

**METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEME ÜRETİM
SİSTEMİ İMALATI VE PERFORMANSININ
İNCELENMESİ**

**2016
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

İsmailKAYABAŞI

**METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEME ÜRETİM SİSTEMİ İMALATI
VE PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

İsmail KAYABAŞI

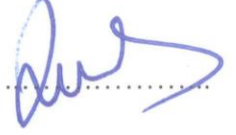
**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2016**

İsmail KAYABAŞI tarafından hazırlanan “METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEME ÜRETİM SİSTEMİ İMALATI VE PERFORMANSININ İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Gökhan SUR

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 30/ 06/ 2016

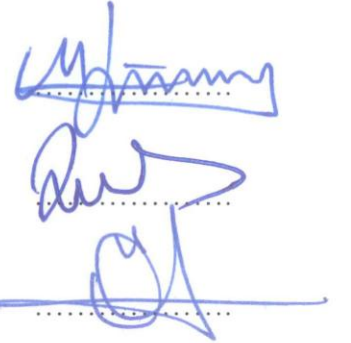
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Mustafa GÜNAY (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Gökhan SUR (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ömer ASAL (GÜ)



...../...../2016

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

İsmail KAYABAŞI



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEME ÜRETİM SİSTEMİ İMALATI VE PERFORMANSININ İNCELENMESİ

İsmail KAYABAŞI

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Gökhan SUR

Haziran 2016, 71 sayfa

Kompozit malzemeler hafif ve yüksek performanslı olması nedeni ile otomotiv, havacılık, uzay sanayi ve nükleer enerji gibi yapısal alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu alanlarda yaygın olarak kullanılan malzemelerden birisi de metal matris kompozitlerdir. Metal matris kompozit üretiminde matris malzemesi olarak Ti, Al, Mg, takviye elemanı olarak da SiC, Al₂O₃, SiO₂, MgO ve TiC; yaygın olarak yararlanılmaktadır. Toz metalurjisi, in-situ, infiltrasyon, ve karıştırmalı döküm tekniği gibi yöntemler metal matris kompozitlerin imal edilmesinde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada metal matris kompozit imalatını gerçekleştirebilmek için üretim sistemi imal edilmiştir. İmal edilen üretim sisteminin çalışma verimliliğini belirlemek amacıyla; ergimiş metal karıştırma tekniği ile basınç altında döküm yöntemi kullanılarak bir adet takviyesiz AA 6060 matris malzemesi ve iki adet SiC takviyeli AA 6060 matrisli MMK imal edilmiştir. İmal edilen metal matris

kompozitin hacimce SiC takviye oranı % 7 ve % 10'dur. İmal edilen metal matris kompozitin performansının incelenmesi için mikro yapı ve mekanik karakteristikleri analiz edilmiştir. Yapılan mikro yapı analizinde metal matrisli kompozitin kısmen homojen olduğu görülmüştür. Yapılan sertlik analizinde hacimce % 10 SiC içeren metal matris kompozitin en yüksek sertliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Yoğunluk değeri ölçümü sonucunda SiC takviyeli metal matrisli kompozitte takviye oranı hacmi arttıkça malzemenin yoğunluğu da artmıştır.

Anahtar Sözcükler : Kompozit malzemeler, metal matris kompozit, karıştırmalı döküm tekniği, mikro yapı, mekanik özellikler.

Bilim Kodu : 914.1.193

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

FABRICATION OF METAL MATRIX COMPOSITE PRODUCTION SYSTEM AND ITS PERFORMANCE REVIEW

İsmail KAYABAŞI

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr.GökhanSUR

June2016,71 pages

Composite materials are widely used in structured areas such as automotive aviation, space industry and nuclear energy due to their light weight and high performance. One of the widely used materials in such areas is metal matrix composites. Production of the metal matrix composite as the matrix material Ti, Al, Mg; as reinforcement SiC, Al₂O₃, SiO₂, MgO and TiC are widely used. Powder metallurgy, in-situ, infiltration and stir casting methods are techniques which are used in the manufacture of metal matrix composites.

In this study, we have manufactured a production system to perform the production of metal matrix composite. To identify the operating efficiency of the production system which has been manufactured, by using casting method under pressure and molten metal blending technique, we have manufactured one unreinforced AA6060 matrix material and two SiC reinforced AA6060 matrix MMK. SiC AA6060

reinforcement ratio of the metal matrix composite what has been manufactured by volume is 7% and 10%. Their micro structure and mechanic characteristics have been analyzed to examine the performance of the metal matrix composite that has been manufactured. According to the microstructure analysis, it has been observed that composite with metal matrix is homogeneous in part. According to the hardness analysis, it has been identified that metal matrix composite containing 10% SiC has the highest hardness. As a result of the density value measurement, as the volume of the reinforcement ratio in the metal matrix composite with SiC reinforcement increases, the density of the material increases.

Key Word : Composite materials, metal matrix composite, stir casting technique, micro structure, mechanical properties.

Science Code : 914.1.193

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. GökhanSUR'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Kompozit malzeme üretimi için gerçekleştirilen deneylerin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, Arő. Gör. Abdullah UğUR'a teşekkür ederim.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımını esirgemeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

| | |
|---|------|
| KABUL..... | ii |
| ÖZET..... | iv |
| ABSTRACT..... | vi |
| TEŞEKKÜR..... | viii |
| İÇİNDEKİLER | ix |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | xi |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | xiii |
| | |
| BÖLÜM 1. | 1 |
| GİRİŞ | 1 |
| | |
| BÖLÜM 2. | 7 |
| KOMPOZİT MALZEMELER..... | 7 |
| 2.1. KOMPOZİT MALZEMELERİN YAPISI..... | 8 |
| 2.2. KOMPOZİTLERİN ÖZELLİKLERİ..... | 9 |
| 2.3. KOMPOZİT MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI..... | 10 |
| 2.3.1. Polimer Matris Kompozitler | 11 |
| 2.3.2. Seramik Matris Kompozitler | 11 |
| 2.3.3. Elyaf Takviyeli Kompozitler | 13 |
| 2.3.4. Kılcal Kristal Takviyeli Kompozitler | 14 |
| 2.3.5. Partikül Takviyeli Kompozitler | 15 |
| 2.3.6. Plaka Takviyeli Kompozitler | 16 |
| 2.3.7. Karma Takviyeli Kompozitler | 16 |
| 2.3.8. Metal Matris Kompozitler | 17 |
| 2.3.8.1. Metal Matris Kompozit Tipleri..... | 18 |
| 2.3.8.2. Sık Karşılaşılan Metal Matris Kompozitlerin Matris Malzemeleri | 19 |
| 2.3.8.3. Metal Matrisli Kompozitlerin Takviye Elemanları..... | 27 |

| | |
|--|-----------|
| 2.3.8.4. Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Teknikleri | 30 |
| BÖLÜM 3. | 39 |
| MATERYAL VE METOD | 39 |
| 3.1. MMK MALZEMELERİN ÜRETİMİNDE KULLANILAN MAKİNA VE EKİPMANLAR | 39 |
| 3.1.1. Dikey Ergitme Fırını | 40 |
| 3.1.2. Karıştırıcı | 44 |
| 3.1.3. Taşıyıcı Gövde | 45 |
| 3.1.4. Hidrolik Pres | 46 |
| 3.1.5. Kalıp | 47 |
| 3.1.6. Asansör Tertibatı | 48 |
| 3.2. MMK ÜRETİMİNDE KULLANILAN MATRİS MALZEMESİ | 49 |
| 3.3. MMK ÜRETİMİNDE KULLANILAN TAKVİYE ELEMANI | 49 |
| 3.4. TAKVİYESİZ MATRİS MALZEMESİ VE PARÇACIK TAKVİYELİ MMK'LERİN ÜRETİLMESİ | 49 |
| 3.5. METALOGRAFİK İNCELEMELER | 54 |
| 3.6. SERTLİK ÖLÇÜM YÖNTEMİ VE CİHAZI | 55 |
| 3.7. YOĞUNLUK VE GÖZENEKLİLİK BELİRLENMESİ | 55 |
| BÖLÜM 4. | 57 |
| DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA | 57 |
| 4.1. METALOGRAFİK İNCELEMELER | 57 |
| 4.2. MEKANİK ÖZELLİKLERİ | 59 |
| 4.2.1. Sertlik Ölçüm Sonuçları | 59 |
| 4.2.2. Yoğunluk Ölçümleri Ve Gözenek Miktarının Belirlenmesi | 61 |
| BÖLÜM 5. | 63 |
| SONUÇ VE ÖNERİLER | 63 |
| KAYNAKLAR | 66 |
| ÖZGEÇMİŞ | 71 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

| | |
|---|----|
| Şekil 2.1. Parçacık takviyeli kompozitin içindeki yapılar..... | 8 |
| Şekil 2.2. Kompozitlerin takviye malzemesi şekline göre sınıflandırılması..... | 11 |
| Şekil 2.3. Farklı tip MMK şekilleri..... | 19 |
| Şekil 2.4. Karıştırmalı döküm tekniğinin şematik gösterimi..... | 34 |
| Şekil 2.5. Sıvı metal emdirme teknikleri..... | 36 |
| Şekil 2.6. Püskürtme halinde biriktirmeli döküm tekniğinin şematik görünümü | 37 |
| Şekil 2.7. In-situ tekniğinin şematik gösterimi | 38 |
| Şekil 3.1. Kompozit malzeme üretim ünitesi ve kompozitin imalinde kullanılan yardımcı araç gerece ait görseller | 39 |
| Şekil 3.2. Fırın duvarına yerleştirilen rezistantlar | 41 |
| Şekil 3.3. Dikey ergitme fırını..... | 41 |
| Şekil 3.4. Termokupl ve koruyucu atmosfer gaz borusu..... | 42 |
| Şekil 3.5. Ergitme fırını panosu ve elektrik bağlantı işlemleri..... | 43 |
| Şekil 3.6. Seramik boru | 44 |
| Şekil 3.7. Karıştırma işleminde için kullanılan matkap tezgahı..... | 45 |
| Şekil 3.8. Taşıyıcı gövde | 46 |
| Şekil 3.9. Hidrolik pres. | 47 |
| Şekil 3.10. Kalıbın 3 boyutlu kesit görünüşü | 48 |
| Şekil 3.11. Asansör tertibatı. | 48 |
| Şekil 4.1. AA 6060matrisinmikro yapı görüntüleri..... | 57 |
| Şekil 4.2. % 7 SiC takviyeli kompozit mikro yapı görüntüleri | 58 |
| Şekil 4.3. % 10 SiC takviyeli kompozit mikro yapı görüntüleri | 58 |
| Şekil 4.4. Deney numunelerinin sertlik oranları..... | 60 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | <u>Sayfa</u> |
|--|---------------------|
| Çizelge 2.1. Dövme alüminyum alaşımlarının başlıca nitelikleri | 21 |
| Çizelge 2.2. Döküm alüminyum alaşımlarının başlıca nitelikleri..... | 22 |
| Çizelge 2.3. Yüksek yoğunluklu alüminyumun kendine özgü özellikleri | 28 |
| Çizelge 3.1.AA 6060'e ait teorik değer aralıkları, spektral analiz sonuçları ve sertlik değeri | 49 |
| Çizelge 3.2. Üretimi gerçekleştirilen deney numuneleri..... | 50 |
| Çizelge 4.1. İmalatı gerçekleştirilen malzemelerin brinell sertlik değerleri | 59 |
| Çizelge 4.2. İmal edilen malzemelerin yoğunlukları ve % gözenek miktarları | 61 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

| | |
|--|---------------------|
| Al | : alüminyum |
| Cu | : bakır |
| Ni | : nikel |
| Ti | : titanyum |
| Mg | : magnezyum |
| Fe | : demir |
| Si | : silisyum |
| Pb | : kurşun |
| Sn | : kalay |
| Zn | : çinko |
| MgCO ₃ | : manyezit |
| MgCO ₃ .CaCO ₃ | : dolomit |
| KCl.MgCl ₂ .6H ₂ O | : karnalit |
| MgO | : mangan oksit |
| Al ₂ O ₃ | : alüminyum oksit |
| SiO ₂ | : silisyum oksit |
| B | : bor |
| C | : karbon |
| SiC | : silisyum karbür |
| Si ₃ N ₄ | : silisyum nitrid |
| Nb-Ti | : niyobyum-titanyum |
| Nb ₃ Sn | : niyobyum kalay |
| TiB ₂ | : titanyum diborür |
| TiC | : titanyum karbür |
| B ₄ C | : bor karbür |
| WC | : volfran karbür |

KISALTMALAR

MMK : Metal Matris Kompozit

PMK : Polimer Matris Kompozit

SMK : Seramik Matris Kompozit



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Otomotiv, havacılık, nükleer enerji üretimi, okyanusun derinliklerindeki çalışmalarda ve diğer yapısal alanlarda;

- hafif ve yüksek performanslı malzemelere duyulan kritik ihtiyaç ile,
- alışılmış monolitik metal malzemelerin ve alaşımların kombinasyon özelliklerinin (belirli bir kuvvet, sertlik, aşınma oranı gibi) sınırlamaları nedeniyle;

kompozit formunda karma malzemelerin geliştirilmesi söz konusu olmuştur[1].

Kompozit malzeme; birbiri içinde çözünemeyen, farklı kompozisyonlara sahip iki veya daha fazla maddeyi içeren malzemeler sistemi olarak adlandırılır. Kompozitlerde, yapı taşlarını oluşturan her bir malzeme kendi orijinal özelliklerinde iken; birleştirildiklerinde ise üstün özellikler elde edilir. Kompozit malzemeler; temel faz olan matris malzemesi ile takviye fazı olarak adlandırılan takviye elemanı içeren, iki veya daha fazla malzemenin birleşimidir [2].

Kompozit malzemelerde takviye elemanı, şekillerine göre ayırt edilir[3]. Kompozit malzemelerde takviye elemanı; ipliksi, lif, lamel veya tel örgü şeklinde olabilir. Takviye elemanları, kompozit malzemelerin mukavemet ve sertliğini artırabilir veya kırınım mekanizmasını avantaj sağlayacak şekilde değiştirebilir[4].

Kompozit malzemeler, malzemenin bir bilim dalı olarak 1960'ların başında ortaya çıkmasıyla; esas olarak malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için geliştirilmiştir. Kompozit malzemeler; endüstriyel tasarımları uygun zamanda birleştiren ve ürün güvenilirliğini sağlayan fiziksel ve mekanik özellikleri nedeniyle endüstrinin çeşitli alanlarında yer alır. Son zamanlarda; gemi ve makine yapımı, havacılık ve uzay teknolojileri, ev ve endüstriyel yapılarda kullanılmakta olan

kompozit malzemelerde; yüksek dayanım, korozyon direnci, aşınma direnci, estetik özeliği, düşük ağırlık, yorulma ömrü, sıcaklığa bağlı davranışı, ısı yalıtımı, termal iletkenlik ve ses yalıtımı gibi özellikler geliştirilebilir[5,6].

Fakat bu özelliklerin hepsini içeren bir malzeme üretmek imkansızdır. İhtiyaç duyulan yer ve özelliğe göre kompozit malzemenin istenen özellikleri iyileştirilebilir. Böylece, ihtiyaca uygun kompozit malzeme elde edilir[7].

Kompozit malzemeler çok çeşitli yollardan sınıflandırılabilir. Olası sınıflandırmalardan biri de; kompozit malzemeleri alışılmış ve sentetik kompozitler olarak ikiye ayırmaktır. Alışılmış kompozitler, doğada var olan ya da çok uzun zaman diliminde, farklı uygarlıklar tarafından üretilen malzemelerdir. Ahşap, doğal oluşun kompozit malzeme iken; inşaat yapımında kullanılan beton ile yol yapımında kullanılan asfalt alışılmış kompozit malzemedir. Sentetik kompozitler; bileşenleri öncelikle ayrı ayrı üretilen, daha sonra ise; istenen yapı, özellik ve bölüm geometrisini elde etmek için kontrollü bir şekilde birleştirilen, genelde üretim endüstrisi ile ilişkili, modern malzeme sistemleridir. Bu sentetik malzemeler, genellikle mühendislik üretimi çerçevesinde oluşturulabilir bileşiklerdir[8]. Sentetik kompozit malzemeler, içeriğinde bulunan matris malzemesinin çeşitine ve takviye elemanının şekline göre iki farklı şekilde gruplandırılmaktadır [9].

Metal matris kompozitler (MMK), metalik matris içinde sert takviye fazının birleşmesiyle meydana gelen mühendislik malzemelerdir. MMK'ler, yüksek mukavemet, sertlik gibi daha özel özelliklere ve daha az yoğunluk gösteren özelliğe sahip malzemelerdir. MMK'in matris malzemesi; alüminyum, magnezyum, bakır ve alaşımları gibi metaller içerir. Takviye elemanı malzemeleri; sürekli elyaf veya sürekli olmayan elyaf/partikül biçiminde alumina, silisyum karbür, bor nitür gibi seramik malzemelerdir. Bu malzemeler, tek malzemedен elde edilmesi zor özellikler gösteren iki veya daha fazla malzeme kombinasyonundan oluşmaktadır. Matris malzemesi; hem takviye bileşenleri üzerine uygulanan gerilimi dağıtır, hem de koruyarak kompozit malzemesine şeklini verir. Takviye elemanı tercihi ile kompozit malzemenin istenen mekanik özellikleri oluşturulur ve mukavemeti sağlanır. Takviye elemanını tel, kılcal kristal veya partikül ve sürekli yada süreksiz fiber şeklinde olup;

kompozit içinde farklı yüzde hacim oranı dağılımı kompozitin özelliklerini [10,11]. MMK'lerin çok sayıda karakteristik özelliği vardır[12].MMK'lerin 4 farklı türü vardır ve bunlar aşağıda belirtilmiştir:

- Partikül takviyeli MMK
- Kısa fiber veya kılcal kristal MMK
- Sürekli elyaf veya yaprak takviyeli MMK
- Levha veya katmanlı MMK[13].

MMK'lerin takviye elemanı malzemeleri; sürekli elyaf, kısa elyaf, kılcal kristal veya parçacık biçiminde üretilebilir. Bu parametreler, bize en-boy oranı olarak adlandırılan takviye elemanını, farklı şekiller arasından ayırt etmemize izin verir. En-boy oranı önemsiz, fakat; elyaf, partikül veya kılcal kristalin çap-uzunluk oranı önemlidir. Böylece, mükemmel eş eksenli parçacıklar tek bir en-boy oranına sahip iken, sürekli elyaf sonsuza yaklaşabilen bir en-boy oranına sahiptir. MMK'lerde, bazı önemli sürekli elyaf takviyeli kompozitler; Al_2O_3 , $Al_2O_3 + SiO_2$, B, C, SiC, Si_3N_4 , Nb-Ti, Nb_3Sn , süreksiz elyaflardan kılcal kristaller; SiC, TiB_2 , Al_2O_3 , süreksiz elyaflardan kısa fiberler; Al_2O_3 , SiC, $(Al_2O_3 + SiO_2)$, karbon elyaflar ve partiküller; SiC, Al_2O_3 , TiC, B_4C , WC'dir [13].

Matris ve takviye elemanından meydana gelen MMK'lerin üretimi için birçok farklı üretim tekniği geliştirilmiştir [12]. Geliştirilen bu üretim teknikleri alışılmış malzemelere göre avantajları olan MMK'lerin üretim maliyetlerini düşürmek ve ürün kalitesini artırmak için kullanılmaktadır[14]. Üretim teknikleri seçiminde MMK'in matrisine, takviye elemanının cins ve formuna, arzu edilen fiziksel ve mekaniksel niteliğine ve imalatı gerçekleştirilecek parçanın formuna dikkat edilir. Seçilen her üretim tekniğinin yararlı ve zararlı yönleri mevcuttur [7].

MMK'in üretim tekniklerinin sınıflandırılması metal matrisin sıcaklığına bağlıdır. Buna göre üretim teknikleri:

- Katı hal üretim tekniği,
- Sıvı-katı hal üretim tekniği ve
- Sıvı hal üretim tekniğiolarak sınıflandırılır[14].

Katı hal üretim tekniği, takviye elemanı ile matrisin arasındaki kimyasal etkileşimi en az düzeye indirmek için kullanılabilir. Her iki fazın katı halde yayılma gücü çok daha düşük kalır. Bu yaklaşım, titanyum MMK üretmek için uygundur. Çünkü ergimiş titanyum; çok reaktif ve neredeyse herhangi olası takviye elemanını indirgemektedir [15].

Sıvı-katı hal üretim tekniği “Rheocasting” veya “Compcasting” olarak da isimlendirilebilir. Bu yöntemin geliştirilmesinin nedenlerinden biri de sıvı hal üretim tekniğindeki takviye elemanının ıslanabilirlik sorununun çözmek istenilmesidir[14]. Takviye elemanı partikülleri güçlü bir şekilde çalkalanarak katılaştıran eriyiğe eklenip üretilen kompozit üretme yöntemine sıvı- katı üretim tekniği adı verilir[16].

Ticari olarak katı hal üretim tekniği üzerinde sıvı üretim tekniğinin doğal bir avantajı bulunmakta olup bu nedenden dolayı, birçok uygulamada sıvı hal üretim tekniği kullanılmaktadır. Sıvı hal üretim tekniğinin avantajları şunlardır:

- Sıvı metalin tozlara göre elde edilmesindeki kolaylık ve
- Sıvı metal tozlara göre düşük fiyatlı olmasıdır[17].

Sıvı hal üretim yöntemi, kendi içinde başlıca dört bölüme göre sınıflandırılmaktadır, bunlar aşağıda belirtilmiştir:

- Karıştırmalı döküm tekniği
- Sıvı metal emdirme tekniği
- Püskürtme halinde biriktirmeli döküm tekniği
- In-situ tekniği[9].

Karıştırmalı döküm tekniği ile MMK'lerin parçalarının bir araya getirilmesi şu şekilde meydana gelir; öncelikle seçilen MMK'in matris malzemesi ergitilir. Daha sonra, ergitilen metal matris içinde düzgün bir takviye elemanı dağılımı elde etmek amacıyla karıştırma işlemi gerçekleştirilir Karıştırılan MMK'e takviye elemanı ilave edilir. Karıştırmalı döküm tekniğinde, metal matris hazırlarken dikkat edilmesi gereken faktörler vardır. Bu faktörler aşağıda belirtilmiştir:

- Düzgün bir dağılım elde etmek zorluğu

- Matrisin takviye malzemesini ıslatabilmesinin zorluğu
- Kalıba döküm sırasında MMK’te görülen gözeneklilik ve
- Takviye elemanı ile MMK arasındaki kimyasal reaksiyonlar[18].

