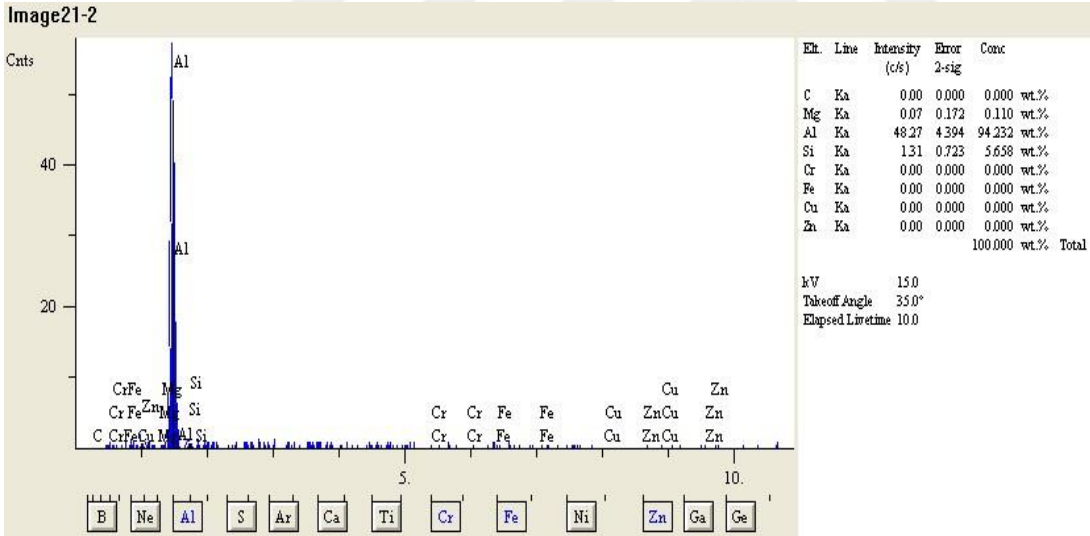


Şekil 5.17. 1000 Hz Titreşimde üretilmiş kompozit - EDS görüntüsü



Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	
Mg	Ka	0,64	0,508	0,335	ağ.%
Al	Ka	149,39	7,727	98,778	ağ.%
Si	Ka	0,59	0,485	0,887	ağ.%

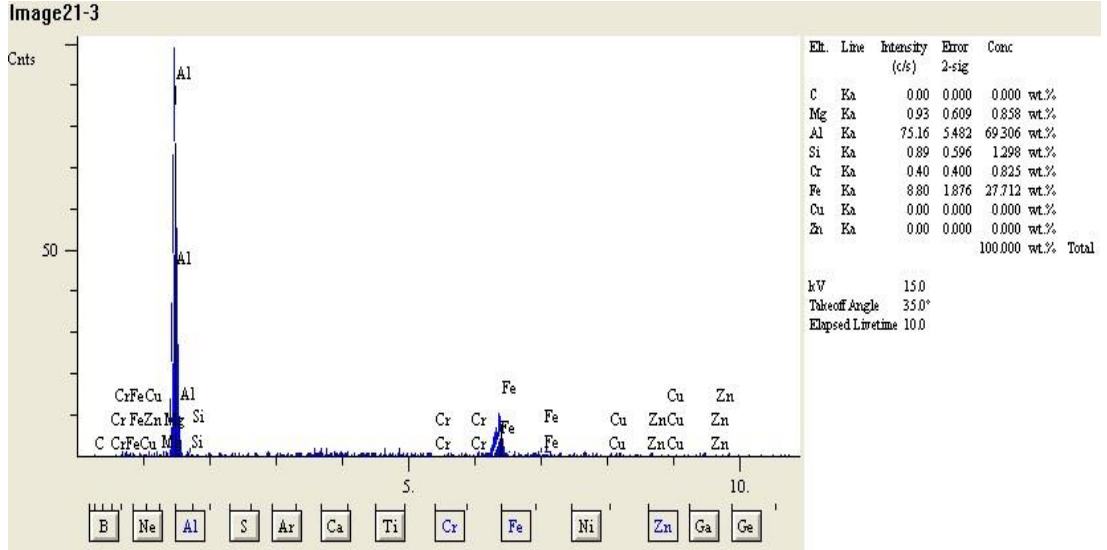
Şekil 5.18. 1000 Hz – 1 Nolu alan EDS analizi



Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	
Mg	Ka	0,07	0,172	0,110	wt.%
Al	Ka	48,27	4,394	94,232	wt.%
Si	Ka	1,31	0,723	5,658	wt.%

