

**T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**METAL ESASLI KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİNDE KULLANILACAK
OTOMATİK KONTROLLÜ MEKANİK KARIŞTIRICI TASARIMI VE
İMALATI**

ERMAN YAMAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UYGULAMALI BİLİMLER VE TEKNOLOJİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Nilhan Ürkmez TAŞKIN

EDİRNE-2018

ERMAN YAMAN'ın hazırladığı "METAL ESASLI KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİNDE KULLANILACAK OTOMATİK KONTROLLÜ MEKANİK KARIŞTIRICI TASARIMI VE İMALATI " başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Uygulamalı Bilimler Anabilim Dalında bir Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Unvan, Ad, Soyad):

Dr. Öğr. Üyesi Nilhan Ürkmez TAŞKIN

Prof. Dr. Metin AYDOĞDU

Dr. Öğr. Üyesi Rifat YAKUT

İmza

.....
.....
.....

Tez Savunma Tarihi: 16 / 05 / 2018

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Nilhan Ürkmez TAŞKIN

Tez Danışmanı

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

İmza

.....
.....

Prof. Dr. Murat YURTCAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü V.

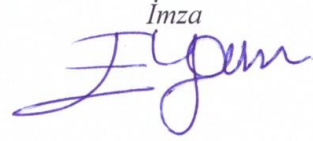
T.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
UYGULAMALI BİLİMLER VE TEKNOLOJİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

16/05/2018

Erman YAMAN

İmza



Yüksek Lisans Tezi

Metal Esaslı Kompozit Malzeme Üretiminde Kullanılacak Otomatik Kontrollü Mekanik Karıştırıcı Tasarımı ve İmalatı

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Uygulamalı Bilimler ve Teknoloji Anabilim Dalı

ÖZET

Günümüzde, metal esaslı kompozit malzemelerin kullanım alanlarını arttırmak için birçok çalışma yürütülmektedir. Metal esaslı kompozit malzemelerin üretiminde karşılaşılan en önemli sorun; farklı özellikte malzemelerin kendi özelliklerini kaybetmeden homojen olarak karıştırılabilmesi, hedeflenen özelliklerin sağlanabilmesi ve bu başarımlar için ekonomik üretim yöntemlerinin seçilmesidir. Metal esaslı kompozit malzeme üretimi için; takviye malzemesinin sıvı, katı ve yarı-katı haldeki matris malzemesi içine belirlenmiş oranlarda ilave edilerek homojen olarak dağıtılması ve matris-takviye ara yüzünde istenen bağın sağlanması gerekmektedir. Karıştırma işlemleri matrisin sıvı, katı veya yarı-katı halinde yapılabilir. Sıvı yöntemlerin seçildiği pek çok uygulamada takviyenin homojen karıştırılamaması, takviyenin dibe çökmesi, sıvı dışına itilmesi, topaklanma ya da istenmeyen reaksiyon ürünlerinin oluşması gibi sorunlarla karşılaşılmaktadır. Toz metalürjisi gibi katı hal yöntemlerinde de homojen karıştırma aşaması aşılması gereken başlıca problemdir. Karıştırma işleminin matris malzemesinin yarı katı halinde yapılması ile bu sorunların pek çoğu bertaraf edilebilmektedir. Ancak, matris malzemesini karıştırma işlemleri tamamlanana kadar yarı katı halde tutmak önemli bir sorun olarak literatürde yer almaktadır.

Bu tez çalışmasında parçacık takviyeli metal matrisli kompozit üretimi için metal matrisi takviye ilave işlemleri bitinceye kadar matrisi yarı katı halde tutacak ve homojen karıştıracak bir düzenek tasarlanmış ve imal edilmiştir. Tasarımı yapılan karıştırıcı ile alüminyum kompozit malzeme üretim testleri gerçekleştirilmiştir. Bu tasarım ile mevcut karıştırıcılar ile karşılaşılan sorunlar bertaraf edilmiştir.