MMK’lerde optimum özellikleri elde etmek için, matris alaşımında takviye elemanının dağılımı düzgün olmalıdır. Matris ve takviye elemanı arasındaki bağ veya ıslatılabilirliğin optimize edilmesi gereklidir. Gözeneklilik seviyesinin minimum düzeye çekilmesi gereklidir. Takviye elemanı ile matris arasındaki kimyasal reaksiyonlardan kaçınılmalıdır[18].

Günümüzde karıştırmalı döküm, ticari olarak uygulanan ve özellikle de gelecek vadeden bir üretim tekniği olarak kabul edilir. Karıştırmalı döküm tekniğinin en büyük avantajı; büyük miktarlarda üretimin yapılabilmesi, esneklik ve üretim sadeliğinden kaynaklanmaktadır. Bu sıvı üretim tekniği, MMK’ler için var olan üretim teknikleri arasında en ekonomik olan tekniktir. Araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar sonucunda; karıştırmalı döküm metodu kullanılarak malzemelerin hazırlanma maliyeti, diğer rekabetçi yöntemlerin yaklaşık yarısının üçte biri kadardır. Bununla birlikte, yüksek hacimli üretim yapıldığında; maliyetlerin onda birine kadar inebileceği sonucuna ulaşmışlardır[18].

Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarında karıştırmalı döküm tekniği ile MMK malzeme üretimini gerçekleştirmek için kompozit malzeme laboratuvarı oluşturulmuştur. Laboratuvar oluşturulurken üretim ünitesi ve dökülecek kalıp tasarlanmıştır. Kalıp bileşenlerinin imalatı gerçekleştirilmiştir. Hazır haldeki çeşitli cihaz ve ekipmanların satın alma işlemi yapılmıştır. İmalat süreçleri tamamlanan kompozit malzeme üretim ünitesi ve kompozitin imalinde kullanılan yardımcı ekipmanlar kullanılarak karıştırmalı döküm tekniği ile MMK malzeme üretimini gerçekleştirilmiştir.

Hazırlanan bu çalışma, genel itibarıyla literatür taraması ve deneysel çalışmalar olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Bunlardan birinci bölüm “Giriş” olup burada

çalışmanın kısa özeti verilmiştir. İkinci bölümde, bu çalışmada kullanılan kompozit malzemeler, geniş bir literatür taramasıyla anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, bu çalışmada kullanılan materyal ve metod detaylı bir biçimde tanıtılmıştır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde, deneysel çalışmalar sonucu elde edilen bulgular, daha önceden yapılmış benzer çalışmalarla sebep-sonuç ilişkisi ile kıyaslanmıştır.

Deneysel çalışmaların nihai sonuçlarının açıklandığı beşinci ve son bölümde, deneysel çalışmalar sonucu elde edilen bulgular, deneysel çalışmanın amacına uygun bir biçimde yorumlanarak sonuçlandırılmıştır.

BÖLÜM 2

KOMPOZİT MALZEMELER

Otomotiv, havacılık, nükleer enerji üretimi, okyanusun derinliklerindeki çalışmalarda ve diğer yapısal alanlarda;

- hafif ve yüksek performanslı malzemelere duyulan kritik ihtiyaç ile,
- alışılmış monolitik metal malzemelerin ve alaşımların kombinasyon özelliklerinin (belirli bir kuvvet, sertlik, aşınma oranı gibi) sınırlamaları nedeniyle;

kompozit formunda karma malzemelerin geliştirilmesi söz konusu olmuştur [1]. Kompozit malzeme, birbiri içinde çözünemeyen, farklı kompozisyonlara sahip iki veya daha fazla maddeyi içeren malzemeler sistemi olarak adlandırılır. Kompozitlerde, yapı taşlarını oluşturan her bir malzeme kendi orijinal özelliklerinde iken; birleştirildiklerinde ise üstün özellikler elde edilir. Kompozit malzemeler; temel faz olan matris malzemesi ile takviye fazı olarak adlandırılan takviye elemanı içeren, iki veya daha fazla malzemenin birleşimidir [2].

Kompozit malzemelerin avantajları şunlardır:

- Ağırlıkları hafiftir; ağırlık oranlarına göre yüksek mukavemetli veya serttirler.
- Yükün yönüne uygun olarak mukavemet veya sertlikleri uyarlanabilir.
- Yedek yük yollarına sahiptirler (Fiber-fiber kompozit).
- Uzun ömürlüdürler (Korozyon yoktur).
- Daha az parça sayısından dolayı, daha az üretim maliyeti olur.
- Doğal sönümlenme yeteneği mevcuttur.
- Termal veya elektriksel iletkenliğin artması (veya azalması) söz konusudur.

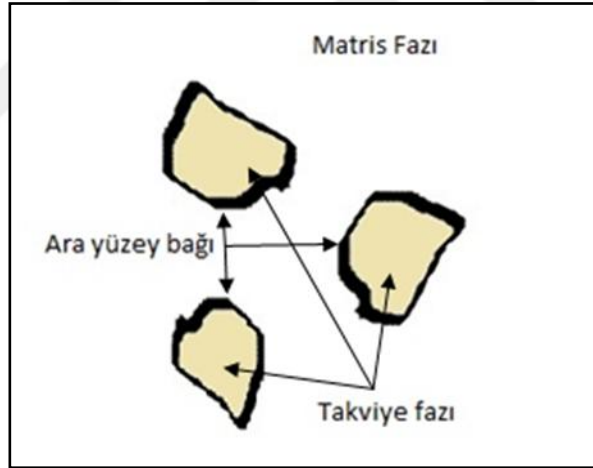
Kompozit malzemelerin dezavantajları da şunlardır:

- Ham madde ve üretimi pahalıdır.

- Enine özellikleri zayıf olabilir.
- Matris zayıf olup, düşük sertliğe sahiptir.
- Yeniden kullanma ve ortadan kaldırma zordur.
- Birbirine eklenmesi zordur.
- Analiz edilmesi zordur.
- Çevresel bozunuma matris maruzdur[19].

2.1. KOMPOZİT MALZEMELERİN YAPISI

Genellikle kompozitlerin yapısında bulunan bileşenlerden biri, çoğu zaman bağlayıcı olarak adlandırılan matris; diğeri ise, matris tarafından ıslatılan/bağlanan takviye maddeleridir (Bkz. Şekil 2.1). Kompozitin yapısında takviye maddesi, genellikle takviye malzemesi olarak görev alır[20].



Şekil 2.1. Parçacık takviyeli kompozitin içindeki yapılar.

Matris, genellikle kompozit yapının %30-70'ini içermektedir. Matrisin birçok fonksiyonu vardır. Bunlar aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir:

- Matris, kompozit birleşeninin birbirine bağlanmasına ve kompozitin termomekanik kararlılığının belirlenmesine olanak sağlar.
- Matris, takviye elemanını; çevrenin zararlı etkilerine karşı koruduğu gibi; takviye elemanının aşınmasını ve sürtünme aşınmasını da önler.

- Matris, gerilme transfer aracı olarak hareket ederek; uygulanan yükün dağılmasına yardımcı olur.
- Matrisin lamineler arası tokluk dayanıklılığı vardır ve bu genel olarak sisteme kesme, basma ve enine mukavemet sağlar.
- Matris, belirli yapı aralıklarında fiber oryantasyonunu istenilen değerde tutar[21].

Kompozit malzemelerde takviye elemanı, şekillerine göre ayırt edilir[3]. Kompozit malzemelerde takviye elemanı; ipliksi, lif, lamel veya tel örgü şeklinde olabilir. Takviye elemanları, kompozit malzemelerin mukavemet ve sertliğini artırabilir veya kırınım mekanizmasını avantaj sağlayacak şekilde değiştirebilir[4].

2.2. KOMPOZİTLERİN ÖZELLİKLERİ

Kompozit malzemeler, malzemenin bir bilim dalı olarak 1960'ların başında ortaya çıkmasıyla; esas olarak malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için geliştirilmiştir. Kompozit malzemeler; endüstriyel tasarımları uygun zamanda birleştiren ve ürün güvenilirliğini sağlayan fiziksel ve mekanik özellikleri nedeniyle endüstrinin çeşitli alanlarında yer alır. Son zamanlarda; gemi ve makine yapımı, havacılık ve uzay teknolojileri, ev ve endüstriyel yapılarda kullanılmakta olan kompozit malzemelerde aşağıdaki özellikler geliştirilebilir[5,6].

- Aşınma direnci
- Düşük ağırlığı
- Yüksek mukavemeti
- Isı yalıtımı
- Korozyon direnci
- Ses yalıtımı
- Yorulma ömrü
- Sıcaklık ile ilişkili davranışı
- Estetik özeliği
- Termal iletkenlik

Fakat bu özelliklerin hepsini içeren bir malzeme üretmek imkansızdır. İhtiyaç duyulan yer ve özelliğe göre kompozit malzemenin istenen özellikleri iyileştirilebilir. Böylece, ihtiyaca uygun kompozit malzeme elde edilir [7].

2.2. KOMPOZİT MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI

Kompozit malzemeler çok çeşitli yollardan sınıflandırılabilir. Olası sınıflandırmalardan biri de; kompozit malzemeleri alışılmış ve sentetik kompozitler olarak ikiye ayırmaktır. Alışılmış kompozitler, doğada var olan ya da çok uzun zaman diliminde farklı uygarlıklar tarafından üretilen malzemelerdir. Ahşap, doğal oluşan kompozit malzeme iken; inşaat yapımında kullanılan beton ile yol yapımında kullanılan asfalt alışılmış kompozit malzemedir. Sentetik kompozitler; bileşenleri öncelikle ayrı ayrı üretilen, daha sonra ise; istenen yapı, özellik ve bölüm geometrisini elde etmek için kontrollü bir şekilde birleştirilen, genelde üretim endüstrisi ile ilişkili, modern malzeme sistemleridir. Bu sentetik malzemeler, genellikle mühendislik üretim çerçevesinde oluşturulabilir bileşiklerdir[8].

Sentetik kompozit malzemeler içeriğinde bulunan matris malzemesinin çeşidine ve takviye elemanının şekline göre iki farklı şekilde gruplandırılmaktadır. Kompozit malzemelerin matris malzemesinin çeşidine göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir.

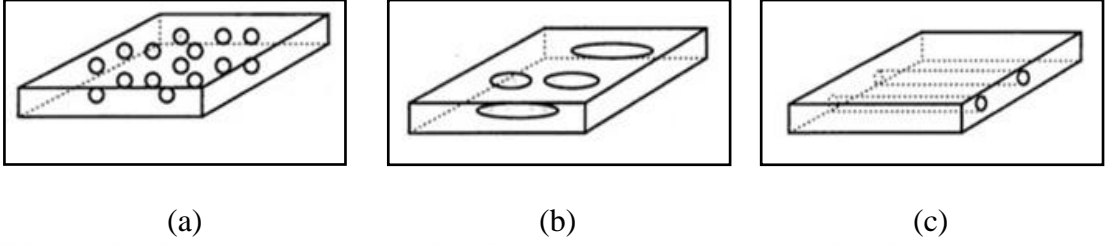
- Seramik matrisli kompozit (SMK) malzemeler,
- Refraktör malzeme matrisli kompozit malzemeler,
- Polimer matrisli kompozit (PMK) malzemeler,
- Karbon matrisli kompozit malzemeler,
- Cam matrisli kompozit malzemeler,
- MMK malzemeler.

Kompozit malzemeler, takviye elemanı malzemesinin şekline göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

- Partikül ya da parçacık takviyeli kompozit malzemeler,
- Kılcal kristal (whisker) takviyeli kompozit malzemeler,
- Plaka takviyeli kompozit malzemeler,

- Karma (hybrid) takviyeli kompozit malzemeler,
- Elyaf (fiber) takviyeli kompozit malzemeler [9].

Aşağıda kompozitlerin, takviye malzemesi şekline göre sınıflandırılması gösterilmiştir [Bkz. Şekil 2.2 (a), (b) ve (c)].



Şekil 2.2. Kompozitlerin takviye malzemesi şekline göre sınıflandırılması) Partikül takviyeli kompozit, b) Plaka takviyeli kompozit, c) Fiber takviyeli kompozit[22].

2.2.1. Polimer Matris Kompozitler

Polimer matris kompozitler (PMK), geleneksel metaller ile karşılaştırıldığında; düşük maliyet ve ağırlık ile yüksek mukavemet ve sertlik oranlarına sahiptir. Bu mükemmel avantajlarından dolayı (cam elyaf kompozitler ve karbon elyaf takviyeli polimerler gibi) havacılık, yenilenebilir enerji, inşaat, yapı ve diğer endüstri alanlarında kullanılmaktadır[23].

Kullanılan hammadde içeriğine bağlı olarak farklı polimerler vardır ve sayısız varyasyonları ile geniş kullanım alanlarına sahiptirler[24]. Polimerler, basit olarak şu şekilde sınıflandırılabilir; termosetler, termoplastikler ve kauçuklar. Termosetler, termoplastikler ve kauçuklar; polimer matris kompozitin matris malzemesi ile ilişkilidir. Termosetlere örnek olarak; epoksi, polyester, poliamid ve fenolik verilebilir[25].

2.2.2. Seramik Matris Kompozitler

Seramikler, insan yapımı malzeme sınıfında olan en eski malzemelerden biridir. İkinci dünya savaşına kadar seramikler hakkında önemli bir çalışma yoktur. Seramik

kavramı; sıhhi seramik, çimento, sıradan seramik ve cam ile sınırlıdır. Günümüzde seramiğin kapsamı, eşsiz doğası ile birlikte; (büyük ölçüde nükleer yakıt dahil) lazer seramik, manyetik seramik, piezo-elektrik seramik, vb. ile genişlemiştir. Seramik malzemeler, yüksek teknoloji alanında vazgeçilmez malzemeler haline gelmiştir[26].

Monolitik seramik malzemeler; yüksek modüllü olması, yüksek sıkıştırma kuvvetleri, yüksek sıcaklık kapasitesi, yüksek sertlik ve aşınma direnci, düşük ısı iletkenliği ve kimyasal eylemsizlik gibi birçok tercih edilen özelliklere sahiptir. Seramiğin yüksek sıcaklığa dayanıklı olma; yeteneği, onlara yüksek sıcaklık ortamları için son derece cazip malzemeler haline getirir. Ancak; çok düşük kırılma dayanıklılığı nedeniyle, seramiğin yapısal uygulamaları sınırlıdır. Metaller, plastik deformasyona uğrayabilirken; seramik, oda sıcaklığında plastik deformasyon sergilemez. Seramik malzemesi hem üretim boyunca, hem de servis sırasında çatlak gibi kusurlara toleransı düşüktür. Hatta çok küçük bir çatlak, ansızın ve hızlıca kusuru kritik boyuta büyütebilir[27].

Seramik matris malzemeler, alüminyum oksit (Al_2O_3) gibi oksitler ve silisyum karbür (SiC) gibi oksit olmayan karbon, cam ve cam seramikleri içerir. Seramik malzeme kristallerinin çoğunluğu ağırlıklı olarak iyonik bağlarla oluşmasına rağmen, bazı kovalent bağ ile oluşan kristal mevcuttur. Bu bağlar, özellikle güçlü yönlü kovalent bağlar olup, dislokasyon hareketine karşı yüksek direnç sağlamak ve seramiğin kırılma doğasını açıklama yönünde katkı sağlamaktadır. Seramikler ve karbon-karbon kompozitler polimer veya MMK'e kıyasla son derece yüksek işlem sıcaklıkları gerektirdiğinden; SMK'leri imal etmek zor ve pahalıdır. SMK'ler için takviye elemanları genellikle karbon, oksit, ya da oksit olmayan seramik lifler ile kılcal kristaller veya partiküllerdir. Karbon fiber karbon-karbon kompozitler de kullanılırken, alumina gibi oksit fiberler veya silikon karpit gibi oksit olmayan lifler cam, cam-seramik ve seramik matris kristalleri olarak kullanılır. Çoğu yüksek performanslı oksit ve oksit olmayan sürekli fiberler pahalıdır, ayrıca SMK'in fiyatının yükselmesine neden olur. SMK'in maliyet ve istikrarlı olarak yüksek kaliteli imalatındaki zorluklar nedeniyle; bugüne kadar SMK'in uygulamaları oldukça sınırlı kalmıştır[27].

2.2.3.Elyaf Takviyeli Kompozitler

Elyaf takviyeli kompozit malzemeler metaller ve seramikler gibi geleneksel malzemelerle karşılaştırıldığında, yapısal malzemelerin tasarımı radikal bir yaklaşımı temsil eder. Canlılar dünyasında da; bütün bitki ve hayvan yapıları, esnek lifleriyle matris malzemeleritakviye elemanınabağlıdır. 20. yüzyılın ikinci yarısında fiber takviyeli kompozitler, gerçek manada geliştirilmeye başlanacak kadar yeterli değildi. 1930'larda organik reçine üretilmeye başlamış olup aynı yüzyılda sentetik liflerin imal edilmesi mümkün olmuştur. Günümüzde kompozit malzemeleri, diğer malzemelerle kıyaslandığında bazı baskın form haline gelmiş yapı malzemesi olarak her alanda kullanıldığını görmekteyiz. Şu anda, havacılık ve uzay sanayi için bu durum kesinlikle geçerlidir. 21'inci yüzyıl boyunca giderek diğer sanayi sektörleri için de önemli hale gelecektir[28].

Elyaf takviyeli kompozit malzemeler; birbirlerinden farklı arayüzler ile matrise bağlanmış veya matris içine gömülü olarak yüksek mukavemetli ve modüllü fiberden oluşur. Bu şekilde bütün elyaflar ve matrisler fiziksel ve kimyasal kimliklerini korur. Bu bileşenleri tek başına etkisini gösteremez ancak; bileşenlerin kombinasyonları ile istenilen özellikler elde edilebilir. Genel olarak fiberler, ana yük taşımaya sağlarken; fiberleri çevreleyen matrisler istenen konum ve yönde fiberleri tutarlar. Matrisler, aynı zamanda yük transfer aracı olarak da kullanılır. Matrisin bir diğer görevi de; yüksek sıcaklık ve nem gibi çevresel zararlardan korumaktır [29].

Ticari kullanımda başlıca fiberler, çeşitli cam ve karbon türlerinin yanı sıra; kevlar 49 da vardır. Bor, silisyum karbür, alüminyum oksit gibi diğer fiberler sınırlı sayıda kullanılmaktadır. Fiberler; ya sürekli (uzun) uzunlukta, ya da süreksiz (kısa) uzunlukta matris içerisine dahil edilebilir. Matris malzemesi metal, seramik ve polimer olabilir. Her matris sınıfında, çeşitli kimyasal bileşimler ve mikro yapı düzenlemeleri mümkündür. Elyaf takviyeli kompozitlerin, yapı uygulamalarında enb yaygın kullanım şekli laminanttır. Laminant; istenen kalınlıktaki matris ve fiberlerin bir dizi ince tabaka halinde birleştirilmesiyle oluşur. Kompozit laminatta, çeşitli tabakaların bir dizi istiflenmesi ile birlikte her tabaka içindeki elyafın yönelimi ilekompozit laninantın fiziksel ve mekaniksel özellikleri açısından çok çeşitli üretimi kontrol edilebilir[29].

2.2.4.Kılcal Kristal Takviyeli Kompozitler

Kılcal kristaller yüksek mükemmellik ve büyük boy-yarıçap oranı ile kısa ve fiber şeklindeki tek kristallerdir. Kılcal kristaller küçük çapları sayesinde, arızaları neredeyse yoktur. Böylece elastisite teorisinin öngördüğü maksimum teorik değerine yakın bir dayanımı elde edilmiştir. Dolayısıyla kılcal kristaller termo plastiklerin takviye edilmesi için kısa cam ya da karbon elyafları için çekici bir seçenek olarak kabul edilmektedir. Örneğin kalsiyum karbonat kılcal kristaller, alüminyum oksit kılcal kristaller, potasyum titanat kılcal kristal gibi çeşitli anorganik kılcal kristaller hazırlanmış ve farklı bir termoplastik matris kompozitlerin üretiminde kullanılmıştır. Daha önceki araştırmacılar, kılcal kristallerin kısa cam ya da karbon elyaflara göre çok daha yüksek özgül mukavemete sahip olduğunu saptamışlardır[30].

Kılcal kristallerde, filamanlar şeklinde tekli kristaller bulunmaktadır. Takviye elemanı olarak SiC alumina ve diğer seramik kılcal kristallerin potansiyeli, onun çaplarının küçük olmasından dolayı uzun yıllar tartışılmıştır ve bunlar genellikle ortalama olarak 0,5µm ile 1,5µm arasında olmakla birlikte belki bu meselede teorik dayanımı onun elastik modülünün onda biri kadar çok az kusur içermesi ve son derece yüksek mukavemete sahip olması gerekmektedir. Buna ek olarak 20µm ve iddia edilen birkaç santimetre arasında üretilmiş olabilen kılcal kristaller çap uzunluğundaki en boy oranı önemli olabilir. Yüksek en boy oranı yalnızca takviye elemanını elde etmek için gereklidir. Eğer kılcal kristaller her ne şekilde takviye elemanı olarak kullanılacaksa; önemli zorlukların üstesinden gelinmelidir. Kılcal kristaller son derece küçüktür ki; kılcal kristal içeren bir plastik torba içinde toz varmış gibi görünür. Bu, matris içinde kılcal kristallerin hizalanması çok zor olduğu anlamına gelir. Enine doğrultuda matrisin bir takviye elemanını temin edecek şekilde daha geleneksel fiberler ile birlikte kılcal kristaller için potansiyel kullanımları vardır. Bir diğer dezavantaj; 1µm boyutlarındaki kılcal kristallerin, akciğer yapısındaki alveolleri tıkaması olarak açıklanabilir. Yukarıdaki bu sebepten dolayı; bütün kılcal kristaller, takviye elemanı olarak ilgi çekici olmasına rağmen; çok az kullanılmaktadır[28].