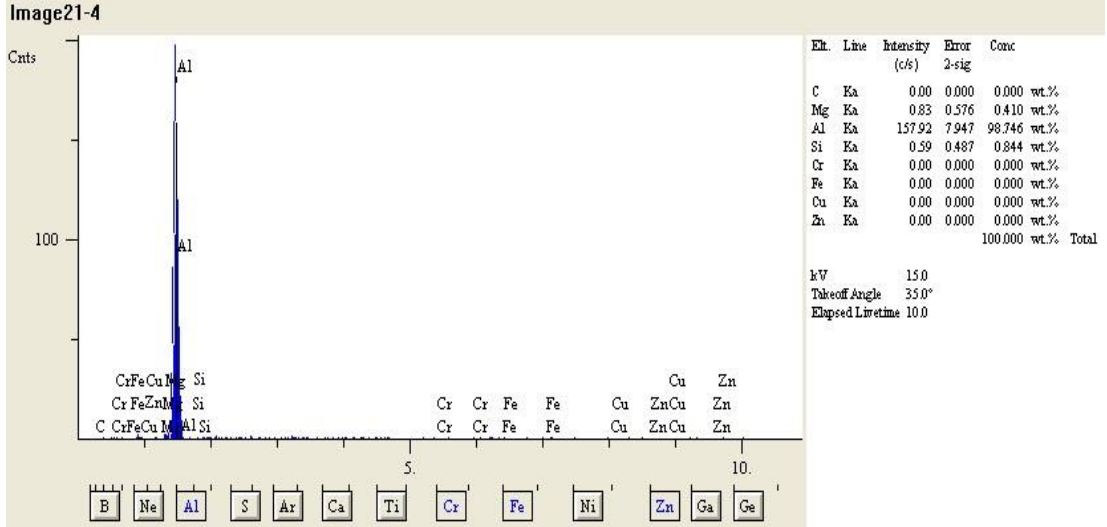
Şekil 5.19. 1000 Hz – 2 Nolu alan EDS analizi

1000 Hz titreşimde üretilen numunenin şekil5.19’da SEM görüntüsü ve EDS analizi incelendiğinde Si oranının en yüksek olduğu bölge 2. Bölge olarak görülmüştür. Bu analiz sonucu gözeneklerin azaldığı saptanmıştır.



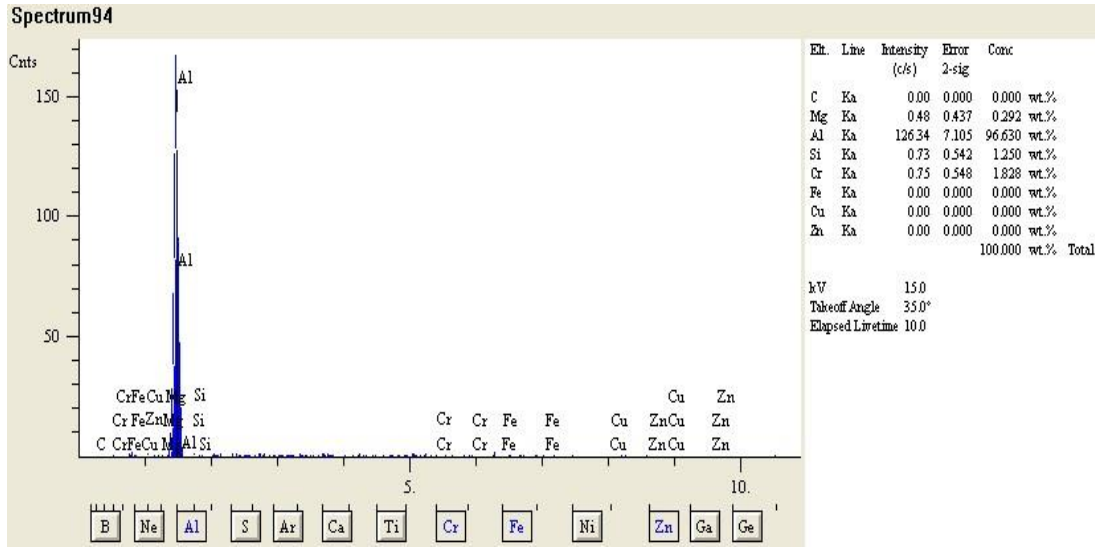
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	
Mg	Ka	0,93	0,609	0,858	ağ.%
Al	Ka	75,16	5,482	69,306	ağ.%
Si	Ka	0,89	0,596	1,298	ağ.%

Şekil 5.20. 1000 Hz – 3 Nolu alan EDS analizi



Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	
Mg	Ka	0,83	0,576	0,410	ağ.%
Al	Ka	157,92	7,947	98,746	ağ.%
Si	Ka	0,59	0,487	0,844	ağ.%

Şekil 5.21. 1000 Hz – 4 Nolu alan EDS analizi

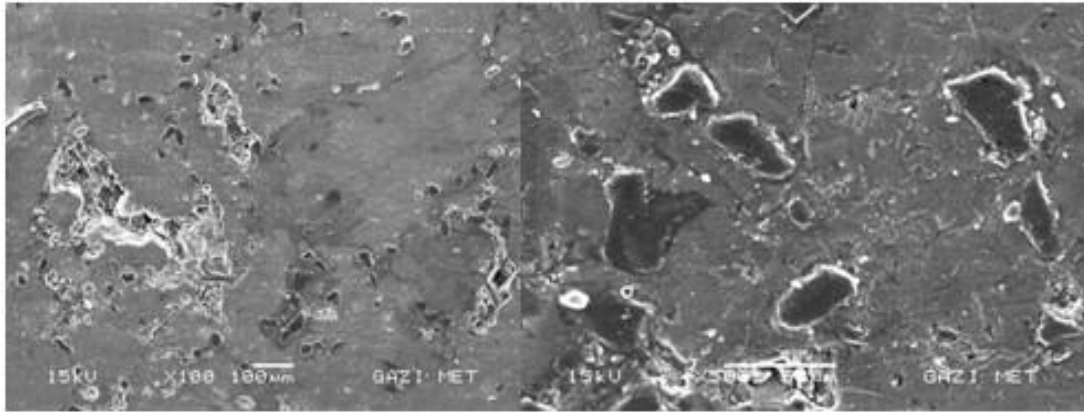


Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	
Mg	Ka	0,48	0,437	0,292	ağ.%
Al	Ka	126,34	7,105	96,630	ağ.%
Si	Ka	0,73	0,542	1,250	ağ.%
Cr	Ka	0,75	0,548	1,828	ağ.%

Şekil 5.22. 1000 Hz – Genel EDS analizi

1000 Hz titreşimde vakum infiltrasyon yöntemiyle üretilen numunede genel EDS analizi Şekil 5.22’de verilmiştir. Bu sonuca göre Si oranı %1.250 olarak görülmüştür.