2.2.5.Partikül Takviyeli Kompozitler

Kompozit malzemenin takviye elemanı partikülden oluşursa; bu, kompozite partikül takviyeli kompozit denir. Partiküllerin, fiberin aksine imtiyazlı bir yönü yoktur[31].

Parçacıklar genellikle; malzeme veya matrislerin sertliği, sıcaklığı karşı davranışı, aşınmaya karşı direnç, gibi belirli özelliklerini geliştirmek için kullanılır. Birçok durumda parçacıklar, malzemenin özelliğini bozmadan maliyetini azaltmak için sadece dolgu maddesi olarak kullanılırlar. Partikül matris birliktelik seçeneği istenen özelliklere bağlıdır. Örneğin bakır alaşımlarının kurşun içermesi makine yapımını kolaylaştırır. Tungsten, krom ve molibden gibi kırılğan metal partiküller sünek metallere birleştirilmesi ile birlikte, oda sıcaklığında sünekliğini korurken yüksek sıcaklıklarda özelliklerini geliştirir[31].

Sermetler, yüksek sıcaklık uygulamaları için adapte edilmiş metal seramik partikül takviyeli kompozit örnekleridir. Örneğin, oksit bazlı sermetler yüksek sıcaklıklardan koruyucu olması için ve yüksek hızlı kesme aletlerinde kullanılmaktadır. Ayrıca elastomer parçacıkları, çatlama gerekliliğini azaltarak; onların kırılma ve darbe özelliklerinin geliştirilmesi için kırılğan polimer matrislerle birleştirilebilir. Böylece partikül takviyeli kompozit, sürekli genişleyen büyük bir etki alanına sahiptir[31].

Partikül takviyeli kompozitler; yüksek mukavemet, düşük yoğunluklu ve yüksek aşınma direnci, vb. gibi gelecek vadede özelliklerinden dolayı iyi bilinmektedir. Bu özelliklerden dolayı uygulamalarda kullanılması yaygındır. Ancak; düşük kırılma tokluğu ve sünekliği geniş kullanımını sınırlamıştır. Bu malzemelerin mekanik özellikleri; partikül büyüklüğü ve partikül şekli ile partikül yönelimi, yerel hacim fraksiyonu, en yakın komşu parçacık mesafesi, en yakın komşu yönelim ve mekansal dağılımı, vb. gibi faktörler tarafından düzenlenmiştir[32].

2.2.6.Plaka Takviyeli Kompozitler

Birbirine bağı en az iki farklı malzeme tabakasından oluşan kompozite, plaka takviyeli kompozit denir. Laminasyon, daha faydalı bir malzeme elde etmek için meydana getirilen tabakaların en iyi yönlerini birleştirmek için kullanılır. Kompozit malzemelerin geleneksel tek yapıli malzemeler ile karşılaştırıldığındabelirli bir sıra içindeki malzeme tabakalarını yönlendirme veyapılandırma yeteneğiözellikle çok önemli avantajlara yol açtığı bulunmuştur. Bunlardan en önemlisi belirlenmiş yapısal yüklere yönlendirilen lamina özelliklerinin eşleşmesi veya yönelimlerinin uyarlama yeteneğidir. Laminasyon ile kompozit malzemenin; dayanım, sertlik, korozyon direnci, düşük ağırlık, vb. gibi ele alınabilecek özellikleri vardır. Plaka takviyeli kompozit malzemelerin büyük çoğunluğu tek yönlü elyaf takviyeli plakalardan oluşmaktadır[33].

Plaka fiber takviyeli kompozit malzemeler, özellikle hafif yapılarda yapı tasarımındaki, bağlayıcı sertlik ve mukavemet gereksinimlerinden geniş bir alanda araştırılmaktadır. Kompozit malzemelerin, birçok yapısal uygulamada metalik malzemelerin yerine kullanılması ilgi çekici iken; bu malzemelerin analizi ve tasarımı, metalik yapılara göre çok daha karmaşıktır. Daha önce de belirtildiği gibi, belirli bir uygulamanın tüm gereksinimlerini karşılayan verimli bir kompozitin yapısal tasarımını bulmak için sadece kesit alanı ve elman kalınlıklarını boyutlandırmakla değil aynı zamanda sayı ve yön belirleme tercihini seçmek doğrultusunda malzeme özelliklerini uyarlayarak ve plaka takviyeli kompoziti oluşturan katmanlar dizini istifleyerek elde edilebilir.[34].

2.2.7.Karma (Hybrid) Takviyeli Kompozitler

Matris içine farklı takviye elemanlarının dahil edilmesi; karma kompozitlerin geliştirilmesine yol açmıştır. Karma kompozitler yüksek sertlik, yüksek dayanım, düşük yoğunluk gibi özelliklerinden dolayı geleneksel alaşımlar yerine kullanılır hale gelmiştir. Birden fazla takviye elemanı (karma kompozit) ile alüminyum matris kompozitlerin mekanik ve aşınma direnci ve buna bağı olarak tek takviye elemanlı kompozitlere göre daha iyi ikame edebilmesiyle birlikte giderek artan uygulamalarda yer bulmaktadır. Benzersiz özelliklere sahipkarma kompozitler, geleneksel kompozitlere göre; çeşitli tasarım gereksinimlerini karşılaması amacıyla daha

ekonomik şekilde kullanılabilir. Ayrıca karma kompozitler, kompozit malzemeler de gerçekleştirilmesi mümkün olmayan gerilme, sıkıştırma mukavemeti ve darbe mukavemeti gibi özelliklerin bir araya getirilmesini sağlar. Son zamanlarda karma kompozitler; yüksek performanslı ve verimli yapı malzemeleri olarak belirlenmiş olup bunların kullanımı yaygınlaşmaktadır. Karma kompozitlerde, yüksek aşınma direnci önemli olduğundan geniş bir uygulama alanı bulunmaktadır. Ancak; şu anda, karma kompozit malzemeler sadece rulman malzemesi ve türbin bıçaklarında kullanılabilir[35].

Kompozit malzemelerin daha fazla özelliklerinin geliştirilmesi için; karma takviyeli kompozitler geliştirilmiştir. Karma kompozitlerin davranışı avantaj ve dezavantajları arasında olumlu fark söz konusu olan ayrı ayrı bileşenlerin basit ağırlıklı toplamı olarak görülmektedir. Karma kompozit, darbe koşulları ve uzun süreli basma yükü altında; yapısal bütünlüğe ilişkin avantajlar sunmaktadır. Karma kompozitleri; takviye elemanı tipi, takviye elemanı hacim oranı, takviye elemanı olarak kullanılan kumaşın dokuma deseni, vb. gibi çok sayıda mikro yapı parametreleri etkiler. Karma takviyeli kompozitlerin takviye elemanları; fiber takviyeli kompozitler, kumaş takviyeli kompozitler ve partikül takviyeli kompozitler olarak sınıflandırılırlar[36].

2.2.8.Metal Matris Kompozitler

MMK metalik matris içinde sert takviye fazının birleşmesiyle meydana gelen mühendislik malzemelerdir. MMK'ler, yüksek mukavemet, sertlik gibi daha özel özelliklere ve daha az yoğunluk gösteren özelliğe sahip malzemelerdir. MMK'lerin matris malzemesi; alüminyum, magnezyum, bakır ve alaşımları gibi metaller içerir. Takviye elemanı malzemeleri; sürekli elyaf veya sürekli olmayan elyaf/partikül biçiminde alumina, silisyum karbür, bor nitrid gibi seramik malzemelerdir. Bu malzemeler, tek malzemedен elde edilmesi zor özellikler gösteren iki veya daha fazla malzemenin kombinasyonundan oluşmaktadır. Matris malzemesi; hem takviye bileşenleri üzerine uygulanan gerilimi dağıtır, hem de koruyarak kompozit malzemesine şeklini verir. Takviye elemanı tercihi ile kompozit malzemenin istenen mekanik özellikleri oluşturulur ve mukavemeti sağlanır. Takviye elemanını tel, kılcal

kristal veya partikül ve sürekli yada süreksiz fiber şeklinde olup; kompozit içinde farklı yüzde hacim oranı dağılımı kompozitin özelliklerini etkiler [10,11].

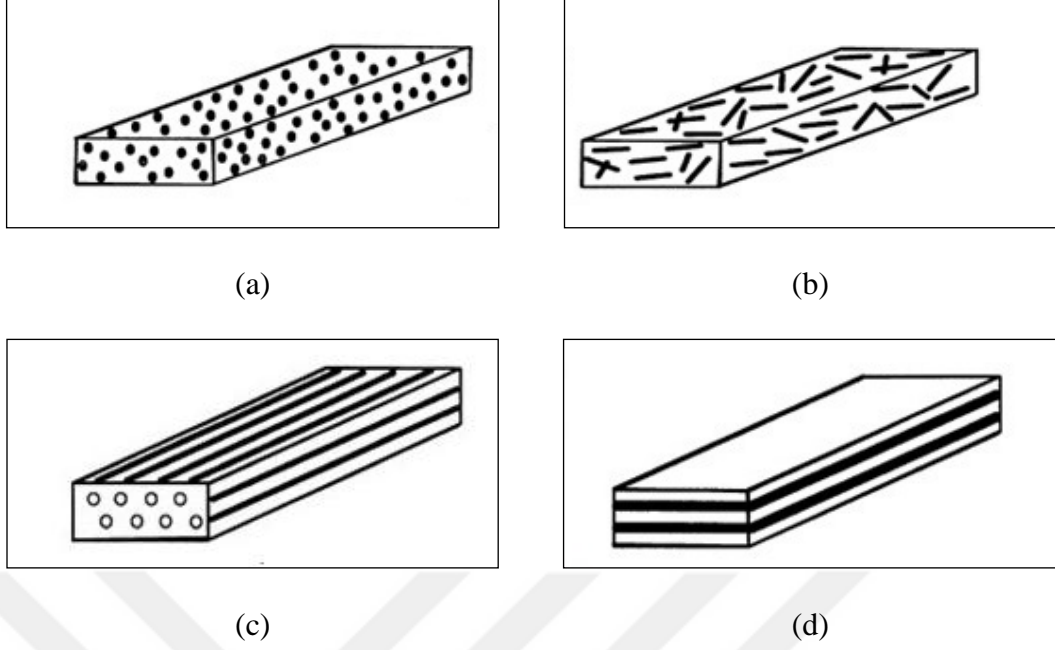
MMK'lerin çok sayıda karakteristik özelliği vardır. En önemli özellikleri ise aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır. Bunlar;

- MMK'ler, diğer metalik malzemelere göre daha yüksek mukavemet ve esnekliğe sahip,
- MMK'ler, matris malzemesinin yüksek sünekliğe sahip olmasından dolayı diğer malzemelerle karşılaştırıldığında yüksek kırılma tokluğuna sahip olup büyük çarpma kırılma enerjisini absorbe edebilir,
- Genellikle MMK'ler, diğer kompozit malzemelere göre daha yüksek ısı iletkenliğine sahip,
- Yumuşak MMK'ler, sert seramik partikül ile takviye edilirse iyi aşınma direncine sahip malzeme ortaya çıkmakta,
- MMK'ler, düşük ısıl genleşme katsayılarına sahip,
- MMK'lerin, elektriksel iletkenliği yüksek,
- Plastik deformasyon, kısa elyaf veya partikül takviyeli MMK'in içinde meydana gelir ve bu kompozitler plastik deformasyon yolu ile daha da güçlendirilmiş, şeklindedir[12].

2.2.8.1.Metal Matris Kompozit Tipleri

Bütün MMK'lerde kullanılan matris malzemesi; ya metal, ya da metal alaşımıdır. Takviye elemanı, metalik veya seramik olabilir. Alışılmadık durumda ise takviye elemanı, gerçekte fiber takviyeli polimer matris kompozit şeklindedir. MMK'lerin 4 farklı tipi vardır ve bunlar aşağıda belirtilmiştir ve Şekil 2.3 (a), (b), (c) ve (d)'de gösterilmiştir:

- Partikül takviyeli MMK'ler
- Kısa fiber veya kılcal kristal MMK'ler
- Sürekli fiber (elyaf) takviyeli MMK'ler
- Yaprak veya levha takviyeli MMK'ler[13].



Şekil 2.3. Farklı tip MMK şekilleri a)Partikül takviyeli MMK, b) Kısa fiber veya kılcal kristal takviyeli MMK, c)Sürekli fiber (elyaf) takviyeliMMK, d) Yaprak veya levha takviyeli MMK[13].

2.2.8.2.Sık Karşılaşılan Metal Matris Kompozitlerin Matris Malzemeleri

Matris ve takviye elemanından meydana gelen MMK'lerde; metal matris, takviye elemanını sararak birleştirici olarak etki eder.MMK'lerde, metal matris tercih edilirken korozyon direnci ve oksidasyona önem verildiği kadar birkaç faktörde dikkat edilmesi gerekmektedir. MMK'lerde, matris malzemesi olarak Ti, Mg, Al, Cu, Ni, Fe, Pb, Si, Zn ve Sn gibi metallere yararlanılmaktadır. Sık karşılaşılan MMK'lerde, matris malzemesi Al, Ti ve Mg metallere aittir [37,38].

Alüminyum

Alüminyum, dünyada ikinci bol bulunan metalik elementtir. Alüminyum, 19 yüzyılın sonlarına doğru, mühendislik uygulamalarında diğer malzemelere ekonomik olarak rakip olmuştur. Benzersiz nitelikleri ile talep edilen uygun malzeme özellikli alüminyum ve alaşımları, yeni metal kullanımını ve büyük oranlarda üretiminin artması sağlayarak sanayide üçüncü önemli gelişmenin ortaya çıkmasına neden olacaktır[39].

Alüminyum, geniş bir uygulama alanında kullanılmasına neden olan birçok seçkin özelliğe sahiptir. Alüminyum; oksidasyon ve korozyon direnci yüksek, elektriksel ve termal iletkenliği yüksek, düşük yoğunluklu, yansıtma özelliği yüksek, sünekliği yüksek ve makul yüksek mukavemetli, nispeten düşük maliyetli özelliklere sahiptirler. Alüminyum yukarıda belirtilen özelliklerinden dolayı, çok önemli bir tüketim malzemesidir. Alüminyum ve alaşımları; uçaklar, tekneler ve diğer ulaşım araç yapıları için ve de folyo, içecek kutuları, pişirme ile gıda işleminde kullanılan mutfak eşyalarında, mimari ve elektriksel uygulamalarda kullanılmaktadır[40].

Alüminyum, kısmen düşük ergime noktasına sahip olup ergime sıcaklığı 655 °C'dir. Ayrıca alüminyum, 2,70 g/cm³ yoğunluğa sahip hafif bir metaldir. Alüminyum ve alüminyum alaşımları, yüzey merkezli kübik yapıya sahip olduğundan dolayı kolayca şekil alabilir özelliktedir. İyi şekil alabilme özelliği oldukça düşük pekleşme oranı ile daha da desteklenmektedir. Alüminyum alaşımları, dökme ve dövme alaşımlar olarak sınıflara ayrılabilir. Bazı dövme alüminyum alaşımları, pekleştirilme ile sertleştirilirken, diğerleri; yaşlanma veya diğer adı çökeltme ile sertleştirilebilir. Yine bazı döküm alüminyum alaşımları, çökeltme ile sertleştirilebilirken, diğerleri; sertleştirme işlemi gerçekleştirilememektedir. Aşağıda Çizelge 2.1. ve Çizelge 2.2.'de dövme ve dökme alüminyumun özellikleri gösterilmiştir[40]:

Çizelge 2.1. Dövme alüminyum alaşımlarının başlıca nitelikleri.

| Dövme Alüminyum Alaşımlarının Başlıca Nitelikleri | |
|--|--|
| 1xxx: Saf Al. | <ul style="list-style-type: none"> • Isıl işlem uygulanabilir. • Yüksek derecede şekillendirilebilir, korozyona dayanıklı ve elektriği iletir. • Normal en büyük çekme gerilme aralığı; 69-186 MPa (10-17 ksi) • Kaynak, sarı kaynağı ve lehimleme ile kolayca birleştirilebilir. |
| 2xxx: Al-Cu Alaşımları. | <ul style="list-style-type: none"> • Isıl işlem uygulanabilir. • Oda sıcaklıklarında ve yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemete sahiptir. • Normal en büyük çekme gerilme aralığı; 186– 428 MPa (27– 62 ksi) • Genellikle mekanik olarak birleştirilebilirler. Ancak bazı alaşımlar kaynakla birleştirilebilir. • Diğer alaşımlar kadar korozyon direnci yoktur. |
| 3xxx: Al-Mg Alaşımları. | <ul style="list-style-type: none"> • Şekil alma yeteneği yüksek, korozyona karşı dirençli ve mukavemeti orta düzeydir. • Normal en büyük çekme gerilme aralığı; 110– 283 MPa (16– 41 ksi) • Pekleşme ile sertleşebilir • Tüm ticari işlemler ile kolayca birleştirilebilir. |
| 4xxx: Al-Si Alaşımları. | <ul style="list-style-type: none"> • Bazılarına ısıl işlem uygulanabilir • Orta mukavemette iyi akış özellikleri vardır. • Normal en büyük çekme gerilme aralığı; 172– 379 MPa (25– 55 ksi) • Sarı kaynak ve lehimleme kolayca birleştirilebilir. |
| 5xxx: Al-Mg Alaşımları. | <ul style="list-style-type: none"> • Isıl işlem uygulanabilir. • Orta mukavemette; mükemmel korozyon direnci, tokluk, kaynak kabiliyeti vardır. • Yapı ve inşaat, otomotiv, kriyojenik, deniz uygulamalarında kullanılır. • Normal en büyük çekme gerilme aralığı; 124-352Mpa(18- 58ksi) |
| 6xxx: Al-Mg-Si Alaşımları. | <ul style="list-style-type: none"> • Isıl işlem uygulanabilir. • Orta mukavemette; yüksek korozyon direnci, mükemmel kalıptan çekilebilirlik mevcuttur. • Normal en büyük çekme gerilme aralığı; 124-400Mpa(18- 58ksi) • Mükemmel kalıptan çekilebilirlik özelliği ile tungsten ark gaz kaynağı yöntemi ve metal ark gaz kaynağı ile kolayca kaynak yapılabilir. |
| 7xxx: Al-Zn Alaşımları. | <ul style="list-style-type: none"> • Isıl işlem uygulanabilir ve mekanik birleştirilebilir. • Çok yüksek mukavemetli; özel yüksek tokluk varyasyonları vardır. • Normal en büyük çekme gerilme aralığı; 221-607Mpa(32- 88ksi) |
| 8xxx: Diğer elementler / Al ile Alaşımları. | <ul style="list-style-type: none"> • Isıl işlem uygulanabilir. • Yüksek iletkenlik, mukavemet, sertliğe sahiptir. • Normal en büyük çekme gerilme aralığı; 117-414MPa(17- 60ksi) • Yaygın alaşım elementleri Fe, Ni ve Li kaynağı içerir. |

Çizelge 2.2. Döküm alüminyum alaşımlarının başlıca nitelikleri.

| Döküm Alüminyum Alaşımlarının Başlıca Nitelikleri: | |
|---|--|
| 2xxx: Al-Cu Alaşımları. | <ul style="list-style-type: none"> • Kum ve kokil kalıpta ısıtım işlem uygulanabilir. • Bazı yüksek tokluk alaşımları oda ve yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemet sahiptir. • Yaklaşık en büyük çekme gerilme aralığı; 131– 448 MPa (19– 65 ksi) |
| 3xxx: Al-Si+Cu veya Mg Alaşımları. | <ul style="list-style-type: none"> • Kum ve kokil kalıpta ısıtım işlem uygulanabilir. • Yüksek mukavemetli/bazı yüksek-tokluk alaşımlarda mükemmel akışkanlık vardır. • Yaklaşık en büyük çekme gerilme aralığı; 131– 276 MPa (19– 40 ksi) |
| 4xxx: Al-Si Alaşımları. | <ul style="list-style-type: none"> • Kum ve kokil kalıpta ısıtım işlem uygulanamaz. • Karmaşık dökümler için mükemmel akışkanlık mevcuttur. • Yaklaşık en büyük çekme gerilme aralığı; 117– 172 MPa (17– 25 ksi) |
| 5xxx: Al-Mg Alaşımları. | <ul style="list-style-type: none"> • Kum ve kokil kalıpta ısıtım işlem uygulanamaz. • Daha zor dökümlerde; iyi sonlanmasını özelliğine sahiptir. • Mükemmel korozyon direnci, işlenebilirliğe ve yüzey görünümüne sahiptir. • Yaklaşık en büyük çekme gerilme aralığı; 131– 448 MPa (19– 65 ksi) |
| 7xxx: Al-Zn Alaşımları. | <ul style="list-style-type: none"> • Kum ve kokil kalıpta zor dökümlerde ısıtım işlem uygulanabilir. • Korozyon direnci, mükemmel görünüm mevcuttur. • Yaklaşık en büyük çekme gerilme aralığı; 207– 379 MPa (30– 55 ksi) |
| 8xxx: Al-Sn Alaşımları. | <ul style="list-style-type: none"> • Kum ve kokil kalıpta zor dökümlerde ısıtım işlem uygulanabilir. • Mükemmel işlenebilirlik mevcuttur. • Yaklaşık en büyük çekme gerilme aralığı; 103– 207 MPa (15– 30 ksi) |

İstenen özellikte döküm alüminyum elde etmek için alüminyum alaşımlı kütüklerin dökümü sırasında, oksit ve gazlar kontrol edilmelidir. Alüminyum sıvı halde hızla oksitlenir ve alumina geri döner. Böylece sıvı metal içinde hemen oksit oluşur. Oksijen ana kaynağı fırın şarj edilirken oluşan nemdir. Oksitler, katıların, gazların ya da erimiş tuzların flakslanması ile çıkarılır. Dökme sırasında çeşitli filtrasyon yöntemleri de oksitlerin çıkarılması için kullanılır. Hidrojen erimiş alüminyum kayda değer çözünürlüğe sahip tek gaz olması nedeniyle döküm alüminyumda gözenek oluşmasına ve ısıtım işlem görmüş bölgelerinde kabarcıklara sebep olabilir. Yine, Oksijende olduğu gibi hidrojenin ana kaynağı fırın şarj edilirken oluşan nemdir. Ayrıca hidrojen yanma ürünlerinden de ortaya çıkabilir. Hidrojen,

alüminyum eriyiğinden klor, azot veya argon gazı geçirilmesi yolu ile uzaklaştırılır[40].