Şekil 5.23’te 1500 Hz titreşim değerinde üretilen kompozitin SEM görüntüleri verilmiştir.



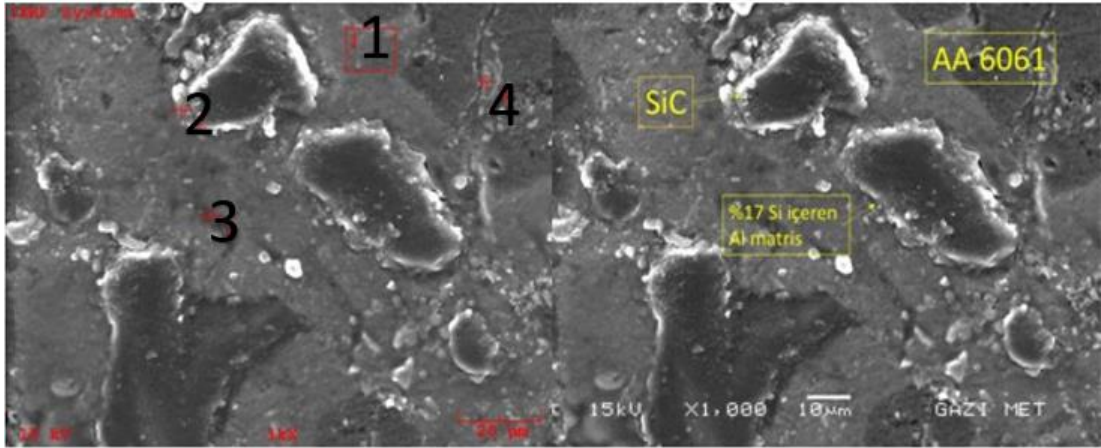
Şekil 5.23. 1500 Hz titreşimde vakum infiltrasyon yöntemiyle üretilen kompozit sem görüntüleri

Şekil 5.23’te verilen 1500 Hz titreşim ile vakum infiltrasyonu gerçekleştirilen %5 SiC takviyeli AA6061 matrisli numunenin 100X ve 500X büyütmede SEM görüntüleri incelendiğinde takviye elemanlarının dağılımının 1000 Hz frekansta

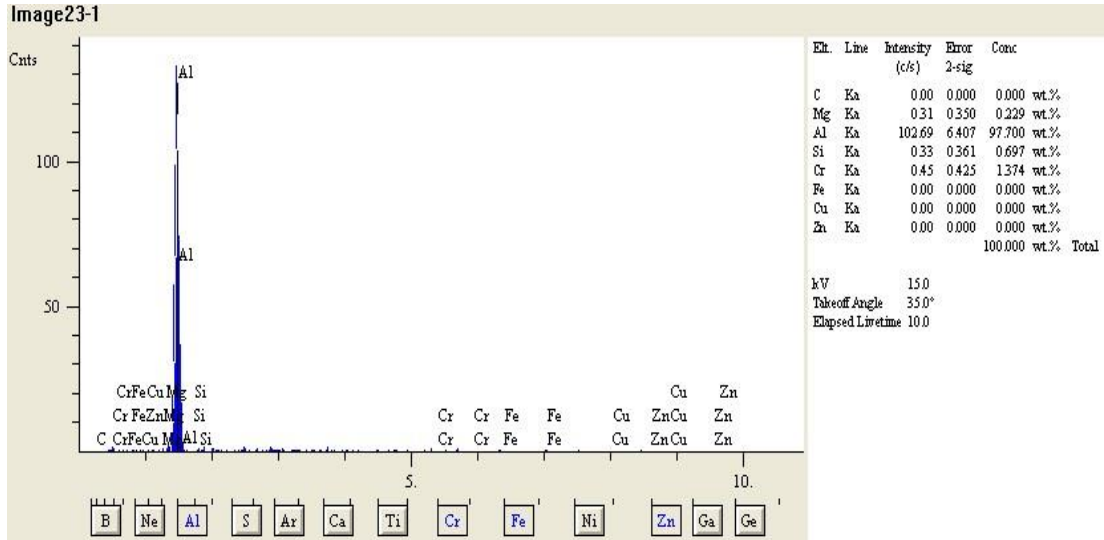
üretilen numunelere göre daha homojen oldukları saptanmıştır. Fakat titreşim frekansının artmasının etkisiyle matriste gözenekler oluştuğu belirlenmiştir. Tanelerin daha yakın görüntüsünde SiC ve matris arasındaki ıslanmanın daha az titreşimde üretilen numunelere göre çok daha iyi olduğu görülmüştür.