Titanyum Ve Alaşımları

Titanyum, 18. yüzyılda keşfedilmesine rağmen; 20 yüzyılın ortalarına doğru gaz türbinleri motorlarının geliştirilmesine kadar, titanyum endüstrisinde önemli bir ilerleme gerçekleşmemiştir. O günden bu yana, havacılık sektöründe dünya çapında egemen olan titanyum, hem motor hem de gövde yapılarındaki uygulamalarında kullanılmaktadır. Mükemmel korozyon direnci, ağırlık oranlarına uygun dayanıklılık ve yorgunluğa karşı etkileyici direnç gibi avantajlı özelliklere sahip olması geniş kullanım alanlarına sahip olmasına neden olmuştur. Ancak, bu iyi özelliklerinin yanı sıra bir takım dezavantajda sahiptir. Bunlar; titanyumun elde edilme ve işleme maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Havacılık endüstrisinde, MMK'ler ve titanyum alüminitlerin kullanılması, yenilikçi çözümler, gelecekteki tasarımlarda tamamen polimer esaslı kompozitlerin kullanılması ve çalışma sıcaklığındaki artışla ilgili sorunlarla karşı karşıya iken; titanyumun gelecekteki gelişimine yollar sunmaktadır. Ayrıca maden metalürji ve işleme yöntemlerindeki gelişmeler alternatif sektörlerde titanyum esaslı alaşımları daha da erişilebilir hale getirmiştir. Şu anda bu malzemeler; spor, biyomedikal ve denizcilik gibi birçok çeşitli sektörde kullanılmaktadır[41].

Genel olarak Ti alaşımlarının bileşim, ısıl işlem ve arayer katkı oranına bağlı olarak farklı hacim kesirlerinde α ve β fazına sahiptir. α ve β fazı oranları ve onların dağılımı malzemenin mekanik ve termal özelliklerini belirler. α fazı sırasıyla yüksek mukavemet, mükemmel sürtünme direnci ve düşük süneklik ile sonuçlanan sınırlı kayma sistemi ile birlikte sıkı hegzogonal kafes yapısına sahiptir. Buna karşın β fazı makul süneklik ve mukavemeti ile hacim merkezli kübik yapıya sahiptir. Titanyum alaşımlarının α ve β fazlarında farklı geometrik düzenler sağlanması ile mikro yapıda büyük çeşitlilik elde edilebilir[42].

Magnezyum Alaşımaları

Kıt enerji kaynaklarının ekonomik kullanımı için artan talep, ham petrol fiyatlarının hızla artması ve çevreye olan etkisini azaltmak için emisyon üzerinde sürekli sıkı bir kontrolün olması ile yıllar sonra endüstride geleneksel malzemelere alternatif olacak yeni, gelişmiş malzemeler sıkça araştırılmaktadır. Magnezyum halen mühendislik uygulamalarında az kullanılmasına rağmen gelecekte yaygın kullanım alanına sahip olacağı düşünülen hafif bir metaldir. Magnezyum, yer kabuğunda % 2,7 oranında bulunan altıncı en bol elementtir. Magnezyum, elementel şekilde bulunmamasına rağmen; magnezyum bileşikleri, dünya çapında bulunabilir. En yaygın bileşikleri; manyezit ($MgCO_3$), dolomit ($MgCO_3 \cdot CaCO_3$), karnalit ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$) ve aynı zamanda deniz suyudur. Magnezyum deniz suyunda ($1,1 \text{ kg/m}^3$) en çok bulunan üçüncü çözülmüş mineraldir [43].

Son zamanlarda, magnezyum ve magnezyum alaşımlarının sahip olduğu avantajlardan dolayı kapsamlı araştırmalar yapılmıştır. Magnezyumun ve magnezyum alaşımlarının avantajları aşağıda belirtildiği gibidir [44,45]:

- Bütün metal yapısal malzemede düşük yoğunluğa sahiptir.
- Yüksek özgül mukavemete sahiptir.
- İyi dökülebilirlik özelliğine sahip olup, yüksek basınçlı kalıpta döküm için uygundur.
- Yüksek hızda frezelenabilir ya da tornalanabilir.
- Yüksek saflıkta magnezyum kullanılarak çok gelişmiş korozyon direnci sağlanabilir.
- Kolayca bulunabilir [45].

Magnezyum alaşımlarının; tren, binek otomobil, uçak veroketler gibi havacılık ve otomobil endüstrisinde geniş olarak kullanımı, beklenmektedir. Bununla birlikte, magnezyum alaşımları aşağıda belirtilen dezavantajlar ortadan kaldırıldığında daha da kullanışlı hale gelecektir. Magnezyum alaşımlarının dezavantajları şu şekildedir [44,45]:

- Düşük elastiklik modülüne sahiptir.
- Tokluk ve soğuk işlenebilirliği sınırlıdır.

- Yüksek sıcaklıklarda sürünme direnci ve yüksek mukavemeti sınırlıdır.
- Katılaşma esnasında yüksek derecede büzülme mevcuttur.
- Yüksek kimyasal reaktivite mevcuttur.
- Bazı uygulamalarda korozyon direnci kısıtlıdır [45].

Magnezyum, bütün yapısal malzemelerden daha hafiftir. Magnezyumun yoğunluğu $1,73 \text{ g/cm}^3$ olup, yaklaşık olarak çelikten dörtte bir oranında ve alüminyumdan üçte iki oranında azdır. Düşük yoğunluk ve yüksek özgül mekanik özelliklerinden dolayı; magnezyum esaslı malzemeler, ağırlığı kritik öneme sahip uygulamalar için şirketler tarafından aktif olarak kullanılmaktadır[43].

Saf magnezyuma alaşım elementlerinin eklenmesi, onun özelliklerinin değiştirilmesine yardımcı olur. Magnezyum kimyasal olarak aktif ve intermetalik bileşikler oluşturmak üzere diğer metalik alaşım elementleri ile reaksiyona girebilir. Magnezyum alaşımlarının çoğunda, intermetalik fazların varlığı gözlemlenebilir. Bu fazlar, mikro yapının etkilenmesine yardımcı ederler ve bu nedenle, magnezyum alaşımın mekanik özelliklerini etkiler. Katı çözelti sertleştirme ve/veya çökeltme sertleşmesi magnezyum bazlı malzemelerin mekanik performansını artırmak için temel mekanizmadır [43].

Bakır Alaşımları

Elektrik iletme yeteneğinin verimli olması nedeniyle, bakır başlıca elektrik endüstrisinde kullanılmaktadır. Ayrıca, ısı iletkenliği yüksek olan bakır, özellikle sıhhi tesisat için inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Geriye kalan bakırın çoğu; nikel, gümüş, pirinç ve bronz yapmak için diğer metaller ile alaşımlandırılır. Saf bakır, $20 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta bir santimetre küp için $8,96 \text{ g}$ yoğunluğa haiz olup, yüzey merkezli kübik yapıya sahiptir. Bakırın ergime noktası sıcaklığı $1083 \text{ }^\circ\text{C}$ ve kaynama noktası sıcaklığı $2567 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir[46].

Bakır alaşımlarının tüm sınıflarında, dövme alaşımları için belirli alaşım bileşenlerinin döküm alaşımları arasında karşılığı vardır. Bu tasarımcının üretim sürecine karar vermeden önce ilk alaşım seçimini yapmasına izin verir. Pek çok

dövme alaşımları soğuk işleme koşullarında çeşitleri kullanılabilir ve bu alaşımların oda sıcaklığındaki dayanımı ve sürünme dirençleri soğuk işlem miktarının yanı sıra alaşım içeriğine bağlıdır. Soğuk işlenmiş dövme alaşımların tipik uygulamaları; yaylar, bağlantı elemanı, donanım, küçük dişliler, kamlar, elektrik bağlantı ve bileşenleridir. Bakır ile alaşımlanan elementler çoğunlukla; nikel, silisyum, kalay ve çinkodur. Diğer elementler ve metaller işlenebilirlik veya korozyon direnci gibi belirli malzeme özelliklerini iyileştirmek amacıyla küçük miktarda alaşımlandırılır. Bakır alaşımları dokuz ana gruba ayrılır. Başlıca gruplar aşağıda belirtilmiştir [47]:

- Minimum %99,3 Cu içerenler,
- Yüksek bakır alaşımları, %5'ten fazla alaşım elementi içerenler,
- Bakır –çinko alaşımlar (pirinçler), %40 tan fazla Zn içerenler,
- Bakır –kalay (fosfor bronzları), %2 P'dan ve %10 Sn'dan fazla içerirler,
- Bakır-alüminyum alaşımları (Alüminyum bronzları), %10 Al'dan fazla içerirler,
- Bakır- silisyum alaşımları (Silisyum bronzları), %3 Si'dan fazla içerirler,
- Bakır- nikel alaşımları %30 Ni'den fazla içerirler,
- Bakır-çinko-nikel alaşımları (Nikel gümüşler),%18 Ni ve %27 Zn'dan fazla içerirler,
- Özel alaşımlar, örneğin işlenebilirlik gibi özel özellik veya karakteristikleri artırmak amacıyla alaşımlandırılan elementleri içerir.

Bakır ve bakır alaşımlarının dayanım, yorulma direnci, güzel şekil alma yeteneği yanı sıra birincil olarak seçimini etkileyen faktörler şöyledir[47]:

- Elektriksel iletkenlik,
- Termal iletkenlik,
- Korozyon direnci,
- Renk,
- İmalat kolaylığı.

2.2.8.3. Metal Matrisli Kompozitlerin Takviye Elemanları

MMK'lerin takviye elemanı malzemeleri; sürekli elyaf, kısa elyaf, kılcal kristal veya parçacık biçiminde üretilebilir. Bu parametreler, bize en-boy oranı olarak adlandırılan takviye elemanını, farklı şekiller arasından ayırt etmemize izin verir. En-boy oranı önemsiz, fakat; elyaf, partikül veya kılcal kristalin çap-uzunluk oranı önemlidir. Böylece, mükemmel eş eksenli parçacıklar tek bir en-boy oranına sahip iken, sürekli elyaf sonsuza yaklaşabilen bir en-boy oranına sahiptir. MMK'lerde, bazı önemli sürekli elyaf takviyeli kompozitler; $A_1_2O_3$, $A_1_2O_3 + SiO_2$, B, C, SiC, Si_3N_4 , Nb-Ti, Nb_3Sn , süreksiz elyaflardan kılcal kristaller; SiC, TiB_2 , $A_1_2O_3$, süreksiz elyaflardan kısa fiberler; $A_1_2O_3$, SiC, $(A_1_2O_3 + SiO_2)$, karbon elyaflar ve partiküller; SiC, $A_1_2O_3$, TiC, B_4C , WC'dir[13].

MMK'ler için takviye elemanları, kompozit malzeme matris sistemi tarafından, işleme ve üretim ile belirlenip talep edilen çeşitli profillere sahiptir. Genellikle aşağıdaki özellikler istenir[48]:

- Düşük yoğunluk
- Mekanik uyumluluk (Isıl genişleme katsayısı düşük olmasına karşın matrise uyulanmıştır.)
- Kimyasal uyumluluk
- Termal kararlılık
- Yüksek elastik modülü
- Yüksek sıkıştırma ve gerilme mukavemeti
- İyi işlenebilirlik
- Ekonomik verimlilik

Bu talepler, sadece metal olmayan inorganik takviye elemanı bileşeni kullanılarak elde edilebilir. Metal takviye elemanı için; seramik partiküller veya tercihen elyaflar veya karbon elyaflar sıklıkla kullanılır. Yüksek yoğunluk ve matris alaşımının reaksiyona yatkınlığı nedeniyle; metalik fiberlerin kullanımı her zaman başarısızdır. Bileşenlerin kullanımı sonucunda amaçlanan uygulama, istenen profile ve seçilen matrise bağlıdır. Çeşitli takviye elemanının uygulama tipleri, işleme ve üretimi kompozit malzemenin üretim tekniğine bağlıdır. Çeşitli takviye elemanlarının

kombine edilmesi mümkün olup elde edilen kompozite ise karma (hibrid) kompozit adı verilir[48].

Alüminyum Oksit

Alumina; hem saf hem de seramik ve cam bileşenleri olan günümüzde en önemli seramik malzemelerden biridir. Alüminanın kullanılabilirliğinin yüksek olması onun çeşitli özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Alumina 2054°C gibi yüksek ergime sıcaklığına sahiptir. Alüminanın kimyasal olarak stabil yapıda olup tepkimeye girmeyen bir yapısı vardır. Alumina; yüksek sıcaklık bileşenleri, katalizör yüzeyleri ve biyomedikal implantlar gibi uygulamalar için önde gelen özelliklere sahiptir. Oksitler arasındaki en yüksek aşınma direnci, sertlik ve mukavemete sahip oksit alüminadır. Alüminanın kesme aletleri rulmanlar ve aşındırıcı malzemeler arasında kullanılması onu kullanışlı hale getirir. Alüminanın elektrik iletme direnci yüksektir. Bu nedenle; saf alumina, elektrik izolasyon bileşeni olarak da kullanılmaktadır [12, 49].

Ticari olarak alumina oksit esaslı elyaflar piyasada mevcuttur. Alüminay, δ , η ve α gibi farklı allotropik şekle sahiptir. α – alumina termodinamik açıdan kararlıdır[13]. Aşağıda, yüksek yoğunluklu alüminanın kendine özgü özellikleri çizelge halinde gösterilmektedir:

Çizelge 2.3. Yüksek yoğunluklu alüminanın kendine özgü özellikleri [50].

| | Al ₂ O ₃ içeriği (wt. %) | | | |
|--|--|--------------------|--------------------|-----------|
| | >99,9 | >99,7 ^a | >99,7 ^b | 99-99,7 |
| Yoğunluk(g/cm ³) | 3,97-3,99 | 3,6-3,85 | 3,65-3,85 | 3,89-3,96 |
| Sertlik (GPa), HV 500g | 19,3 | 16,3 | 15-16 | 15-16 |
| Oda sıcaklığında kırılma tokluğu K _{1C} (MPa m ^{1/2}) | 2,8-4,5 | - | - | 5,6-6 |
| Elastik modülü (GPa) | 366-410 | 300-380 | 300-380 | 330-400 |
| Oda sıcaklığında eğilme mukavemeti (MPa) | 550-600 | 160-300 | 245-412 | 550 |
| 200-1200 °C de termal uzama katsayısı (10 ⁻⁶ /K) | 6,5-8,9 | 5,4-8,4 | 5,4-8,4 | 6,4-8,2 |
| Oda sıcaklığında termal iletkenlik (W/mK) | 38,9 | 28-30 | 30 | 30,4 |
| Fırınlama sıcaklık aralığı (°C) | 1600-2000 | 1750-1900 | 1750-1900 | 1700-1750 |
| a: "Yeniden kristallendirilmiş" MgO'suz.b: MgO'lu. | | | | |

Karbon Ve Grafit

Karbon elementi; polimerler, seramikler ve metaller gibi malzeme biliminin üç ana bölümünü kapsamayı, onun yetenekli ve olağan üstü özelliklere sahip olarak tanınmasını sağlar. Polikristal grafit olarak yaygın anılan, mükemmel yakın altıgen kristal formundaki karbon; endüstriyel kullanımlar için geniş bir çeşitlilik alanı bulmuş ve dünya çapında şaşırtıcı sayıda farklı kademede olan çeşitli üreticilerden temin edilebilir[51].

Karbon ve grafit ürünlerinin eşsiz özellik kombinasyonu nedeniyle çeşitli uygulamalarda görebilirsiniz. Bunlar sıcaklığın artması, düşük elastik modülü, yüksek ısı ve elektrik iletkenliği ve erime olmadan çok yüksek sıcaklıklara dayanması ile artan yüksek basınç dayanımı içerir. Karbon ve grafit ürünlerinde; iyi kayganlık, birçok kimyasala karşı etkisiz, birçok metalle ıslatılmaya ve kaynağa dirençli olmakla beraber iyi işlenebilir özelliğe sahiptir [52].

Grafitin çekici özelliklerine rağmen; mekanik zayıflıklar, ciddi bir dezavantajdır. Karakteristik olarak, oda sıcaklığında yüksek dirençli polikristal grafitin gerilme mukavemeti, kırılğan dökme demir mukavemeti (135 MPa) ile karşılaştırıldığında; 35 MPa seviyelerindedir. 2500°C sıcaklıkta ise; grafitin gerilme mukavemeti 5 MPa artar, oysa çoğu metal bu sıcaklıkta ergir. Sonuç olarak, herhangi bir yerde grafitin yapısal olarak termal özelliğinden yararlanmak ve yükler ile başa çıkmak için büyük çaplı kalın kesitler gerekmektedir [51].

Silisyum Karbür

Silisyum karbür MMK'lerde seramik formunda takviye elemanı olarak kullanılan bir malzemedir. Ergime noktası 2730°C olan Silisyum karbürün yoğunluğu 3,22 g/cm³'tür. Silisyum karbür ortam sıcaklığında katı halde ve koyu gri rengindedir[53].

Parçacık şeklindeki silisyum karbür uzun zamandan beri kullanılmaktadır. Silisyum karbür oldukça ucuz olup yaygın aşındırıcı olarak, ısıya dayanıklı olarak ve kimyasal amaçlar için kullanılabilir. Partikül silisyum karbür üretim işlemi elektrik fırını

içinde 2400°C sıcaklıkta kok şeklindeki karbon ve kum şeklindeki silikanın reaksiyona sokulmasıyla sağlanır. Büyük granül şeklinde üretilen silisyum karbür istenilen boyutlarda daha sonra ufalanır [13].

Silisyum karbür parçacıkları birçok alüminyum alaşım esaslı MMK için popüler takviye fazı haline gelmiştir. Silisyum karbür partikülleri yüksek mukavemet ve elastikiyet modüllü, yüksek termal ve elektrik dirençli, sert ve gevrek seramik partiküllerdir. Ortalama partikül boyutu 2-20µm arasındadır [54].

2.2.8.4. Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Teknikleri

Matris ve takviye elemanından meydana gelen MMK'lerin üretimi için birçok farklı üretim tekniği geliştirilmiştir [12]. Geliştirilen bu üretim teknikleri alışılmış malzemelere göre avantajları olan MMK'lerin üretim maliyetlerini düşürmek ve ürün kalitesini artırmak için kullanılmaktadır[14]. Üretim teknikleri seçiminde MMK'in matrisine, takviye elemanının cins ve formuna, arzu edilen fiziksel ve mekaniksel niteliğine ve imalatı gerçekleştirilecek parçanın formuna dikkat edilir. Seçilen her üretim tekniğinin yararlı ve zararlı yönleri mevcuttur [7].

MMK'in üretim tekniklerinin sınıflandırılması metal matrisin sıcaklığına bağlıdır.

Buna göre üretim teknikleri:

- Katı hal üretim tekniği
- Sıvı-katı hal üretim tekniği
- Sıvı hal üretim tekniği

olarak sınıflandırılır[14].

Katı Hal Üretim Tekniği

MMK'lerin mekanik özelliklerindeki önemli gelişmeler, matrisin içerisine daha güçlü ve katı takviye elemanı eklenerek elde edilir. Bunun yanı sıra, MMK'lerin fiziksel özelliklerinin de takviye elemanı eklenmesi sonucunda ayrıca gelişmiştir. Gelişmiş monolitik alaşımlardan daha üstün mekanik ve fiziksel özelliklere sahip malzemelerin havacılık ve ticari sanayi içinde artan talebin gösterdiği gibi;

kompozitlerin birçok gerçek uygulamalarda yer alacağı giderek daha açık hale gelmektedir[17].

Katı hal üretim tekniği, takviye elemanı ile matrisin arasındaki kimyasal etkileşimi en az düzeye indirmek için kullanılabilir. Her iki fazın katı halde yayılma gücü çok daha düşük kalır. Bu yaklaşım, titanyum MMK üretmek için uygundur. Çünkü ergimiş titanyum; çok reaktif ve neredeyse herhangi olası takviye elemanını indirgemektedir [15].

Basit bir görünüm alındığında; katı hal kompozit üretiminde, kompozite komşu takviye elemanlarının her çifti ve her biri arasındaki matrise katı unsurların eklemesi gerekmektedir. Bu durum bazen çok zor olabilir. Klasik yaklaşımda, matris tozu ile takviye elemanı karıştırılır ve geleneksel toz metalürjisi tekniği kullanılarak birleştirilir [15].

Sıvı faz tekniği ile ortaya çıkan sorun;matris mikro yapısının düzgün elde edilmesinin ve takviye elemanı dağılımının kontrol edilmesinin zor olmasıdır. Buna ek olarak; matris ve takviye elemanı arasındaki ters ara yüzey reaksiyonları, sıvı işleme dahil olan yüksek sıcaklıklarda meydana gelmesi muhtemeldir. Bu reaksiyonlar, kompozitin mekanik özelliklerinde olumsuz etkiye sahiptir. Bundan dolayı, MMK'lerde katı hal işleme tekniğine ilgi artmaktadır. En sık görülen katı hal üretim tekniği aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir [13]:

- Toz metalürjisi tekniği
- Ektrüzyon
- Dövme
- Sıkıştırma ve sinterleme
- Haddeleme ve birlikte çekilme
- Difüzyon birleştirme.

Katı-Sıvı Hal Üretim Tekniği

Bu üretim tekniği “rheocasting” veya “compcasting” olarak da isimlendirilebilir. Bu yöntemin geliştirilmesinin nedenlerinden biri de sıvı hal üretim tekniğindeki takviye elemanının ıslanabilirlik sorununun çözmek istenilmesidir[14]. Takviye elemanı partikülleri güçlü bir şekilde çalkalanarak katılaşıp eriyiğe eklenip üretilen kompozit üretime yöntemine katı-sıvı üretim tekniği adı verilir. Bu göstermiştir ki; birincil katı partiküller daha önce yarı-katı bulamaç içinde oluşturulmuş, kendi ağırlık farkı birikimini önlemek ve onların topaklaşmasını azaltmak suretiyle takviye parçacıklarını mekanik olarak hapsedebilirler. Bu durum, takviye elemanı partiküllerinin matris içinde iyi dağılımı ile sonuçlanır. Dökümde görülen az gözeneklilik, matris alaşımındaki düşük hacim büzülmesinin yanı sıra matris ve takviye elemanı partikülleri arasındaki iyi ıslatılabilirliğe de atfedilebilir[16].