Titreşim miktarının artması ile infiltre olan matrisin daha fazla hareketinden dolayı katılaşma sırasında gözenekli yapıya neden olduğu söylenebilir.

Şekil 5.24'te 1500 Hz titreşimle vakum infiltrasyon uygulanan numunenin EDS analiz sonuçlarına göre SEM görüntüsü verilmektedir. Daha az titreşimde üretilen numunelerde olduğu gibi bu numunenin matris ve tane analizleri AA6061 ve SiC kimyasal kompozisyonlarına uygun çıkmıştır. Tüm numunelerde bu durum değişmemiştir. Fakat ara yüzeyde en yüksek Si elementi bu numunede bulunmuştur.

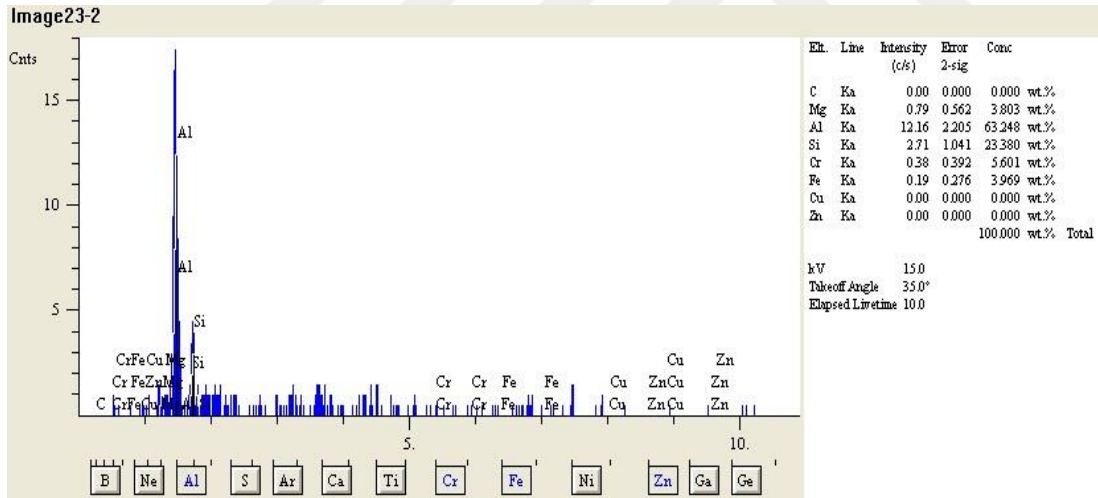


Şekil 5.24. 1500 Hz Titreşimde üretilmiş kompozit - EDS görüntüsü



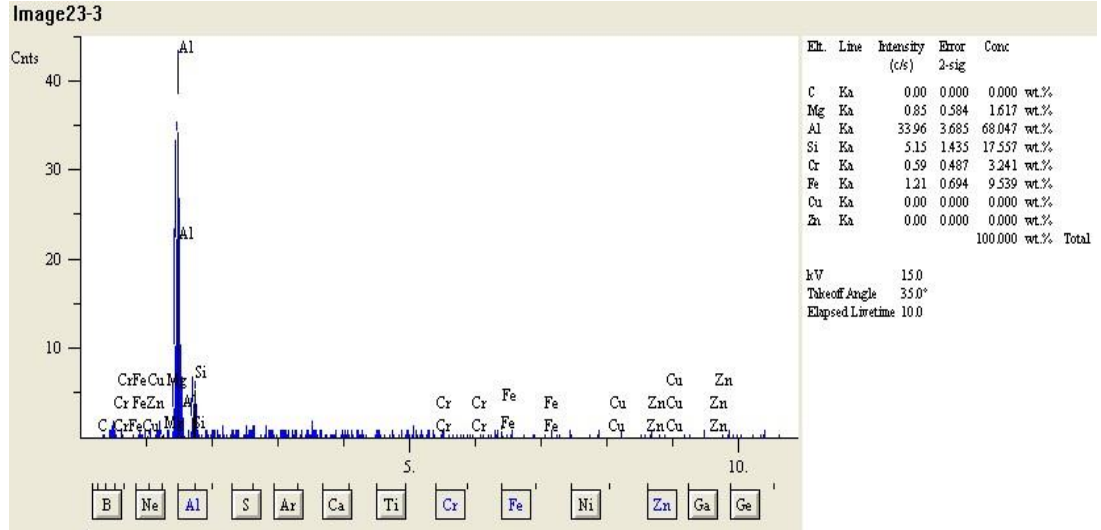
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	
Mg	Ka	0,31	0,350	0,229	ağ.%
Al	Ka	102,69	6,407	97,700	ağ.%
Si	Ka	0,33	0,361	0,697	ağ.%
Cr	Ka	0,45	0,425	1,374	ağ.%

Şekil 5.25. 1500Hz – 1 Nolu alan EDS analizi



Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	
Mg	Ka	0,79	0,562	3,803	ağ.%
Al	Ka	12,16	2,205	63,248	ağ.%
Si	Ka	2,71	1,041	23,380	ağ.%
Cr	Ka	0,38	0,392	5,601	ağ.%