Sıvı Hal Üretim Tekniği

MMK umut verici mekanik ve termal özelliklere sahip olmasına rağmen, uzun zamandır sadece çok özel uygulamalarda kullanım alanı bulmuştur. Bu tür karmaşık üretilme gereklilikleri ve elde edilen ürünün yüksek maliyetli olması gibi eksiklikler; MMK’lerin yaygınlaşmasına ve üretimin artmasına engel teşkil etmiştir. MMK’lerin yaygınlaşması için önemli çabalar olmuş ve olmaya devam etmektedir. Bu çabalar sonucunda, cesaret verici sonuçlar elde edilmiştir. Bu sayede, MMK ticari uygulamalarda kendi varlığını göstermeye başlamıştır. Önemli örneklerden biri, Toyota motor şirketinin 1982 yılında dizel motor pistonlarında alumina fiber takviyeli alüminyum alaşımın kullanılması olmuştur[17].

Şu anda, ticari olarak katı hal üretim tekniği üzerinde sıvı üretim tekniğinin doğal bir avantajı bulunmakta olup bu nedenden dolayı, birçok uygulamada sıvı hal üretim tekniği kullanılmaktadır. Sıvı üretim tekniğinin avantajları şunlardır[17]:

- Sıvı metalin tozlara göre elde edilmesi kolaydır
- Sıvı metal tozlara göre düşük fiyatlıdır.

Birçok MMK sıvı hal üretim tekniğinde başarı ile üretilmesine rağmen halen bu üretim tekniğinde çeşitli zorluklar mevcuttur. Bu zorluklar aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir. Bunlar:

- Takviye elemanının çökmesi ve topaklanması,
- Metalik matris içinde takviye elemanı/ikinci fazın ayrılması,
- İstenmeyen arayüz reaksiyonları,
- Karıştırıcı tarafından mekanik çalkalanma boyunca takviye elemanın kırılması, şeklindedir [55].

Sıvı hal üretim yöntemi, kendi içinde başlıca dört bölüme göre sınıflandırılmaktadır, bunlar aşağıda belirtilmiştir [9]:

- Karıştırmalı döküm tekniği
- Sıvı metal emdirme tekniği
- Püskürtme halinde biriktirmeli döküm tekniği
- İn-situ tekniği.

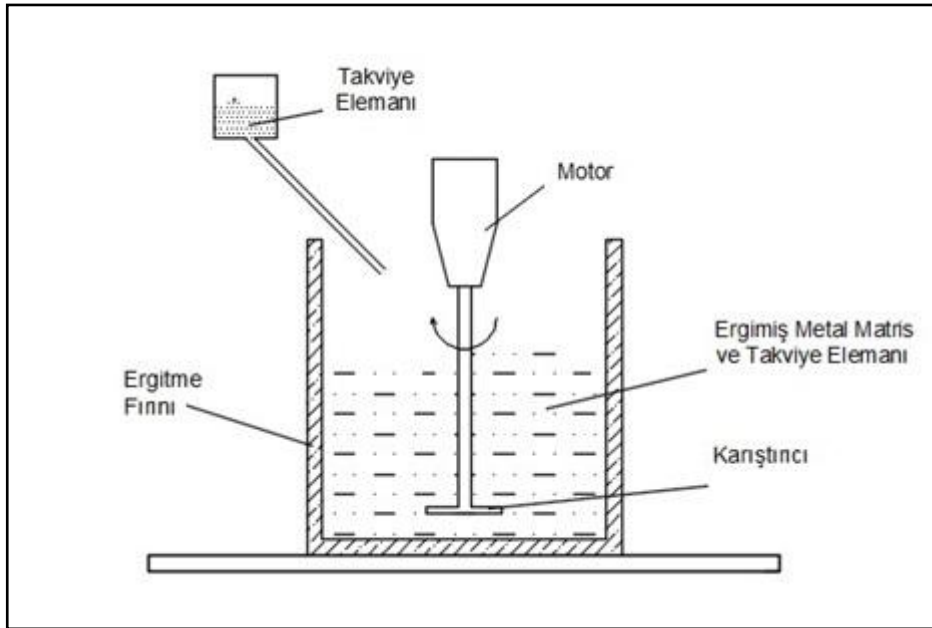
Karıştırmalı Döküm Tekniği

Sürekli MMK için çeşitli üretim yöntemleri mevcuttur. Genel olarak karıştırmalı döküm, şu anda ticari olarak uygulanan ve özellikle de gelecek vadeden bir üretim tekniği olarak kabul edilir. Karıştırmalı döküm tekniğinin en büyük avantajı; büyük miktarlarda üretimin yapılabilmesi, esneklik ve üretim sadeliğinden kaynaklanmaktadır. İlke olarak karıştırmalı döküm tekniği, geleneksel metal üretme tekniğinin kullanılmasına müsaade eder. Böylece, üretim maliyetlerinin minimum düzeyde olmasını sağlar. Bu nedenle; karıştırmalı döküm tekniği, tüm dünyada ilgi çekici bir haldedir. Bu sıvı üretim tekniği, MMK için var olan üretim teknikleri arasında en ekonomik olan tekniktir. Bu üretim tekniği, çok büyük boyutlu parçaların üretilmesine müsaade eder. Araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar sonucunda; karıştırmalı döküm tekniği kullanılarak malzemelerin hazırlanma maliyeti, diğer rekabetçi yöntemlerin yaklaşık yarısının üçte biri kadardır. Bununla birlikte, yüksek hacimli üretim yapıldığında; maliyetlerin onda birine kadar inebileceği sonucuna ulaşmışlardır[18].

Genel bir ifade ile MMK'lerin parçalarının bir araya getirilmesi şu şekilde meydana gelir; öncelikle seçilen MMK'in matris malzemesi ergitilir. Daha sonra, ergitilen metal matris içinde takviye elemanının düzgün bir dağılımını elde etmek amacıyla karıştırma işlemi gerçekleştirilir. Karıştırılan MMK'e takviye elemanı ilave edilir. Şekil 2.4, karıştırmalı döküm tekniği üretim ünitesinin şematik gösterimidir. Karıştırmalı döküm tekniğinde, metal matris hazırlarken dikkat edilmesi gereken faktörler vardır. Bu faktörler aşağıda belirtilmiştir[18]:

- Düzgün bir dağılım elde etmek zorluğu
- İki ana malzeme arasındaki ıslatabilirliği
- Döküm MMK'gezeneklilik
- Takviye elemanı ile MMK arasındaki kimyasal reaksiyonlar

MMK'te optimum özellikleri elde etmek için, matris alaşımında takviye elemanının dağılımını düzgün olmalıdır. Matris ve takviye elemanı arasındaki bağ veya ıslatılabilirliğin optimize edilmesi gereklidir. Gözeneklilik seviyesini en az düzeye çekilmesi gereklidir. Takviye elemanı ile matris arasında kimyasal reaksiyonlardan kaçınılmalıdır[18].



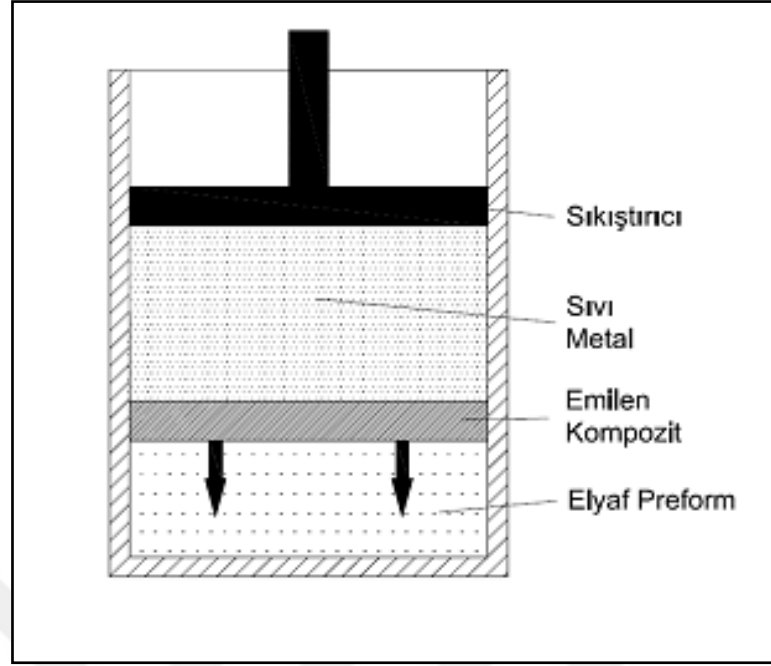
Şekil 2.4. Karıştırmalı döküm tekniğinin şematik gösterimi [17].

Sıvı Metal Emdirme Tekniği

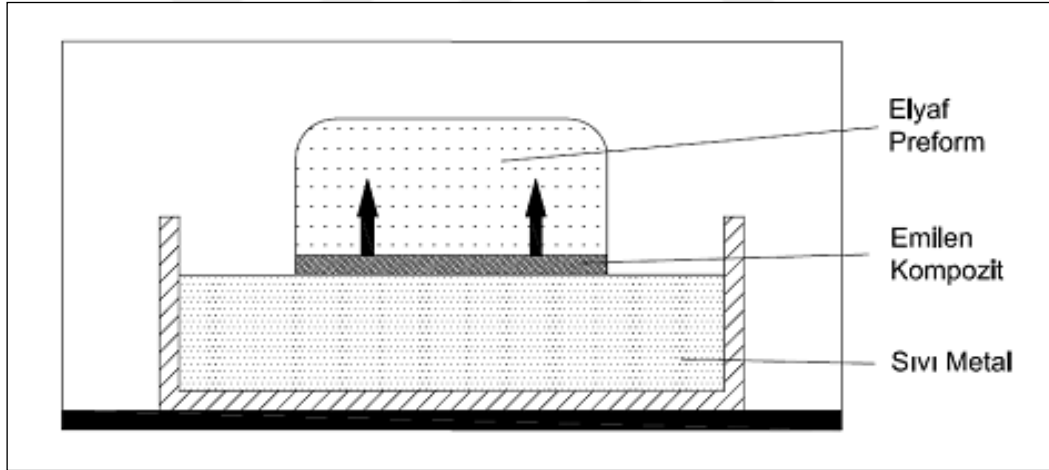
Alüminyum, magnezyum, titanyum ve bunların alaşımları gibi düşük yoğunluklu metal ve alaşımlar, MMK'in popüler matris malzemeleridir. Sıvı metal emdirme yöntemi ile matris alaşımları içine katılan, geniş bir alana sahip seramik, bor ve karbon; MMK'in popüler takviye elemanlarıdır. Bu hafif metaller ve bunların alaşımları ile bu tür takviye elemanının ıslanabilirliğinin maalesef zayıf olması ve matris fiber ara yüzündeki zararlı reaksiyonlar mevcudu kompozitin mekanik mukavemetini azaltarak metaller arası kırılğan bileşik üretebilir. Geleneksel metalürji yöntemlerinde de bulunan ıslatılma sorunlarının üstesinden gelmek için sıvı metal emdirme tekniği geliştirilmiştir. bu tür sıvı metal emdirme tekniği kısıtlı seçilen bölgelerdeki takviye elemanı ile kompozit dökümlerini üretme yeteneğine sahiptir[56].

Emdirme üretim tekniğinde preform, içindeki takviye fazı gözenekli gövdeye tutarak sarar. Emdirme üretim tekniğinde gözenekler, açıklık boyunca ergimiş metal ile doldurulur ve kompozit malzeme elde edilmiş olur [17]. Emdirme üretim tekniğinde asal gaz, mekanik sistemler ve vakumla basınç uygulanabileceği gibi doğal cazibe ile de gerçekleştirilebilir [Bkz. Şekil 2.5 (a), (b)][9].

Sıvı metal emdirme tekniği için seramik preform, MMK üretiminde alışılmış bir yoldur. Özellikle sıkıştırılmalı dökümde parçalamanın preform, iyi emilimi sağlar. Bu işlem, piston kullanılarak ön ısıtılma işlemi gerçekleştirilmiş olan preforma ergimiş metalin itilmesini içerir. Piston, 50-100MPa aralığında basınç uygular. Bu teknikte elde edilen güzel sonuçlara rağmen; preform içinde gaz hapsolması, mekanik özelliklere zarar verir ve metal seramik ara yüzünde boşluklara neden olur. Bir diğer problem ise; yüksek basınç nedeniyle laboratuvar araştırmalarında ağır araç gereç kullanılmasından dolayı, geliştirme zorluklarıdır [57].



(a)



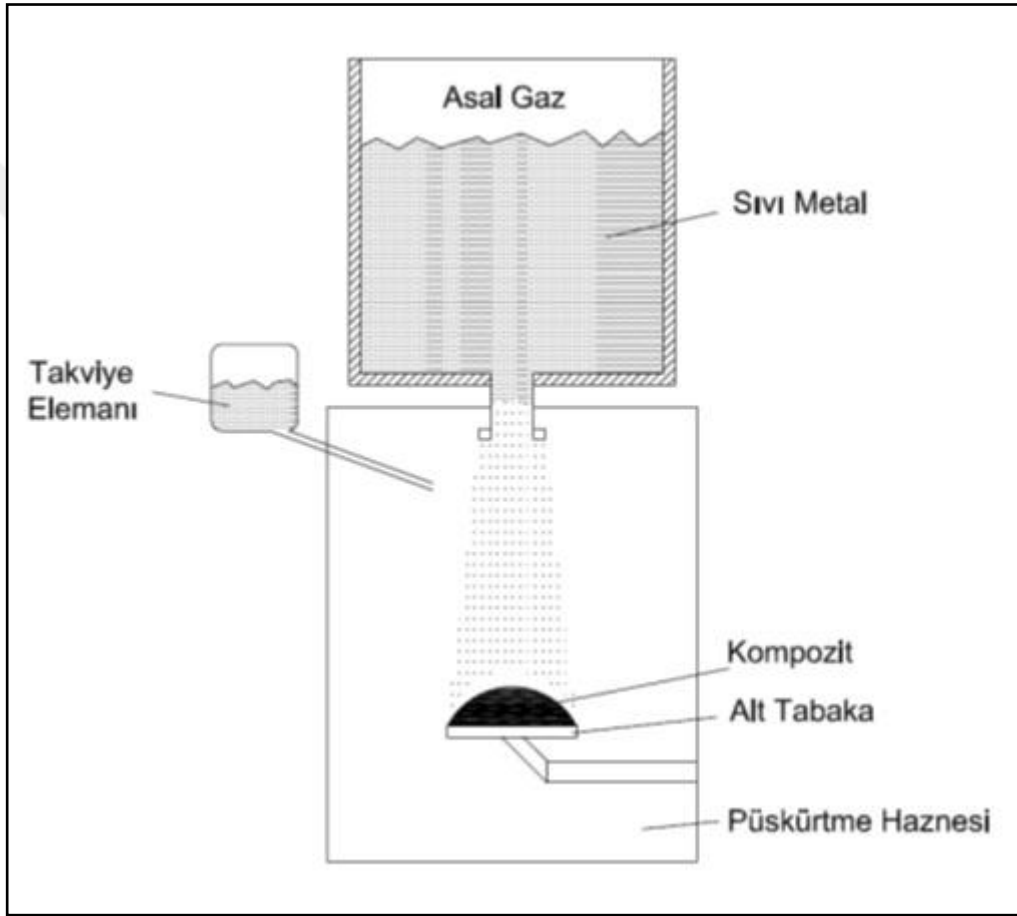
(b)

Şekil 2.5. Sıvı metal emdirme teknikleri a) Basınç altında sıvı metal emdirme tekniği, b) Doğal cazibeyle sıvı metal emdirme tekniği[17].

Püskürtme Halinde Biriktirmeli Döküm Tekniği

Bu üretim yönteminde, püskürtücü kullanılarak asal gaz yardımıyla ergimiş metal damlacıkları ile takviye elemanı birlikte püskürtülür. Katılaşması tamamlanan kompozit malzeme, alt tabakada toplanır. Püskürtme halinde biriktirmeli döküm

teknğinde; başlangıç sıcaklığı, boyut dağılımı ve metal damlaların hızı, hız, takviye elemanının besleme oranı ve sıcaklığı, malzemenin toplandığı alt tabakanın sıcaklığı ve de doğası kritik öneme sahiptir. Püskürtme döküm tekniğinin önemli bir avantajı da; matrisin mikro yapısında düşük ayrışma elde edilmesi ve ince tane boyutuna sahip olmasıdır. Püskürtme halinde biriktirmeli döküm tekniğinin şematik görünümü Şekil 2.6'de gösterilmiştir[58].

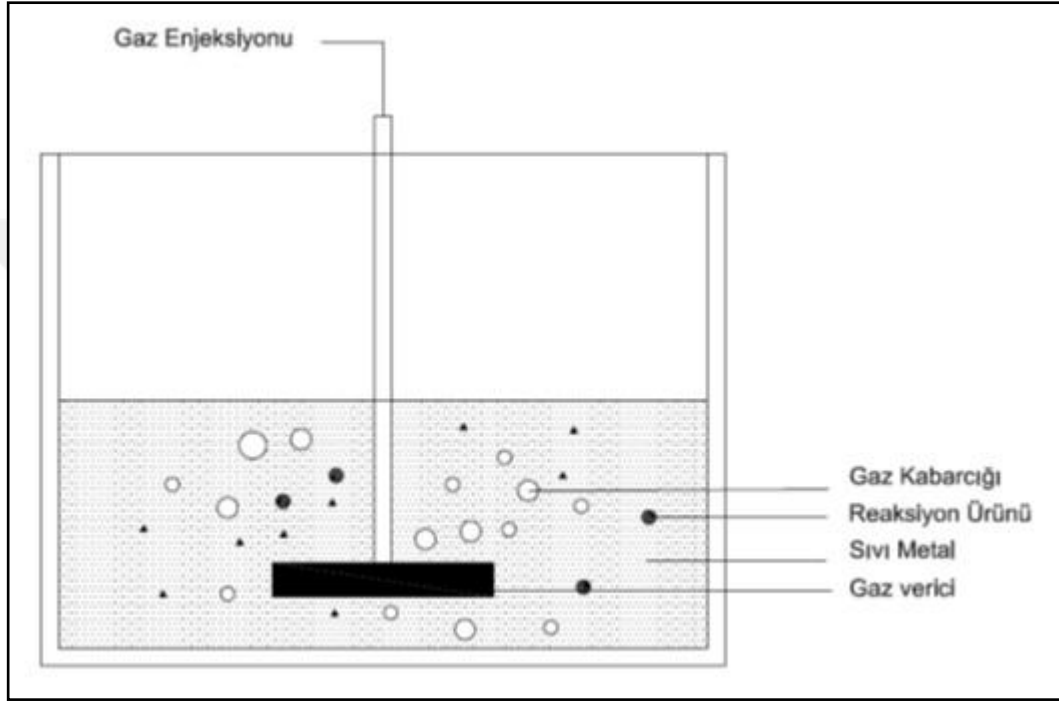


Şekil 2.6. Püskürtme halinde biriktirmeli döküm tekniğinin şematik görünümü[58].

In-Situ Tekniği

İn-situ tekniğinde, sıvı haldeki matris içine katı ve gaz karışımı ilave edilir. Kompozit malzeme, takviye elemanı matris içindeki alaşımlar, matris ve eklenen karışımların reaksiyonları sonucunda elde edilir (Bkz. Şekil 2.7)[14].

Kompozitlerdeki in-situ tekniğilk kez, çok fazlı alaşımların katılaşması sayesinde üretilmiş malzemeler için kullanılır. Çok fazlı alaşım katılaşığı zaman; onlar α matris fazı içindeki β fazı çubuğa benzer yapıda ya da ince levha şeklini sergileyebilir. İntermetalik alaşımlı takviye elemanı, gaz fazı veya katılaşmanın kontrolü ile elde edilebilir [58].



Şekil 2.7. In-situ tekniğinin şematik gösterimi[58].

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOD

3.1. MMK MALZEMELERİN ÜRETİMİNDE KULLANILAN MAKİNA VE EKİPMANLAR

Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarında karıştırmalı döküm tekniği ile MMK malzeme üretimini gerçekleştirmek için kompozit malzeme laboratuvarı oluşturulmuştur. Laboratuvar oluşturulurken üretim ünitesi ve dökülecek kalıp tasarlandı. Kalıp bileşenlerinin imalatı gerçekleştirilmiştir. Hazır çeşitli cihaz ve araç gereç satın alma işlemi yapılmıştır. İmalat süreçleri tamamlanan kompozit malzeme üretim ünitesi ve kompozitin imalinde kullanılan yardımcı araç gereçlere ait görseller Şekil 3.1’de sunulmuştur.



Şekil 3.1. Kompozit malzeme üretim ünitesi ve kompozitin imalinde kullanılan yardımcı araç gerece ait görseller.

Şekil 3.1’de görülen hafif metal ana fazlı kompozit malzeme üretiminde kullanılmak üzere, argon koruyucu atmosferli üretim ünitesi tasarlanmış ve imalat gerçekleştirilmiştir. Kompozit malzeme üretim ünitesi ve yardımcı araç gereçler aşağıda belirtilen bölümlerden oluşmaktadır. Bunlar:

- 1200 °C sıcaklığa çıkabilen dikey ergitme fırını,
 - Dikey ergime fırınına bağlı konum ve hız kontrollü karıştırıcı ünite,
 - Ergitme bölümünü dış ortamdan korumak için argon gazı ile koruyucu ortam oluşturabilmek amacıyla fırının içerisine paslanmaz çelikten imal edilmiş boru ve argon tüpü,
 - Ergitme fırınından potanın çıkarılmasını sağlayan asansör tertibatı,
 - Dikey ergitme fırını, karıştırıcı ve asansör tertibatını taşıyan gövde,
 - Hidrolik pres ,
 - Kalıp
- şeklindedir.

3.1.1.Dikey Ergitme Fırını

Hafif metal ana fazlı kompozit malzeme üretiminde kullanılan fırın tasarlanırken ergitme işlemi sırasında dışarıya ısı kayıplarının minimum tutulması hedeflenmiştir. Yine fırının istenilen sıcaklığa hızla ulaşılabilmesini mümkün hale getirmek hedeflenmiştir.