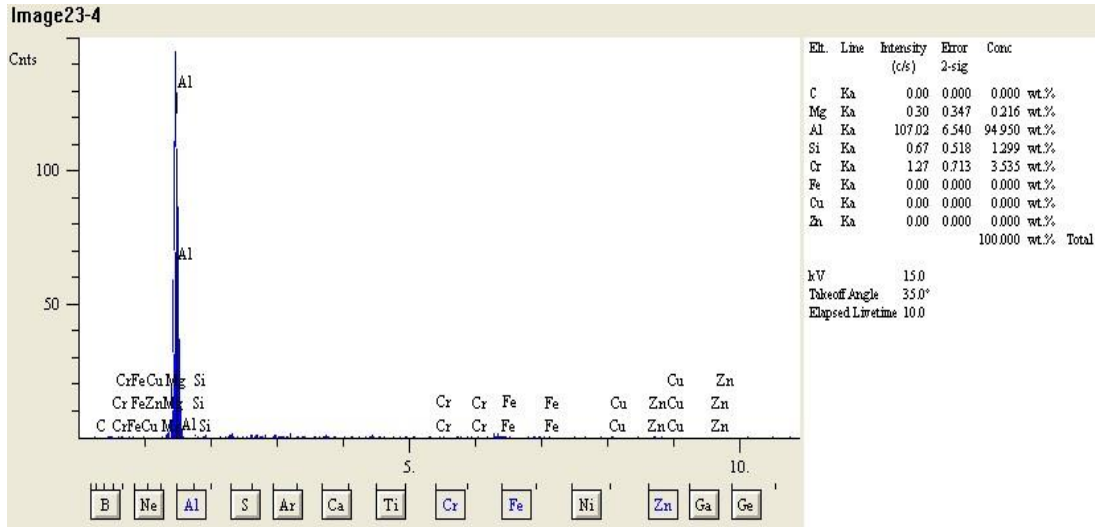
Şekil 5.26. 1500 Hz – 2 Nolu alan EDS analizi



Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	
Mg	Ka	0,85	0,584	1,617	ağ.%
Al	Ka	33,96	3,685	68,047	ağ.%
Si	Ka	5,15	1,435	17,557	ağ.%

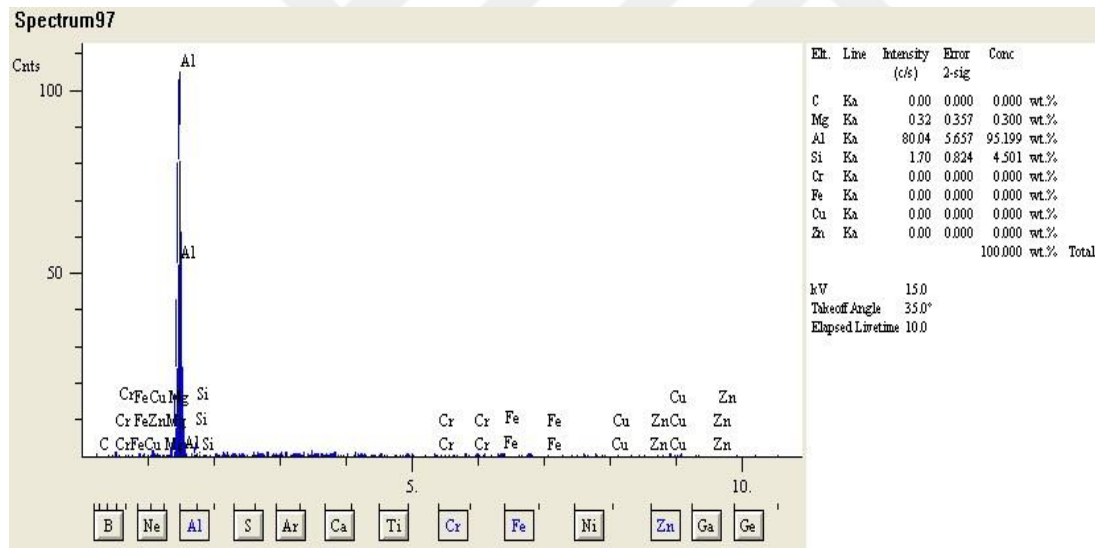
Şekil 5.27. 1500 Hz – 3 Nolu alan EDS analizi

Şekil 5.27’de gösterilmiş olan 1500 Hz frekansta infiltrasyon yöntemi ile üretilmiş numunenin analiz sonuçları verilmiştir. Titreşim frekansının artmasının etkisiyle matriste gözenekler oluştuğu belirlenmiştir. Tanelerin daha yakın görüntüsünde SiC ve matris arasındaki ıslanmanın daha az titreşimde üretilen numunelere göre çok daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.



Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	
Mg	Ka	0,30	0,347	0,216	ağ.%
Al	Ka	107,02	6,540	94,950	ağ.%
Si	Ka	0,67	0,518	1,299	ağ.%

Şekil 5.28. 1500 Hz – 4 Nolu alan EDS analizi



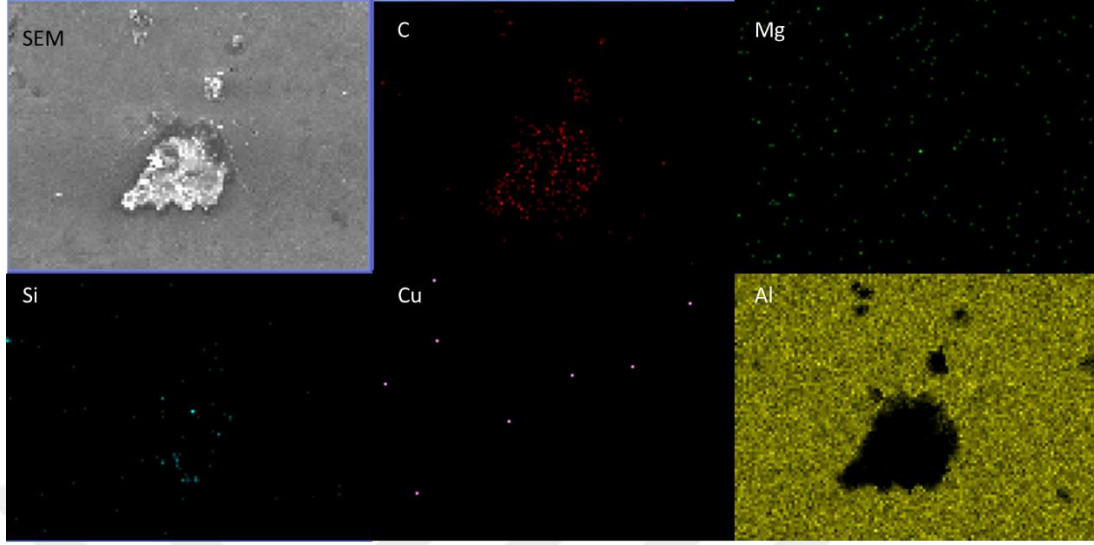
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	
Mg	Ka	0,32	0,357	0,300	ağ.%
Al	Ka	80,04	5,657	95,199	ağ.%
Si	Ka	1,70	0,824	4,501	ağ.%

Şekil 5.29. 1500 Hz – Genel EDS analizi

5.3.1. EDS Haritalama

Nokta EDS analizinde görülen matris- takviye arayüzeyindeki Si oranının artışı hakkında fikir sahibi olabilmek için bu arayüzeydeki oranın arttığını gösteren 500 Hz

de vakum infiltrasyonu gerçekleştiren numunede takviye tanesine yakın bölgeden EDS haritası çıkarılmıştır.



Şekil 5.30. 500Hz titreşimle üretilen %5 SiC takviyeli AA 6061 matrisli kompozit numunenin EDS haritalama analizi

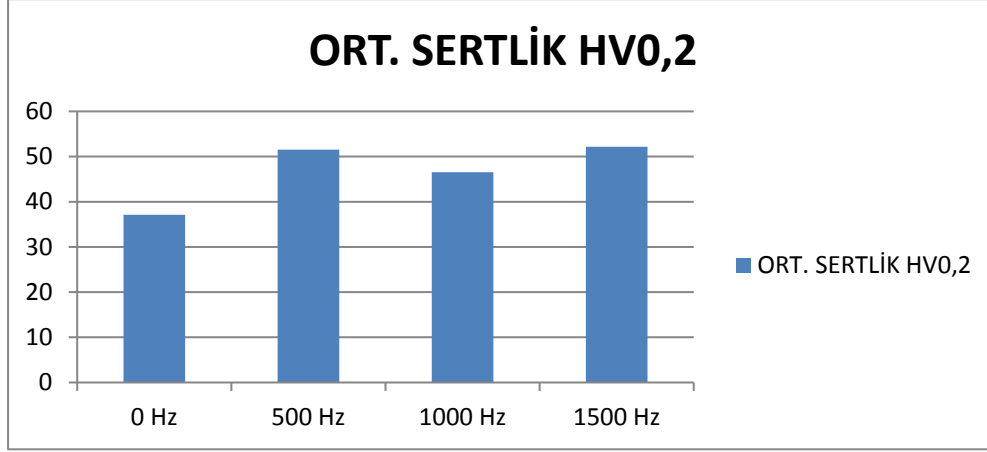
Şekil 30'da % 5 SiC parçacık takviyesi içeren AA 6061 matrisli kompozit numunede takviyeye yakın bölgesinden SEM görüntüsü alınmıştır. Bu görüntü üzerinden EDS ile haritalaması yapılmıştır. Haritalamaya bakıldığı zaman C ve Si elementinin bir arada bulunduğu fakat EDS analiz sırasında C'nun Si atomlarını baskılamasından dolayı C'nun daha baskın görüldüğü belirlenmiştir. Fakat C'nun baskılayamadığı Si oranının daha yüksek olduğu parçacık kenar kısımlarında Si atomlarının tespiti yapılmıştır. Takviye kenarlarında görülen Si atomlarının matris-takviye arayüzeyinde de oranının arttığı yukarıda yapılan noktasal EDS analizlerinde belirlenmiştir. AA 6061 alaşımında matrisinde Mg ve Cu atomlarının homojen olarak dağıldığı görülmüştür.