İmal edilen fırının ergitme hacmi üretim ve bakım işlemlerinin kolaylığından dolayı dikdörtgenler prizması formunda tasarlanmıştır. Fırının imalatına başlamadan önce rezistansların yerleştirileceği bloklar hazırlanmıştır ve her bir duvara dört adet rezistans yerleştirilmiştir. Toplam 4 duvara 16 adet, sarım boyu 4 m olan 1,5 mm çaplı tel rezistans yerleştirilmiştir. Fırın duvarına yerleştirilen rezistanslar Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

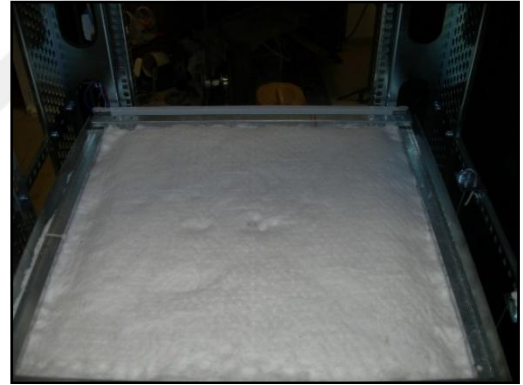


Şekil 3.2. Fırın duvarına yerleştirilen rezistanslar.

Şekil 3.3 (a)'da görülmekte olan ısıya dayanıklı tuğlalar ile fırın örülüp iç hazne oluşturulmuştur. Yine imal edilen fırının etrafı seramik battaniye ile sarılmıştır [Bkz. Şekil 3.3 (b)]. Bu sayede, fırının dış ortama ısı transferinin önüne geçilmiştir.



(a)



(b)

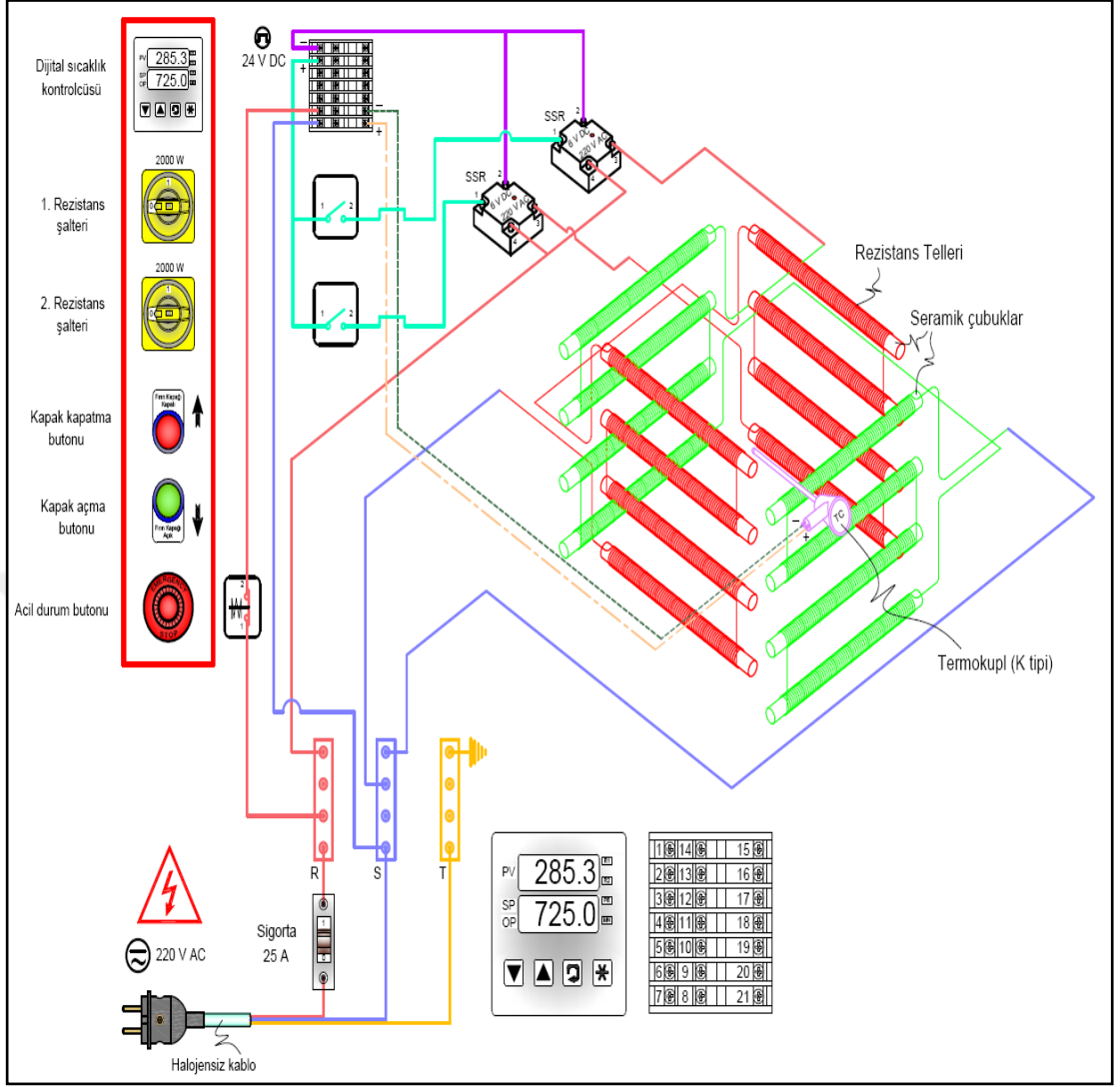
Şekil 3.3. Dikey ergitme fırını, a)Isıya dayanıklı tuğlalar ile örülen fırının içhaznesi,b) Fırının etrafına sarılmış olan seramik battaniye.

Fırının içerisinde MMK malzeme ergidiğinde sıcaklık değerlerinin ölçülebilmesi ve kontrolünü sağlayabilmek için termokupl yerleştirilmiştir (Şekil 3.4). Yine argon gazı ile koruyucu ortam oluşturabilmek amacıyla fırının içerisine paslanmaz çelikten imal edilmiş boru yerleştirilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4.Termokupl ve koruyucu atmosfer gaz borusu.

Tüm işlemler bitirildikten sonra ergitme fırınının gövdesine ergitme fırının panosu ve elektrik bağlantı işlemleri tamamlanmıştır. Ergitme fırın panosuna, asansörün aşağı yukarı iniş ve çıkış kontrolünü sağlamak için butonlar, fırın rezistansları güç kontrolleri (A ve B), PID sıcaklık kontrolü sağlayıcısı, fırının emniyetli durdurulması için acil durum butonu yerleştirilmiştir (Bkz. Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Ergitme fırını panosu ve elektrik bağlantı işlemleri.

Ergitilen MMK'in içerisindeki matris fazına takviye elemanının eklenebilmesi için fırının üst bölümüne delik açılmıştır. Açılan bu delikten takviye elemanının potanın içerisine atılabilmesi için seramik boru yerleştirilmiştir (Bkz. Şekil 3.6). Borunun seramik seçilmesinin amacı sıcaklıktan etkilenmemesidir.

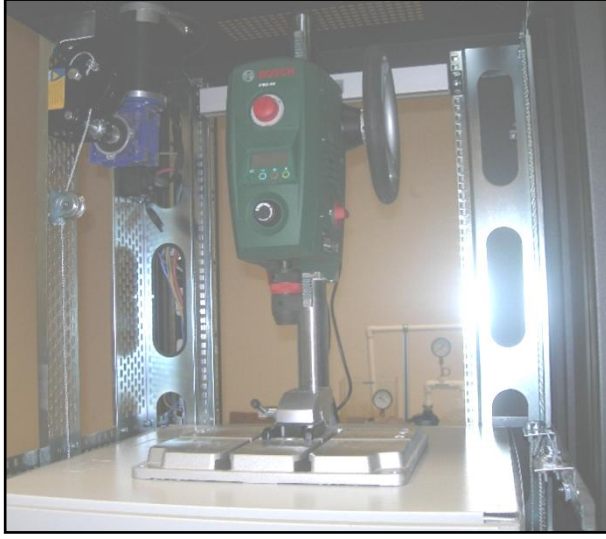


Şekil 3.6. Seramik boru.

Ergitme fırını imal edildikten sonra fırın sırasıyla 200, 400, 600 ve 800°C’de 24 saat çalıştırılarak ısıya dayanıklı tuğla ve seramik battaniye içindeki nemin atılması sağlanmıştır.

3.1.2.Karıştırıcı

Ergitilen MMK’in içersindeki matris fazın takviye elemanı ile homojen olarak karıştırılabilmesi ve de karıştırıcıyı yerleştirmek amacıyla fırının üst tarafının tam ortasına ikinci bir delik delinmiştir. MMK üretiminde karıştırıcı olarak kullanılmak üzere masa üstü matkap tezgahı temin edilmiştir (Bkz. Şekil 3.7). Temin edilen masa üstü matkap tezgahı belirlenen mesafeler arası aşağı-yukarı hareketi yapabilmekte ve arzu edilen devir sayısında dönebilmektedir. Masa üstü matkap tezgahındaki dijital ekrandan potansiyometre aracılığı ile ayarlanan istenilen devir sayıları görülmektedir. Bu durum devir sayısını ayarlamayı kolaylaştırmıştır. Ayrıca karıştırıcının konumu ve ne kadar mesafede hareket ettiği dijital ekrandan takip edilebilmektedir. Bu sayede karıştırıcının potadan ne kadar yukarıda olduğunu anlamamıza olanak sağlamıştır. Masa üstü matkap tezgahı iki ayrı vites seçeneğine sahiptir. Birinci vites seçeneğinde masa üstü matkap tezgahı 200~850 dev/dak arasında istenilen değere ayarlanabilmektedir. İkinci vites seçeneğinde ise devir sayısı 600~2500 dev/dak arasında istenilen değere ayarlanabilmektedir.



(a)

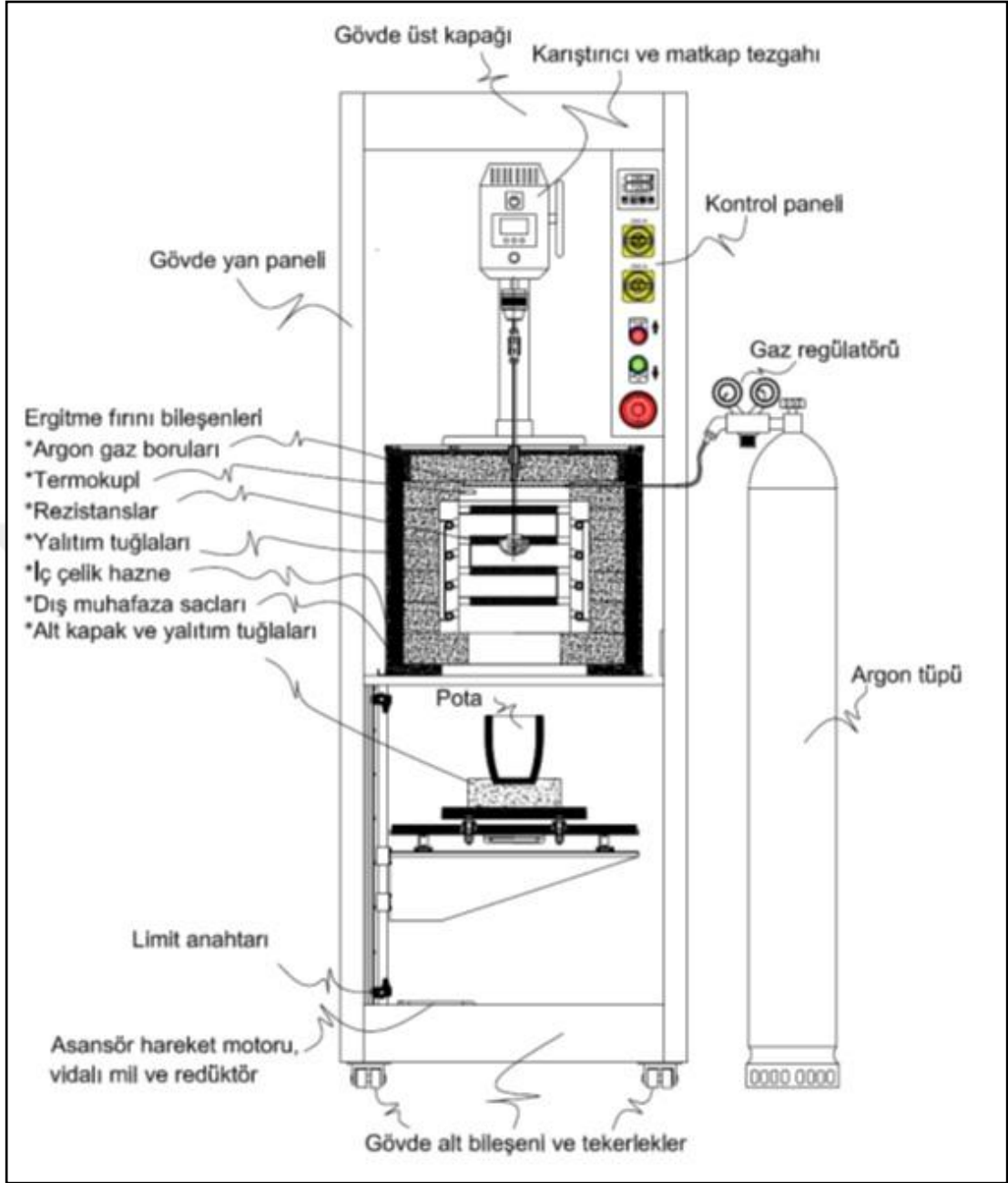


(b)

Şekil 3.7. Karıştırma işleminde için kullanılan matkap tezgahı a) Dikey ergitme fırını üzerine yerleştirilmiş hali, b) Masa üstü matkap tezgahının profili

3.1.3. Taşıyıcı Gövde

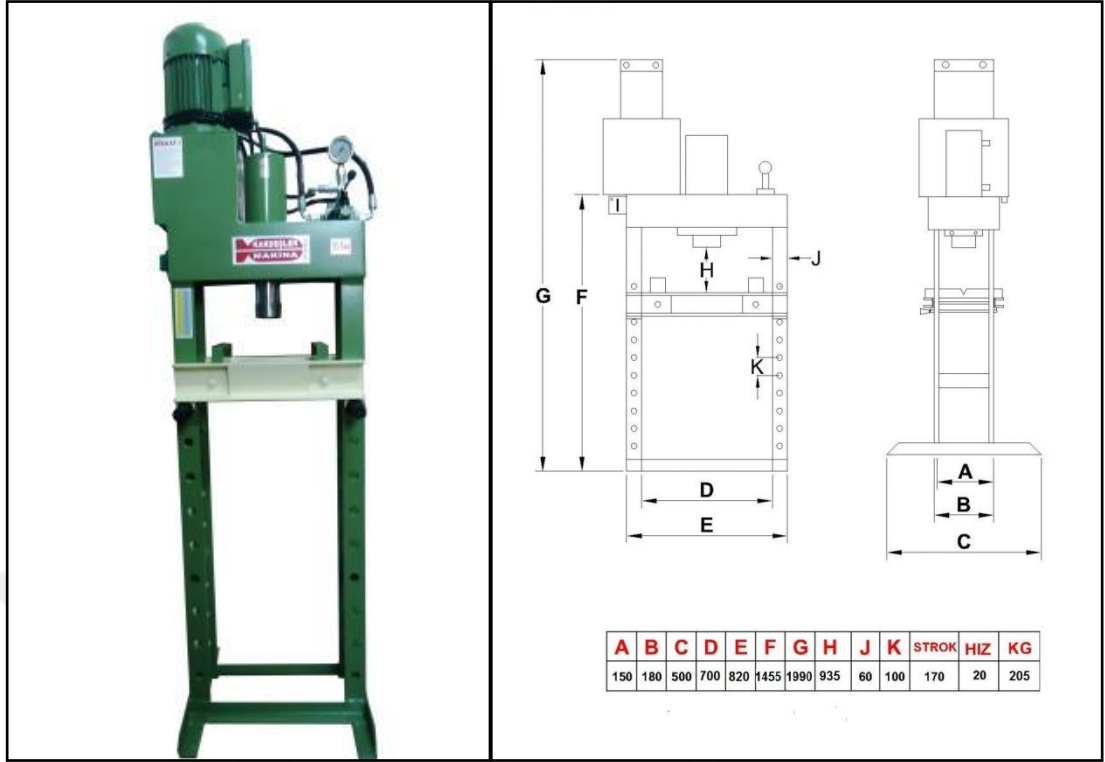
Üretim ünitesinde yer alan ergitme fırını, elektrik devre ve kontrol ünitesi, masa üstü matkap tezgahı yani karıştırma ünitesi, koruyucu atmosfer oluşturma için kullanılan bileşenler, potanın doldurulması ve boşaltılmasını sağlamak için kullanılan asansör ünitesi, kompozit malzeme ile ilgili yardımcı avadanlıkları barındırmak ve taşıyabilmek için taşıyıcı gövde tasarlanmıştır. Taşıyıcı gövdeyi istenilen yere taşıyabilmek maksadıyla hareket edebilir yapıda tasarlanmıştır. Taşıyıcı gövde kompozit imalatının güvenli olması amacıyla yan kapakları kapatılabilir yapılmıştır. Taşıyıcı gövde ve diğer ekipmanlar tasarımında standart bir insanın rahat bir şekilde çalışabilmesi için ergonomi kuralları dikkate alınmıştır (Bkz. Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Taşıyıcı gövde.

3.1.4. Hidrolik Pres

Ergimiş MMK, kalıba döküldükten sonra sıkıştırma işlemini gerçekleştirmek amacıyla 15 tonluk uzun tip motorlu Hidrolik Pres, Kardeşler Makine tarafından satın alınmıştır [Bkz. Şekil 3.9. (a)]. Aşağıda Şekil 3.9 (b)'de hidrolik presin teknik resmi gösterilmiştir



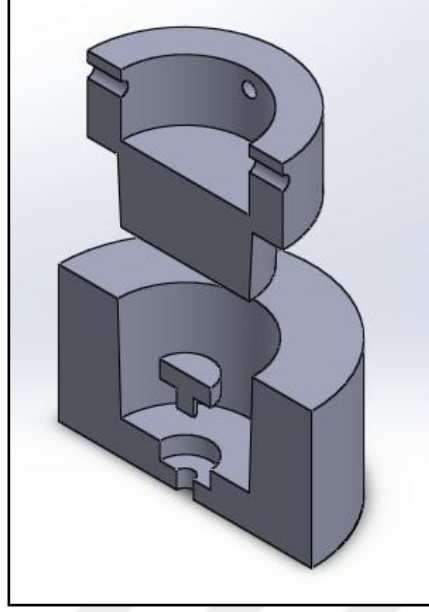
(a)

(b)

Şekil 3.9. Hidrolik pres; a) Profil görüntüsü, b) Teknik resmi.

3.1.5. Kalıp

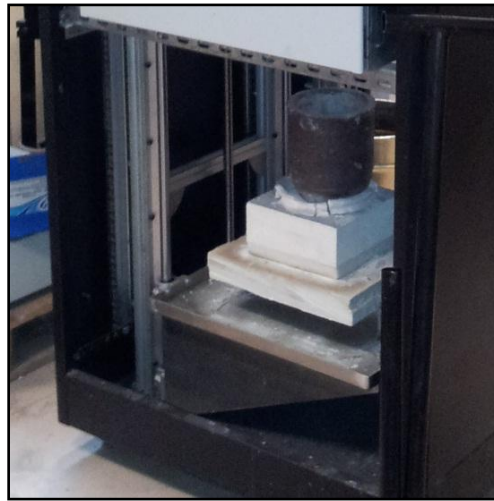
Kalıp yapabilmek amacıyla iki adet 150 mm çapında h13 sıcak iş takım çeliği satın alınmıştır. Satın alınan sıcak iş takım çeliği aşağıda belirtilen 3 boyutlu kesitte görüldüğü gibi tornada imalatı gerçekleştirilmiştir (Bkz. Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Kalıbın 3 boyutlu kesit görünüşü.

3.1.6. Asansör Tertibatı

Pota içerisinde ergiyen MMK’i dikey ergitme fırınından kolayca almak amacıyla asansör tertibatı tasarlanmıştır. İlk tasarlanan ve imalatı gerçekleştirilen asansör sistemi beşik sistemlidir. Fakat hareket esnasında beşik sistemli asansör istenilen hassasiyeti sağlayamamıştır. Bunun üzerine yeniden ikinci bir asansör sistemi tasarlanmış ve imal edilmiştir. İkinci tasarlanan asansör tertibatı lineer kızaklar kullanılarak vidalı mil vasıtası ile yukarı aşağı hareket sağlanmıştır (Bkz. Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Asansör tertibatı.

3.2. MMK ÜRETİMİNDE KULLANILAN MATRİS MALZEMESİ

MMK üretiminde kullanılan matris malzemesi AA 6060 alaşımıdır. AA 6060 alaşımlı ürünler Karabük Üniversitesi demir çelik enstitüsünde bulunan laboratuvarında spektral analiz yapılmıştır. Laboratuvarında elde edilen sonuçlar aşağıda gösterilen Çizelge 3.1’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. AA 6060’e ait teorik değer aralıkları, spektral analiz sonuçları ve sertlik değeri.

| Element | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Cr | Ni | Zn | Ti | Ga |
|-------------------|----------|-----------|------|-----------|----------|------|------|-------|------|-------|
| Teorik Değer (%) | 0.40-0.8 | 0.15-0.30 | 0,10 | 0.03-0.20 | 0.30-0.6 | 0.25 | 0.05 | 0.10 | 0.10 | 0.05 |
| Ölçülen Değer (%) | 0,786 | 0.197 | - | - | 0.4770 | - | - | 0.129 | - | 0,131 |

AA 6060 alaşımı dikdörtgenler prizması şeklinde 13x35x205 mm ebadında temin edilmiştir. Temin edilen her bir AA 6060 alaşımı parça 0,02 hassasiyetli terazide ölçüldüğünde ağırlığı 250~252 g aralığında gelmektedir.