5.4. Sertlik Analizi Sonuçları

Çizelge 5.2'de ve Şekil5.30'da %5 SiC takviyeli AA6061 matrisli kompozitlerin sertlik değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.2. Ortalama sertlik değerleri

ORTALAMA DEĞER TABLOSU (HV0.2)			
0Hz	500 Hz	1000 Hz	1500 Hz
37,1 HV	51,54 HV	46,52HV	52,16 HV



Şekil 5.31. Ortalama numune sertlik grafikleri (HV0,2)

Farklı titreşim frekanslarında vakum infiltrasyon yöntemi ile üretilen %5SiC takviyeli AA 6061 matrisli numunelerin matrislerinin mekanik özelliklerinin nasıl etkilendiğini incelemek için matrislerinden 200 gr yük altında vickers sertlik cihazı ile mikrosertlik analizleri gerçekleştirilmiştir. Titreşimsiz numunenin sertlik değeri 37,1 HV bulunurken, 500 Hz titreşimde 51,5 HV, 1000 Hz titreşimde üretilen numunede ise 46,5 HV bulunmuştur. 1500 Hz titreşimde üretilen kompozit numunede ise sertlik değeri 52,2 olarak belirlenmiştir. 1000 Hz titreşimde üretilen numunenin SEM analizleri incelendiğinde SiC takviye tanelerinin homojen dağılmadığı saptanmış ve mekanik testleri daha az etkilediği ön görülmüştür. 1500 Hz de ise homojenliğin artması ile sertlik değeri arttığı söylenebilir. 2000 Hz titreşimde vakum infiltrasyon yöntemi ile üretim denemesi yapılmıştır fakat sonuç olumsuz olmuştur.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

%5 SiC takviyeli AA6061 matrisli kompozitler vakum infiltrasyon yöntemiyle 0 Hz, 500 Hz, 1000 Hz ve 1500 Hz titreşim uygulanarak üretilmiştir. Mikroyapı analizlerine bakıldığında 500 Hz numunede takviye elemanı dağılımının homojenliğinin en yüksek olduğu görülmüş. En yüksek sertlik değeri de 500 Hz titreşimde infiltre edilen numunenin matrisinden alınmıştır. Gözeneklilik oranlarına bakıldığında artan titreşim oranıyla düşmüştür. En düşük gözenek oranı 1500 Hz titreşimde görülmüştür.

Artan titreşim oranı ile beraber gözeneklilik azalmaktadır. En yüksek gözeneklilik oranı 0 Hz, en düşük gözeneklilik 1500 Hz titreşimde üretilmiş kompozittir.

Optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde artan titreşimle beraber homojenliğin arttığı gözlemlenmiştir.

SEM analizinde titreşimle beraber takviye malzemelerin etrafında gözenekliliğin azaldığı saptanmıştır.

Kompozitlerin sertliğinin artan titreşime göre sertliğin arttığı gözlemlenmiştir.

Öneriler;

Yapılan çalışmanın sonucunda Al matrisli SiC takviyeli kompozitlerin vakum infiltrasyon yöntemiyle üretilmesinde; sıcaklık, takviye türü, vakum değeri, süre gibi parametreler değiştirilerek titreşimin özellikler üzerine etkileri incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] <https://web.itu.edu.tr/~arana/IML212-N9.pdf> / MMK Üretim Yöntemleri İndirilme Tarihi : 20.04.2022.
- [2] Yrd. Doç. Dr. Ayşe Kalemtaş - Metal Matrisli Kompozitlere Genel Bir Bakış https://www.academia.edu/30520137/Metal_Matrisli_Kompozitlere_Genel_Bir_Bak%C4B1C59F– İndirilme Tarihi : 30.03.2022.
- [3] Surappa, M., (2003). "Aluminium Matrix Composites: Challenges and Opportunities", Sadhana, 28: 319-334
- [4] Madrid Institute for Advanced Studies of Materials (IMDEA-Materials) and Department of Materials Science, Polytechnic University of Madrid, E-28040, Madrid, Spain
- [5] Mahmoud, E.R.I. Takahashi, M. Shibayanagi, T. ve Ikeuchi, K., (2010). "Wear Characteristics of Surface-Hybrid-MMCs Layer Fabricated on Aluminum Plate by Friction Stir Processing", Wear, 268: 1111-1121.
- [6] <https://cdn.bartın.edu.tr/metalurji/d7ee7cd9-f063-4669-8e1c-393503ed6ffb/kompozitmalzemellersunu6metalmatrislikompozitler.pdf> - Metal Matrisli Kompozitler – İndirilme Tarihi : 14.05.2022.
- [7] <https://uslularhadde.com/metal-matrisli-kompozit-malzemeler> - METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER – İndirilme Tarihi : 14.05.2022.
- [8] Kaufman, J.G. ve Rooy, E.L., (2004). Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications: ASM International.
- [9] Kainer, K.U., (2006). Metal Matrix Composites: Custom-Made Materials For Automotive and Aerospace Engineering, John Wiley & Sons.0
- [10] Aveston J, Cooper GA, Kelly A (1971) In: The properties of fibre composites. IPC Science & Technology, Guildford, p 15
- [11] French JE (1996) In: Handbook of continuous fiber ceramic composites. Amer. Ceramic Soc, Westerville, OH, p 269
- [12] Burkland CV, Bustamante WE, Klacka R, Yang J-M (1988) In: Whisker- and fiber-toughened ceramics. ASM Intl, Materials Park, OH, p 225
- [13] Mortensen, A. Sanmarchi, C. ve Degischer, H., (2002). "Glossary of Terms Specific to Metal Matrix Composites", MMC-Assess Thematic Network.
- [14] Baradeswaran, A. Vettivel, S. Perumal, A.E. Selvakumar, N. ve Issac, R.F., (2014). "Experimental Investigation on Mechanical Behaviour, Modelling and

78 Optimization of Wear Parameters of B4C and Graphite Reinforced Aluminium Hybrid Composites", *Materials & Design*, 63: 620-632.

- [15] Chawla, K.K., (2012). *Composite Materials: Science and Engineering*, Springer.
- [16] Miracle, D., (2005). "Metal Matrix Composites – From Science To Technological Significance", *Composites Science and Technology*, 65: 2526-2540.
- [17] Metal Matrisli Kompozitler ve Mikroyapının Özelliklere Etkisi Hafta-4 MAK437-Mukavemet Artırıcı Sistemler ve Mikroyapı Tasarımı
- [18] Sutton, W., (1966). "Whisker Composite Materials- A Prospectus for The Aerospace Designer (Whisker Composite Materials, Discussing Potential of Whiskers, Utilization of Whisker Strength, Whisker Growth, Handling Whiskers and Composite Properties)", *Astronautics and Aeronautics*, 4: 46-51
- [19] Radhika, N. ve Subramanian, R., (2014). "Effect of Ageing Time on Mechanical Properties and Tribological Behaviour of Aluminium Hybrid Composite", *International Journal of Materials Research*, 105: 875-882.
- [20] Altinkök, N., (2014). "Optimization of Mechanical Properties of Hybrid Al₂O₃/SiCp Reinforced Composites Produced by Pressure-Assisted Aluminum Infiltration", *JOM*, 66: 909-919.
- [21] Totten, G.E. ve Mackenzie, D.S., (2003). *Handbook of Aluminum 1, Physical Metallurgy and Processes*, CRC Press
- [22] Kaczmar, J. Pietrzak, K. ve Włosiński, W., (2000). "The Production and Application of Metal Matrix Composite Materials", *Journal of Materials Processing Technology*, 106: 58-67.
- [23] Chen, L. Dong, Q. Zhao, M. Bi, J. ve Kanetake, N., (2005). "Synthesis of TiC/Mg Composites with Interpenetrating Networks by In Situ Reactive Infiltration Process", *Materials Science and Engineering: A*, 408: 125-130.
- [24] Mortensen, A., "Metal matrix composite in industry: An Overview" http://mmc-assess.tuwien.ac.at/public/mmc_in_ind.pdf.
- [25] Kainer, K.U., (2006). *Metal Matrix Composites: Custom-Made Materials For Automotive and Aerospace Engineering*, John Wiley & Sons.
- [26] Thirumalai, T. Subramanian, R. Kumaran, S. Dharmalingam, S. ve Ramakrishnan, S., (2014). "Production and Characterization of Hybrid Aluminum Matrix Composites Reinforced with Boron Carbide (B4C) and Graphite", *Journal of Scientific & Industrial Research*, 73: 667-670.
- [27] Zolotarevsky, V.S. Belov, N.A. ve Glazoff, M.V., (2010). *Casting Aluminum Alloys*, Elsevier.
- [28] Smith, W.F., (1993). "Structure and Properties of Engineering Alloys"

- [29] King, F., (1987). Aluminium and Its Alloys: Ellis Horwood Chichester
- [30] Baker, H. ve Okamoto, H., (1992). "ASM Handbook", Alloy Phase Diagrams, 3: 2.
- [31] Terry, B. ve Jones, G., (1990). "Metal Matrix Composites: Current Developments and Future Trends in Industrial Research and Applications", Elsevier Advanced Technology, Mayfield House, 256 Banbury Rd, Oxford OX 2 7 DH, UK, 1990. 154
- [32] Cornell, R. ve Bhadeshia, H., (1999). "Aluminium-Silicon Casting Alloys", University of Cambridge.
- [33] Çalın, R., Çıtak, R., "Designing of a powder compressing device with vibration and investigation of compressibility of MgO powders with this device", Materials & Design, 28: 2654-2657 (2007).
- [34] 7075, 6061 Ve 2024 Alüminyum Alaşımlarının Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğü ve Takım Aşınmasının Karşılaştırılması - Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi – Muharrem PUL
- [35] M. Senthil Kumar & L. Natrayan, "Processing and Characterization of AA2024/Al₂O₃/SiC Reinforced Hybrid Composites Using Squeeze Casting Technique," Iranian Journal of Materials Science and Engineering

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Murat ARI

Doğum Tarihi :

Yabancı Dil :

Eğitim Durumu

(Kurum ve Yıl)Lisans : Cumhuriyet Üniversitesi / 2017 Makine Mühendisliği

Yüksek Lisans : Kırıkkale Üniversitesi / Savunma Teknolojileri

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl/Yıllar :

PROMEC MÜHENDİSLİK & DANIŞMANLIK LTD. ŞTİ. 2023/....

ASSAN GROUP MAKİNE SAVUNMA SANAYİ A.Ş 2021/2023

Netmak Kesici Takımlar LTD. ŞTİ. 2019/2020

Yayınları (Diğer) :

2 nd International Congress on Multidisciplinary Natural Sciences and
Engineering ISBN: 978-605-72864-2-0

SiC Takviyeli AA6061 Matrisli Kompozit Malzemelerin Vakum Infiltrasyon
Yöntemi ile Üretilmesinde Titreşimin Etkisinin İncelenmesi

Araştırma Alanları : Kompozit Malzemeler, Üretim Yöntemleri