3.3. MMK ÜRETİMİNDE KULLANILAN TAKVİYE ELEMANI

MMK üretiminde takviye elemanı olarak SiC kullanılmıştır. Kullanılan SiC 200 mesh boyutlarında elek altıdır. SiC’ün micron türünden boyutu ise ortalama 74µm’dur. SiC özgül ağırlığı 3,22 g/cm³’tür. Kullanılan SiC saflık derecesi %98’dir. Kullanılan SiC oda sıcaklığında katı haldedir ve rengi koyu gri şeklindedir.

3.4. TAKVİYESİZ MATRİS MALZEMESİ VE PARÇACIK TAKVİYELİ MMK’LERİN ÜRETİLMESİ

Bu çalışmada MMK imalatını gerçekleştirebilmek için üretim sistemi imal edilmiştir. İmal edilen üretim sisteminin çalışma verimliliğini belirlemek amacıyla; ergimiş metal karıştırma tekniği ile basınç altında döküm yöntemi kullanılarak bir adet takviesiz AA 6060 matris malzemesi ve iki adet SiC takviyeli AA 6060 matrisli

MMK imal edilmiştir. İmal edilen MMK’lerde SiC takviye elemanı oranı hacimce sırasıyla %7 ve %10 olarak belirlenmiştir (Bkz. Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Üretimi gerçekleştirilen deney numuneleri.

| Deney numuneleri | |
|-------------------------|-------------------------|
| 1. Numune | % 100 AA 6060 |
| 2. Numune | % 93 AA 6060 + % 7 SiC |
| 3. Numune | % 90 AA 6060 + % 10 SiC |

Çizelge 3.2’de belirtilen takviyesiz AA6060 matris malzemesi üretmek amacıyla kullanılan potanın içerisine belirlenen miktarda alüminyum eklendi. Fırının içerisinde koruyucu atmosfer oluşturmak amacıyla fırının içerisine argon gazı verildi. Böylece üretilen takviyesiz AA 6060 matris malzemesinin dış ortamdan etkilenmemesi sağlandı. Eklenen alüminyumun ergimesini sağlamak amacıyla fırının sıcaklığı 750 °C ayarlandı ve yaklaşık olarak 1,5 saat alüminyumun ergimesi için beklenildi. Alüminyum ergidikten sonra döküm almak amacıyla pota asansör vasıtası ile ergitme fırınının altına indirilmiştir. Potanın içerisindeki takviyesiz AA 6060 matris malzemesi yaklaşık olarak 250 °C sıcaklığa ısıtılmış sıcak iş takım çeliğinden hazırlanmış kalıbın içerisine dökülmüştür. Kalıbın içerisindeki takviyesiz AA 6060 matris malzemesi 15 tonluk presle 2 MPa basma kuvvetiyle sıkıştırılarak üretimi tamamlanmıştır.

Çizelge 3.2’de belirtilen hacimce yüzde oranına göre deney numunelerini üretebilmek için MMK’e katılacak takviye elemanı miktarı bilinmelidir. Takviye elemanı miktarını belirleyebilmek için sırasıyla aşağıdaki adımlar takip edilmiş ve örnek hesaplama yapılmıştır.

- Öncelikle MMK’in matris malzemesinin ağırlığını belirlemek için aşağıdaki formülden yararlanılmıştır (Eşitlik 3.1).

$$m_{Al} = m_m + m_t \quad (3.1)$$

$$m_m = 13 \times 35 \times 205 \text{ mm ebatlarında temin edilen matris malzemesi ağırlığı}$$

m_t =Alüminyum tozunun ağırlığı (40 gr)

m_{Al} =Matris malzemesinin toplam ağırlığı

- Özgül ağırlığı ve kütlesi bilinen matris malzemesinin hacmi aşağıda belirtilen özgül ağırlık formülünden bulunmuştur (Eşitlik 3.2).

$$d_{Al} = \frac{m_{Al}}{v_{Al}} \quad (3.2)$$

d_{Al} = Alüminyumun özgül ağırlığı

m_{Al} =Matris malzemesinin toplam ağırlığı

v_{Al} =Matris malzemesinin hacmi

- MMK malzemenin hacmini bulmak için aşağıdaki formülden yararlanılmıştır (Eşitlik 3.3).

$$v_{MMK} = \frac{\% 100 \times v_{Al}}{\% g} \quad (3.3)$$

v_{MMK} = MMK'in hacmi

v_{Al} =Matris malzemesinin hacmi

$\% g$ = $\% 100$ - İstenilen takviye $\%$ hacmi

- Aşağıdaki formülde MMK'in hacminden matris malzemesi hacmi çıkarılarak takviye elemanı hacmi elde edilir (Eşitlik 3.4).

$$v_{SiC} = v_{MMK} - v_{Al} \quad (3.4)$$

v_{SiC} =Takviye elemanı hacmi

v_{MMK} =MMK'in hacmi

v_{Al} =Matris malzemesinin hacmi

- Özgül ağırlığı ve hacmi bilinen takviye malzemesinin kütlesi aşağıda belirtilen özgül ağırlık formülünden bulunmuştur (Eşitlik 3.5).

$$d_{SiC} = \frac{m_{SiC}}{v_{SiC}} \quad (3.5)$$

d_{SiC} =Takviye elemanının özgül ağırlığı

m_{SiC} =Takviye elemanının kütlesi

v_{SiC} =Takviye elemanının hacmi

Örnek Hesaplama

Hacimce % 10 SiC takviyeli AA 6060 MMK'in takviye kütlesini bulmak için aşağıdaki adımlar takip edilir:

- Öncelikle MMK'in matris malzemesinin ağırlığını belirlemek için 13x35x205 mm ebatlarındaki AA6060 alaşımı, hassas terazide tartıldı. Tartım sonucunda 13x35x205 mm ebatlarındaki AA 6060 alaşımının ağırlığı 252 g olduğu tespit edildi. Daha sonra 40 g ağırlığında alüminyum tozu tartıldı. Eşitlik 3.1'den yararlanılarak matris malzemesinin toplam ağırlığı bulundu.

$$m_{Al} = 252 + 40$$

$$m_{Al} = 292 \text{ g}$$

$$m_m=252 \text{ g}$$

$$m_t=40 \text{ g}$$

m_{Al} =Matris malzemesinin toplam ağırlığı

- Özgül ağırlığı ve kütlesi bilinen matris malzemesinin hacmi Eşitlik 3.2'den yararlanılarak elde edilmiştir.

$$2,7 = \frac{292}{v_{Al}}$$

$$v_{Al} = 108,15 \text{ cm}^3$$

$$d_{Al}=2,7 \text{ g/cm}^3$$

$$m_{Al}=292 \text{ g}$$

v_{Al} =Matris malzemesinin hacmi

- MMK malzemenin hacmini elde Eşitlik 3.3'den yararlanılarak elde edilmiştir.

$$v_{MMK} = \frac{\% 100 \times 108,15}{\% 90}$$

$$v_{MMK} = 120,17 \text{ cm}^3$$

v_{MMK} =MMK'in hacmi

$$v_{Al}=108,15 \text{ cm}^3$$

$$\% g = \% 100 - \% 10$$

- SiC takviye elemanının hacmini elde Eşitlik 3.4'ten yararlanılarak elde edilmiştir.

$$v_{SiC} = 120,17 - 108,15$$

$$v_{SiC} = 12,02 \text{ cm}^3$$

v_{SiC} =Takviye elemanı hacmi

$$v_{MMK}=120,17 \text{ cm}^3$$

$$v_{Al}=108,15 \text{ cm}^3$$

- Özgül ağırlığı ve hacmi bilinen takviye malzemesinin özgül ağırlığı Eşitlik 3.5'ten yararlanılarak elde edilmiştir.

$$3,12 = \frac{m_{SiC}}{12,02}$$

$$m_{SiC} = 37,50 \text{ g}$$

$$d_{SiC}=3,12\text{gr/cm}^3$$

m_{SiC} =Takviye elemanının kütlesi

$$v_{SiC}=12,02$$

Yüzde hacimce orana göre hesaplanan takviye elemanı ile alüminyum tozu bir kap içerisinde iyice karıştırılmıştır. Karıştırılan SiC ve Al tozu alüminyum folyoya sarılarak paket haline getirilmiştir. Paket boyutlarını belirlerken dikey ergitme fırını içindeki potaya takviye elemanının eklenmesi için yerleştirilmiş seramik borunun çapından küçük olmasına dikkat edilmiştir.

Parçacık takviyeli MMK üretmek amacıyla kullanılan potanın içerisine belirlenen miktarda alüminyum eklendi. Fırının içerisinde koruyucu atmosfer oluşturmak amacıyla fırının içerisine argon gazı verildi. Böylece MMK malzeme dış ortamdan etkilenmemesi sağlandı. Eklenen alüminyumun ergimesini sağlamak amacıyla fırının sıcaklığı 750 °C ayarlandı ve yaklaşık olarak 1,5 saat alüminyumun ergimesi için beklenildi. Alüminyum ergidikten sonra karıştırıcı açıldı. Karıştırıcının hızı girdap oluşturmak amacıyla 350 dev/dak olarak ayarlanmıştır. Alüminyum folyoya sarılan paketler fırının içerisine atılmaya başlanmıştır. Alüminyum folyoya sarılı paketler ertirme fırının içerisine atılırken karıştırıcı belli aralıklarda aşağı yukarı hareket ettirilmiştir. Ara sıra, paket atımına ara verilerek; Al ile SiC reaksiyon oluşturması için karıştırıcı durdurulmuştur. Alüminyum folyoya sarılı paketlerin fırına atılması bittikten sonra 15 dakika kadar daha karıştırma işlemine devam edilmiştir.

SiC takviyeli AA 6060 MMK'ten döküm almadan önce üretilen kompozitin akışkanlığını artırarak dökümünü kolaylaştırmak amacıyla ertirme fırınının sıcaklığı 800 °C'ye ve karıştırıcı hızı 500 dev/dak'a hıza çıkartılmıştır. Daha sonra döküm almak amacıyla pota asansör vasıtası ile ertirme fırınının altına indirilmiştir. Potanın içerisindeki SiC takviyeli AA 6060MMK yaklaşık olarak 250 °C sıcaklığa ısıtılmış sıcak iş takım çeliğinden (H13) hazırlanmış kalıbın içerisine dökülmüştür. Kalıbın içerisindeki MMK 15 tonluk presle 2 MPa basma kuvvetiyle sıkıştırılarak üretimi tamamlanmıştır.

3.5. METALOGRAFİK İNCELEMELER

İmalatı gerçekleştirilen matris malzemesi ve hacimce % 7 ile % 10 SiC takviyeli AA 6060ana fazlı MMK numuneler “Struers Discotom 100” marka kesme cihazında kesilerek 1'er dilim alınmıştır. Alınan dilimler “Struers Secotom 50” kesme cihazında bakalite alınabilecek küçük parçacıklar kesilmiştir. Küçük parçacıklar “Struers Citopress 10” cihazında bakalite preslenerek gömülmüştür. Bakalite alınan numuneler “Struers Tegramin 30” cihazında zımparalama işlemi yapılmıştır. Bakalite alınan numunelerde kullanılan zımpara kağıtları sırası ile 60, 120, 180, 400, 600, 800, 1000, 1200, 2300 nit kağıtlardır. Zımparalanan bakalit numuneler 2 dakika boyunca elmas solüsyon ile parlatma işlemine tabi tutulmuştur. Parlatma işlemi

yapılan bakalit numunenin Nikon marka cihazda mikro yapı fotoğrafları çekilmiştir. Mikro yapı fotoğrafı çekilen bakalit içindeki numune keller sıvısı ile dağlanmıştır. Dağlanan numunelere tekrar Nikon marka cihazda mikro yapı fotoğrafları çekilmiştir. Nikon marka cihazda çekilen mikro yapı fotoğrafları Clemex Yazılımı ile bilgisayara aktarılmıştır.

3.6. SERTLİK ÖLÇÜM YÖNTEMİ VE CİHAZI

Üretimi gerçekleştirilen matris malzemesi ve takviye oranı %7 ve %10 olan SiC takviyeli AA 6060 matrisli MMK'in sertlik ölçüm deneyi gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçüm deneyinde Brinell Sertlik Ölçüm Metodu tercih edilmiştir. Brinell sertlik ölçümünde "ADİO AHT 350 Leeb Hardness Tester" marka cihaz kullanılmıştır. Her bir numunede 5 kez ölçüm yapılmış ve bu ölçümlerin ortalaması alınarak sertlik değerleri belirlenmiştir.

3.7. YOĞUNLUK VE GÖZENEKLİLİK BELİRLENMESİ

Üretimi gerçekleştirilen matris malzemesi ve takviye oranı %7 ve %10 olan SiC takviyeli AA 6060 matrisli MMK'in yoğunluk ölçümünde Arşimet prensibinden yararlanılmıştır. Arşimet prensibine göre yoğunluk ölçümünde aşağıdaki Eşitlik 3.6'dan yararlanılmıştır[7].

$$\delta_d = \frac{m_h}{m_h - m_s} \quad (3.6)$$

δ_d =Deneysel yoğunluk

m_h =Metal Matris kompozitin havada tartılan ağırlığı

m_s =Metal Matris kompozitin suda tartılan ağırlığı

Deneysel yoğunluğu bulmak için üretilen MMK'in havadaki ağırlığı ve saf suya konularak sudaki ağırlığı belirlenir. Belirlenen hava ve su ağırlıkları yukarıdaki denklemde yerine yazılarak üretilen MMK'in deneysel yoğunluğu bulunmuştur.

Üretilen kompozitte gözenekliliği tespit etmek için aşağıdaki Eşitlik 3.7 kullanılmıştır.

$$\% G = \left(\frac{\delta_t - \delta_d}{\delta_t} \right) \times 100 \quad (3.7)$$

% G= Gözenekliliğin % miktarı

δ_t = Teorik Yoğunluk

δ_d = Deneysel yoğunluk



BÖLÜM 4

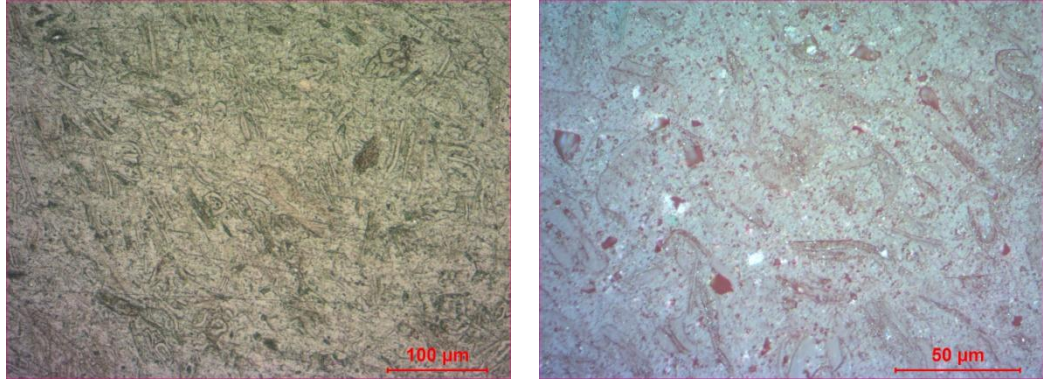
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. METALOGRAFİK İNCELEMELER

Metalografik incelemeler, üretimi gerçekleştirilen iki adet kompozit ve bir adet AA 6060matris malzemesi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Metalografik incelemelerde amaç:

- Kompozit yapı içerisinde parçacık dağılımını incelemek,
- Yapı içerisinde gözeneklilik durumu hakkında bilgi sahibi olmak,
- Takviye – ana faz arası ara yüzey bağı hakkında kısmen bilgi toplamak,
- Anafaz tane boyutu ve oluşan yapılar hakkında inceleme yapmak,

şeklindedir. Bu amaç doğrultusunda yapılan metalografik incelemelerle elde edilen mikro yapı fotoğrafları Şekil 4.1 ile Şekil 4.3 arasında sunulmuştur.



(a)

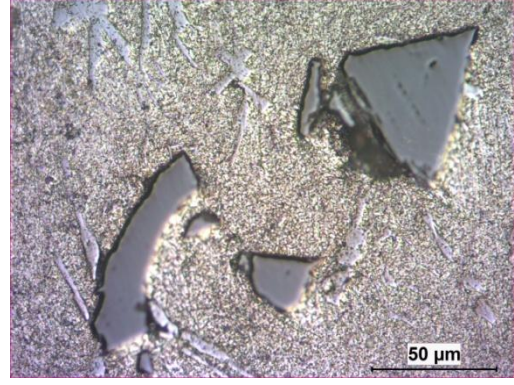
(b)

Şekil 4.1. AA 6060matrisinmikro yapı görüntüleri; a) 100x büyütme, b) 200x büyütme.

Şekil 4.1 (a) ve (b)'dekiAA 6060matrisin mikro yapı görüntüleri incelendiğinde; α alüminyum fazı ve ikincil silisyum dentritik yapılar gözlenmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.2. % 7 SiC takviyeli kompozit mikro yapı görüntüleri; a) 200x büyütme, b) 500x büyütme.

Şekil 4.2 (a) ve (b)'deki % 7 SiC takviyeli kompozit malzemenin mikro yapı görüntüleri incelendiğinde; kısmen homojen olduğu gözlenmiştir. Bazı bölgelerde topaklanmanın meydana geldiği görülmüş olmasına rağmen takviye elemanlarının aralarında boşluklar mevcut olduğu saptanmıştır.



(a)



(b)

Şekil 4.3. % 10 SiC takviyeli kompozit mikro yapı görüntüleri; a) 50x büyütme, b) 100x Büyütme.

Şekil 4.3 (a) ve (b)'deki % 10 SiC takviyeli kompozitin mikro yapı görüntüleri incelendiğinde; kısmen homojen olduğu ve bazı yerlerde topaklanmaların meydana geldiği gözlenmiştir. AA 6060 metal matrisin takviye elemanını iyice sardığı belirlenmiştir. Buradan da; AA 6060 metal matrisin takviye elemanını iyi ıslatabildiği anlaşılmaktadır.

Karıştırmalı döküm tekniğinde matris içinde takviye elemanının homojen dağılımını sağlamak oldukça zordur. MMK'in bazı bölgelerde SiC takviye elemanının daha yoğun olduğu görülmektedir. Parçacıkların matris içinde bir bölgede yoğunlaşmasının sebebi; MMK'in katılaşma sırasında katı halde bulunan takviye elemanını irileşen dentritlerden katı sıvı faza yönelmeye zorlamasıdır[14].

4.2. MEKANİK ÖZELLİKLER

İmalatı gerçekleştirilen matris malzemesi ve MMK'lerin yoğunluk ve gözeneklilik gibi fiziksel özellikleri ile mekanik karakteristiği olan sertlik değeri tespit edilmiştir.

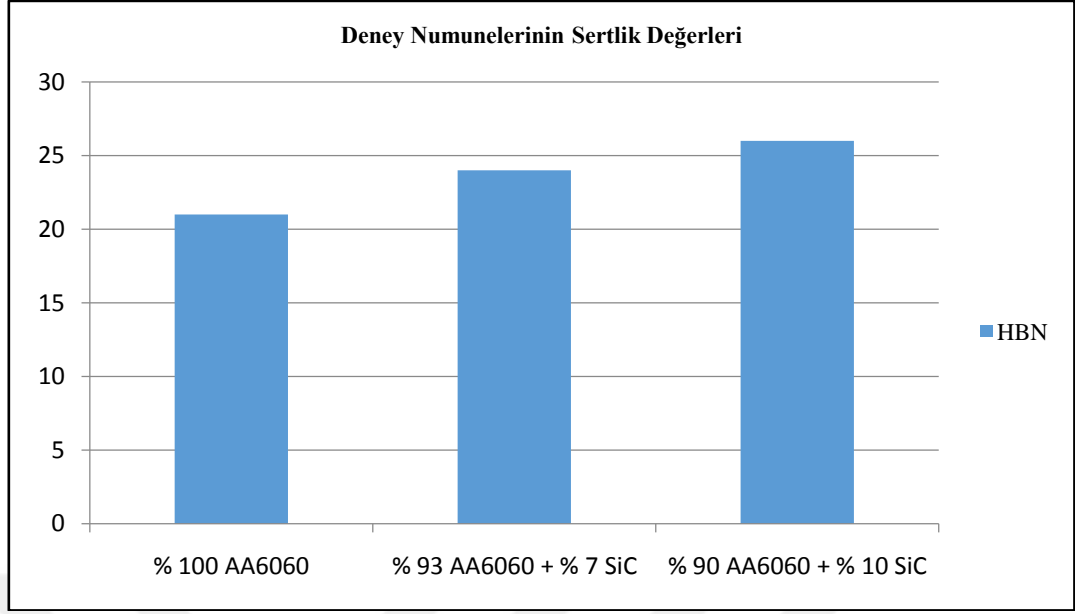
4.2.1. Sertlik Ölçüm Sonuçları

İmalatı gerçekleştirilen matris malzemesi ve MMK'lerin Brinell Sertlik Değeri türünden ölçümü yapılmıştır. Bu numunelerin 5 ayrı noktasından ölçüm gerçekleştirilmiştir. Elde edilen 5 ayrı ölçümün aritmetik ortalaması alınmıştır. Çizelge 4.1'de imalatı gerçekleştirilen malzemelerin sertlikleri belirtilmiştir.

Çizelge 4.1. İmalatı gerçekleştirilen malzemelerin brinell sertlik değerleri.

| Deney Numunelerinin Sertlik Değerleri | | |
|---------------------------------------|------------------------------|----------------|
| Numune Sayısı | Malzemelerin Hacimce % Oranı | Sertlik Değeri |
| 1. | % 100 AA 6060 | 21 HBN |
| 2. | % 93 AA 6060 + % 7 SiC | 24 HBN |
| 3. | % 90 AA 6060 + % 10 SiC | 26 HBN |

Yukarıdaki çizelgede görüldüğü üzere; MMK'in sertlik değerleri takviyesiz matris alüminyum alaşımına göre daha yüksektir. Numuneler arası yapılan karşılaştırmaya göre; takviye elemanının MMK içindeki hacimce yüzde oranı arttıkça, sertlik değerinin artma eğilimi gösterdiği anlaşılmaktadır. Sertlik değeri en yüksek 26HBN ile hacimce %10 SiC içeren 3. numune olarak belirlenmiştir (Bkz. Çizelge 4.2).



Şekil 4.4. Deney numunelerinin sertlik oranları.

Yapılan literatür araştırmasında MMK'lerin içinde takviye oranı arttıkça malzemenin sertliğinin arttığı anlaşılmaktadır. Bu araştırmalarla ilgili bilgiler aşağıda sunulmuştur.

Şahin, koruyucu atmosfer altında karıştırmalı döküm yöntemi ile ağırlıkça %10 ve %20 oranında SiC takviyeli AA 2014 matrisli MMK'lerin hidrolik presle kalıba sıkıştırarak döküm işlemi gerçekleştirmiştir. İmal edilen MMK'lerin sertlik incelemelerinde takviye malzemesinin ağırlıkça % oranı arttığında; sertlik oranının da arttığı görülmektedir [59].

Bharath ve diğerleri, karıştırmalı döküm tekniği ile ağırlıkça %6, %9, %12 Al_2O_3 takviyeli AA 6061 matrisli MMK imalatı gerçekleştirmişlerdir. İmal edilen MMK'lerin vickersmikro sertlik incelemelerinde takviye malzemesinin ağırlıkça % oranı arttığında; mikro vickers sertlik değerinin de arttığı saptanmıştır[60].

Balasubramanian ve Maheswaran karıştırmalı döküm tekniği ile ağırlıkça %0, %5, %10 ve %15 SiC takviyeli AA6063 matrisli MMK imalatı gerçekleştirmişlerdir. Üretimi gerçekleştirilen MMK'lerin vickers mikro sertlik incelemelerinde

takviyemalzemesinin ağırlıkça % oranı arttığında;vickers mikro sertlik oranında arttığı saptanmıştır [61].

Singlavl., karıştırmalı döküm tekniği ile ağırlıkça %5, %10, %20, %25, ve %30 SiC takviyeli alüminyum matrisli MMK imalatı gerçekleştirmişlerdir. Üretimi gerçekleştirilen MMK'lerin sertlik incelemelerinde takviye malzemesinin ağırlıkça % oranı arttığında sertlik oranında arttığı saptanmıştır[62].

4.2.2.Yoğunluk Ölçümleri Ve Gözenek Miktarının Belirlenmesi

İmalatı gerçekleştirilen deney numunelerinin yoğunluk değerini incelememizin amacı, malzemenin yoğunluk miktarına bağlı olarak gösterdiği dayanım karakteristiklerini saptamaktır. Diğer bir amacı ise; MMK'lerin seçilen imalat metodunun sebep olduğu gözenek miktarını belirlemektir. Çizelge 4.2'de imalatı gerçekleştirilen malzemelerin yoğunlukları ve gözenek miktarları gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. İmal edilen malzemelerin yoğunlukları ve % gözenek miktarları.

| Deney Numunelerin Teorik Yoğunluk ve % Gözenek miktarı | | | | | |
|--|--------------------|--|--|---|--------------------------|
| MMK Matris ve Takviye Elemanı Yoğunluk Değ. (δ), g/cm³ | | Deneysel Yoğunluk (δ_d), g/cm³ | Teorik Yoğunluk (δ_t), g/cm³ | Yoğunluk Farkı, g/cm³ | % Gözenek miktarı |
| Al 2,682 | SiC 3,22 | | | | |
| Malzemelerin Hacimce % Oranı | | | | | |
| % 100 AA 6060 | | 2,674 | 2,682 | 0,008 | 0,30 |
| % 93 AA 6060 + % 7 SiC | | 2,707 | 2,719 | 0,012 | 0,44 |
| % 90 AA 6060 + % 10 SiC | | 2,708 | 2,736 | 0,028 | 1,02 |

MMK'lerin karışımlar kanununa göre hesaplanan teorik yoğunluk miktarı, deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen deneysel yoğunluk miktarı, teorik yoğunluk miktarının deneysel yoğunluk miktarından çıkarılmasıyla elde edilen yoğunluk farkı ve deneysel yoğunluk ve de teorik yoğunlukla yapılan hesaplamalar sonucunda ortaya konulan % gözenek miktarı Çizelge 4.2'de belirtilmiştir

Çizelge 4.2’de yapılan % gözenek miktarı incelendiğinde malzemenin düşük gözenekliliğe sahip olduğu görülmektedir. Bunun en büyük nedeni döküm işleminde hidrolik pres kullanılarak sıkıştırılmalı döküm yapılmasıdır [9]. Karıştırmalı döküm yöntemi ile imalatı gerçekleştirilen malzemelerde gözenek meydana gelmesinin nedenlerinden biri de MMK’lerin döküm sırasında hava ile irtibatta bulunması ve döküm zamanıdır. MMK içinde gözenek miktarının yükselmesi sonucunda malzemenin mekanik karakteristiği olumsuz yönde etkilenmektedir.



BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmamızda MMK imalatını gerçekleştirebilmek için üretim sistem imal edilmiş olup imal edilen üretim sisteminin çalışma verimliliğini belirlemek amacıyla da ergimiş metal karıştırma tekniği ile basınç altında döküm yöntemini kullanarak bir adet takviyesiz AA6060 matris malzemesi ve iki adet SiC takviyeli AA6060 matrisli MMK'ler imal edilmiştir. İmal edilen üretim ünitesinin performanslarının incelenmesi için takviyesiz matris malzemesi ve MMK'lerin; mikroyapı, sertlik, yoğunluk ve gözenek miktarı gibi mekaniksel özellikleri deneyler yapılarak tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlardan yararlanılarak yapılan önermeler aşağıda belirtilmiştir. Bunlar;

- Ergimiş metal karıştırma tekniği ile basınç altında döküm tekniği kullanılarak üretilen MMK'lerin mikro yapısı incelenmiştir. İncelenen mikro yapı sonuçlarında SiC takviye elemanının AA6060 matris içinde kısmen homojen dağıldığı saptanmıştır. Elde edilen MMK'lerin bazı bölgelerinin mikro yapı fotoğraflarında topaklanma meydana geldiği görülmüştür. Buna ek olarak, mikroyapı görüntülerinde metal matrisin takviye elemanını iyice sardığı belirlenmiştir. Buradan da; metal matrisin takviye elemanını iyi ıslatabildiği kanaatine varılmıştır.
- İmalatı gerçekleştirilen matris malzemesinin mikroyapı görüntüleri incelendiğinde; ikincil dentritik silisyum yapıları gözlenmiştir.
- MMK'lerin sertlik deney sonuçları incelendiğinde; MMK'lerin hacimce takviye oranı arttıkça sertliğinin arttığı tespit edilmiştir. MMK sertliğinin artmasının nedeni matrise göre daha sert SiC parçacıklarının MMK içindeki hacimce oranının artmasıdır. Sertliğin artmasının bir diğer nedeni ise metal

matris ile takviye elemanı malzemesinin ısı genleşme katsayısı farklılıklarıdır. Matrisin ısı genleşme katsayısı takviye elemanına göre daha yüksektir. Malzeme döküldükten sonra matris takviye elemanına göre daha fazla büzülür. Büzülen matris takviye elemanına baskı kuvveti uygular. Etki tepki prensibine göre takviye elemanı da matrise aynı kuvvette etki eder. Bu nedenle de takviye elemanı etrafındaki matris malzemesi baskı kuvveti etkisiyle daha küçük tane sınırları oluşturarak katılaşır. Bu durum kompozitin sertliğine de etki eder.

- Takviye elemanı ve alüminyum tozunun elle bir kap içinde iyice karıştırılmıştır. Karıştırılan takviye elemanı ve alüminyum tozu yaklaşık 1-2 g'lık paketler halinde seramik boru içinden ergimiş matris malzemesine ilave edilmiştir. Bu işlem takviye elemanının matris içinde ısılatılabilirliğini iyileştirmiştir.
- Dikey ergitme fırınında matris malzemesinin ergimesi için fırının sıcaklığının 750 °C'de 90 dakika tutulması yeterlidir. MMK'ın sıcak iş takım çeliğine döküm işlemini kolaylaştırma amacıyla dikey ergitme fırının sıcaklığı dökümden önce 800 °C'ye çıkarılmalıdır.
- MMK üretiminde 45° açılı kanatlı karıştırıcının kullanılması, karıştırıcının aşağı yukarı hareket ettirilmesi, takviye elemanı eklenmesi bittikten sonra da karıştırıcının devir hızı artırılarak tekrar aşağı yukarı hareket ettirilmesi, takviye elemanının pota içerisindeki matris malzemesi ile homojen karışmasını sağlamıştır.
- Ergimiş haldeki matris ve takviye elemanının karışımı, sıcak iş takım çeliğine alındıktan sonra hidrolik motorlu yön kontrol valfli 15 tonluk hidrolik pres kullanılarak 2 MPa basma kuvveti uygulanmıştır. Uygulanan basma kuvveti sonucunda MMK malzemelerde gözenek miktarının azalmasını sağlamıştır.

Elde ettiğimiz sonuçlardan faydalanarak sonraki çalışmalarda için şu öneriler sıralanabilir. Bunlar;

- MMK'in takviye elemanı ile Alüminyum tozunun çok eksenli karıştırma cihazı ile karıştırılması MMK'nın takviye elemanını ısıtılabilirliğine katkı sağlayabilir.
- Dikey ergitme fırınında takviye elemanı ile matrisin daha iyi karıştırılabilmesi amacıyla karıştırıcı formunda iyileştirmeler yapılmalıdır. Bu sayede MMK içindeki takviye elemanı ile matris karışımı daha homojen elde edilebilecektir.
- MMK kalıba döküldüğünde MMK'te gözenekliliği azaltmak için kalıba dökülen MMK'i sıkıştırmakta kullanılan yön kontrol valfli hidrolik presin basma kuvveti daha yüksek olanı tercih edilmelidir.

KAYNAKLAR

1. Chaudhury, S. K., Singh, A. K., Sivaramakrishnan, C. S., and Panigrahi, S. C., "Wear and friction behavior of spray formed and stir cast Al–2Mg–11TiO₂ composites", *Wear*, 258 (5–6): 759–767 (2005).
2. Kumar, A., Lal, S., and Kumar, S., "Fabrication and characterization of A359/Al₂O₃ metal matrix composite using electromagnetic stir casting method", *Journal Of Materials Research And Technology*, 2 (3): 250–254 (2013).
3. Mortensen, A., "Concise Encyclopedia of Composite Materials", *Elsevier*, 990 (2006).
4. Prasad, R. C., "Composites, Science, and Technology", *New Age International*, 222 (2000).
5. Skal'skii, V. R., Stankevich, E. M., and Matviiv, Y. Y., "A study of the features of the macrofracturing of composite materials", *Russian Journal Of Nondestructive Testing*, 49 (10): 562–571 (2013).
6. Oller, S., "Numerical Simulation of Mechanical Behavior of Composite Materials", *Springer*, 228 (2014).
7. Cilasun, N., S. ., "Karıştırmalı döküm yöntemi ile SiC takviyeli Al esaslı kompozit üretimi ve aşınma özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi*, (2013).
8. Groover, M. P., "Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems", *John Wiley & Sons*, 1027 (2010).
9. Sur, G., "Karma takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin üretimi, mekanik özellikler ve işlenebilirliklerinin incelenmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*, Ankara, (2008).
10. Bains, P. S., Sidhu, S. S., and Payal, H. S., "Fabrication and machining of metal matrix composites: a review", *Materials And Manufacturing Processes*, 31 (5): 553–573 (2016).
11. Ragab, K. A., Abdel-Karim, R., Farag, S., El-Raghy, S. M., and Ahmed, H. A., "Influence of SiC, SiO₂ and graphite on corrosive wear of bronze composites subjected to acid rain", *Tribology International*, 43 (3): 594–601 (2010).
12. Nishida, Y., "Introduction to Metal Matrix Composites: Fabrication and Recycling", *Springer Science & Business Media*, 212 (2013).
13. Chawla, N. and Chawla, K. K., "Metal Matrix Composites", *Springer Science & Business Media*, 381 (2013).

14. Çiftçi, İ., "Alüminyum esaslı kompozitlerde takviye oranı ve boyutunun mekanik özellikler ve işlenebilirlik üzerine etkisinin araştırılması", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2003).
15. Evans, A., Marchi, C. S., and Mortensen, A., "Metal Matrix Composites in Industry: An Introduction and a Survey", *Springer Science & Business Media*, 430 (2013).
16. Abbasipour, B., Niroumand, B., and Monır Vaghefi, S. M., "Compcasting of A356-CNT composite", *Transactions Of Nonferrous Metals Society Of China*, 20 (9): 1561–1566 (2010).
17. Suresh, S., "Fundamentals of Metal-Matrix Composites", *Elsevier*, 353 (2013).
18. Hashim, J., Looney, L., and Hashmi, M. S. J., "Metal matrix composites: production by the stir casting method", *Journal Of Materials Processing Technology*, 92–931–7 (1999).
19. Peters, S. T., "Handbook of Composites", *Springer Science & Business Media*, 1135 (2013).
20. Chung, D. D. L., "Composite Materials: Science and Applications", *Springer Science & Business Media*, 358 (2010).
21. Akovali, G., "Handbook of Composite Fabrication", *ISmithers Rapra Publishing*, 214 (2001).
22. Kaw, A. K., "Mechanics of Composite Materials", *CRC Press*, 352 (1997).
23. Yang, R. and He, Y., "Polymer-matrix composites carbon fibre characterisation and damage inspection using selectively heating thermography (SeHT) through electromagnetic induction", *Composite Structures*, 140590–601 (2016).
24. Thomas, S., Joseph, K., and Malhotra, S., (Eds), "Polymer Composites, Volume 1 : Macro- And Microcomposites", *John Wiley & Sons*, Hoboken, NJ, USA, (2012).
25. Matthews, F. L. and Rawlings, R. D., "Composite Materials: Engineering and Science", *Woodhead Publishing*, 484 (1999).
26. Dimitriou, E. and Petralia, M., "Ceramic and Polymer Matrix Composites : Properties, Performance and Applications", *Nova*, Hauppauge, NY, USA, (2010).
27. Campbell, F. C., "Structural Composite Materials", *ASMInternational*, Materials Park, OH, USA, (2010).
28. Bunsell, A. R. and Renard, J., "Fundamentals of Fibre Reinforced Composite Materials", *CRC Press*, 418 (2005).

29. Mallick, P. K., "Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design, Third Edition", *CRC Press*, 640 (2007).
30. Hao, X., Gai, G., Lu, F., Zhao, X., Zhang, Y., Liu, J., Yang, Y., Gui, D., and Nan, C., "Dynamic mechanical properties of whisker/PA66 composites at high strain rates", *Polymer*, 46 (10): 3528–3534 (2005).
31. Berthelot, J.-M., "Composite Materials: Mechanical Behavior and Structural Analysis", *Springer Science & Business Media*, 663 (2012).
32. Yuan, Z., Li, F., Xue, F., He, M., and Hussain, M. Z., "Analysis of the stress states and interface damage in a particle reinforced composite based on a micromodel using cohesive elements", *Materials Science And Engineering: A*, 589288–302 (2014).
33. Ye, J., "Laminated Composite Plates and Shells: 3D Modelling", *Springer Science & Business Media*, 285 (2011).
34. Gürdal, Z., Haftka, R. T., and Hajela, P., "Design and Optimization of Laminated Composite Materials", *John Wiley & Sons*, 358 (1999).
35. Siva Prasad, D. and Shoba, C., "Experimental evaluation onto the damping behavior of Al/SiC/RHA hybrid composites", *Journal Of Materials Research And Technology*, .
36. Schwartz, M., "Smart Materials", *CRC Press*, 556 (2008).
37. Huda, D., El Baradie, M. A., and Hashmi, M. S. J., "Metal-matrix composites: Materials aspects. Part II", *Journal Of Materials Processing Technology*, 37 (1–4): 529–541 (1993).
38. Ibrahim, I. A., Mohamed, F. A., and Lavernia, E. J., "Particulate reinforced metal matrix composites — a review", *Journal Of Materials Science*, 26 (5): 1137–1156 .
39. Davis, J. R., "Aluminum and Aluminum Alloys", *ASM International*, 796 (1993).
40. Campbell, F. C., "Elements of Metallurgy and Engineering Alloys", *ASM International*, Materials Park, OH, USA, (2008).
41. Whittaker, T. M., "Titanium Alloys", *Metals*, 5 (3): (2015).
42. Reddy, N. S., Panigrahi, B. B., Ho, C. M., Kim, J. H., and Lee, C. S., "Artificial neural network modeling on the relative importance of alloying elements and heat treatment temperature to the stability of α and β phase in titanium alloys", *Computational Materials Science*, 107175–183 (2015).
43. Gupta, M. and Sharon, N. M. L., "Magnesium, Magnesium Alloys, and Magnesium Composites", *John Wiley & Sons*, Hoboken, NJ, USA, (2010).

44. Ruan, L., Ezaki, S., Masahiro, F., Shen, S., and Kawamura, Y., "Forming of magnesium alloy by underwater shock wave", *Journal Of Magnesium And Alloys*, (2016).
45. Mordike, B. L. and Ebert, T., "Magnesium: Properties — applications — potential", *Materials Science And Engineering: A*, 302 (1): 37–45 (2001).
46. Allin, C. W., "Copper", Encyclopedia of Global Resources, *Salem Press*, Pasadena, CA, 250–255 (2010).
47. Davis, J. R., "Copper and Copper Alloys", *ASM International*, 659 (2001).
48. Kainer, K. U., "Metal Matrix Composites: Custom-Made Materials for Automotive and Aerospace Engineering", *John Wiley & Sons*, 333 (2006).
49. Shackelford, J. and Doremus, R. H., "Ceramic and Glass Materials: Structure, Properties and Processing", *Springer Science & Business Media*, 209 (2008).
50. Martienssen, W. and Warlimont, H., "Springer Handbook of Condensed Matter and Materials Data", *Springer Science & Business Media*, 1143 (2006).
51. Schwartz, M., "New Materials, Processes, and Methods Technology", *CRC Press*, 711 (2005).
52. Brook, R. J., "Concise Encyclopedia of Advanced Ceramic Materials", *Elsevier*, 605 (2012).
53. Aritman, İ., "Soğuk izostatik presleme ile üretilen Al-SiCp metal matrisli kompozitlerde faktör etkileşimlerinin mekanik özelliklere etkisi ve karakterizasyon çalışmaları", Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Bornova-İZMİR, (2014).
54. Aigbodion, V. S. and Hassan, S. B., "Effects of silicon carbide reinforcement on microstructure and properties of cast Al–Si–Fe/SiC particulate composites", *Materials Science And Engineering: A*, 447 (1–2): 355–360 (2007).
55. Balasubramanian, M., "Composite Materials and Processing", *CRC Press*, 622 (2013).
56. Lim, C. S. and Clegg, A. J., "The production and evaluation of metal-matrix composite castings produced by a pressure-assisted investment casting process", *Journal Of Materials Processing Technology*, 67 (1–3): 13–18 (1997).
57. Carreño-Morelli, E., Cutard, T., Schaller, R., and Bonjour, C., "Processing and characterization of aluminium-based MMCs produced by gas pressure infiltration", *Materials Science And Engineering: A*, 251 (1–2): 48–57 (1998).
58. Natarajan, N., Krishnaraj, V., and Davim, J. P., "Metal Matrix Composites: Synthesis, Wear Characteristics, Machinability Study of MMC Brake Drum", *Springer*, 94 (2014).

59. Sahin, Y., "Preparation and some properties of SiC particle reinforced aluminium alloy composites", *Materials & Design*, 24 (8): 671–679 (2003).
60. Singh, S. K., Bharath, V., Nagaral, M., Auradi, V., and Kori, S. A., "3rd International Conference on Materials Processing and Characterisation (ICMPC 2014)Preparation of 6061Al-Al₂O₃ MMC's by Stir Casting and Evaluation of Mechanical and Wear Properties", *Procedia Materials Science*, 61658–1667 (2014).
61. Balasubramanian, I. and Maheswaran, R., "Effect of inclusion of SiC particulates on the mechanical resistance behaviour of stir-cast AA6063/SiC composites", *Materials & Design (1980-2015)*, 65511–520 (2015).
62. Singla, M., Dwivedi, D. D., Singh, L., and Chawla, V., "Development of Aluminium Based Silicon Carbide Particulate Metal Matrix Composite", *Journal Of Minerals And Materials Characterization And Engineering*, 8 (6): 455–467 (2009).

ÖZGEÇMİŞ

İsmail KAYABAŞI 1983 yılında Çankırı'nın Çerkeş ilçesinde doğdu. İlkokulu Safranbolu'nun Bağlar İlkokulu'nda, ortaokul ve lise öğretimini ise Safranbolu Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2002-2007 yılları arasında Erciyes Üniversitesi, Yozgat Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliğinde lisans eğitimini tamamladı. Ağustos-Ekim 2007 tarihleri arasında Samko Engineering & Contracting Co. Inc. Ankara'da çelik konstrüksiyon imalatı Kalite Kontrol Departmanı'nda Makine Mühendisi olarak çalıştı. Kasım 2007'den Nisan 2008'e kadar Özşen Mühendislik Mimarlık İnşaat ve ticaret Ltd.Şti. Khartoum/SUDAN'da köprü yapımında Kalite Kontrol Departmanı'nda Makine Mühendisi olarak görev yapmış olup Şubat-Mayıs 2009 tarihleri arasında Koçak Metal Sos. Hiz. İnş. Tr. Gıda San Tic Ltd. Şti. Ankara'da çelik konstrüksiyon imalatında Makine Mühendisi olarak çalıştı. Mart 2011'den Kasım 2012'ye kadar Safranbolu'da doğalgaz tesisat kurulumu yapan çeşitli firmalarda çalıştı. Mart-Ekim 2013 tarihleri arasında sıcak haddelenmiş profil, soğuk çekilmiş profil, tel ürünleri, asansör rayları, taşlanmış miller, özel çeşitli profillerin imalatının gerçekleştirildiği Aygünsan D. Ç. San. Ve Tic. Ltd. Şti. Safranbolu'da Kalite Kontrol Departmanı'nda Makine Mühendisi olarak görev yapmıştır. 2013 yılında Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programına başlamış olup 2015 yılından itibaren Kastamonu Üniversitesi Küre Meslek Yüksekokulu Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü'nde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Kastamonu Üniversitesi
Küre Meslek Yüksekokulu
KÜRE / KASTAMONU
Tel : (536) 728 3205
E-posta : ismailkayabasi@hotmail.com