Yıl : 2018

Sayfa Sayısı : 68

Anahtar Kelimeler : Karıştırıcı, Metal Matrisli Kompozit, PLC, Tork, Yarı Katı Hal

MSc. Thesis

Design and Production of Automatic Controlled Mechanical Mixer to be Used in Metal Matrix Composite Material Production

Trakya University Institute of Natural Sciences

Applied Sciences And Technology Department

ABSTRACT

Nowadays, many studies are being carried out to increase the usage areas of metal-based composite materials. The most important problem encountered in the production of metal-based composite materials is; to be able to mix different materials uniformly without losing their properties, to achieve the targeted properties and to select economic production methods for these achievements. For the production of metal-based composite materials; the reinforcement material must be homogeneously dispersed in the matrix material at the specified ratios and the desired bond must be provided at the matrix-reinforcement interface. Mixing operations can be carried out in liquid, solid or semi-solid phases of the matrix. In many applications where liquid methods are selected; problems such as the inability to non-disperse the reinforcement material homogeneously in the liquid matrix, rejection of reinforcement out of the liquid, agglomeration of the reinforcement or formation of undesired reaction products between the reinforcement and the liquid matrix material occur. In solid state processes such as powder metallurgy, the homogeneous mixing stage is the main problem to be overcome. Most of these problems can be avoided when the mixing process is performed while the matrix material is semi-solid. However, keeping the semi-solid state of the matrix material until the mixing process is completed is included in the literature as an important problem.

In this thesis study, a device for the production of particle reinforced metal matrix composite was designed and manufactured. This device keeps the matrix material in a semi-solid state until the reinforcement addition process is finished and can

mix homogeneously. Aluminum composite material production tests were carried out with the designed mixer. This design eliminates the problems with existing mixers.

Year : 2018

Number of Pages : 68

Keywords : Mixer, Metal Matrix Composite, PLC, Torque, Semi-Solid

TEŞEKKÜR

Bana bu tezin konusu olan düzeneğin yapımında yardımcı olan Tez danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Nilhan Ürkmez TAŞKIN ve beni teşvik eden eşim Yasemin Yaman, Projeye destek olan 2016/144 nolu TÜBAP projesi sağlayıcılarına, Makina Mühendisliđi atölyesi çalışanlarına ve Edirne Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	VIII
İÇİNDEKİLER	IX
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	X
ŞEKİLLER LİSTESİ	XI
ÇİZELGELER LİSTESİ	XIII
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	2
METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER	2
2.1. Tanım ve Sınıflandırma.....	2
2.2. Metal Matrisli Kompozitlerin Avantajları	4
2.3. Metal Matrisli Kompozitlerin Kullanım Alanları	6
2.4. Alüminyum Esaslı Kompozit Malzemeler.....	8
2.5. Parçacık Takviyeli Alüminyum Kompozitler	9
2.6. Parçacık Takviyeli MMK'lerin Üretim Yöntemleri	12
BÖLÜM 3	21
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	21
BÖLÜM 4	28
METAL ESASLI KOMPOZİT ÜRETİMİ İÇİN KARIŞTIRMA MEKANİZMALI FIRIN TASARIMI VE İMALATI.....	28
4.1. Kavramsal Tasarım	29
4.1.1. Ergitme Fırın Tasarımı	31
4.1.2. Karıştırma Mekanizması Tasarımı.....	34
4.1.3. Elektrik Devre Tasarımı	36
4.2. Karıştırma Mekanizmalı Fırın İmalatı	38
4.3. Elektrik Tesisatının Hazırlanması	39
BÖLÜM 5	45
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	45
5.1. Cihazın Sıcaklık-Zaman Karakteristiğinin Çıkartılması.....	45
5.2. Kompozit Malzeme Karıştırma Denemeleri	46
BÖLÜM 6	50
SONUÇ VE ÖNERİLER	50
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	55

SİMGELER VE KISALTMALAR

MMK	Metal Matrisli Kompozit
PLC	Programlanabilir Lojik Kontrol
SiC	Silisyum Karbür
TiC	Titanyum Karbür
B ₄ C	Bor Karbür
Al ₂ O ₃	Alüminyum Oksit
MgO	Magnezyum Oksit
TM	Toz Metalürjisi
XD	Ekzotermik Dispersiyon
PAXD	Basınç Takviyeli Ekzotermik Dispersiyon
PTMMK	Parçacık Takviyeli Metal Matris Kompozit

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Metal Matrisli Kompozitlerin Şematik Olarak Tanımlanması	2
Şekil 2.2. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerde Takviye Türleri	3
Şekil 2.3. Otomobillerde kullanılan fren diskleri.....	7
Şekil 2.4. MMK'lerin kullanım oranlarının yıllara bağlı olarak artışı	7
Şekil 2.5. MMK Üretiminde Kullanılan Matris Malzemeleri.....	9
Şekil 2.6. MMK Üretiminde Kullanılan Takviye Malzemeleri.....	10
Şekil 2.7. Parçacık Takviye Şekilleri	11
Şekil 2.8. MMK Üretim Yöntemlerinin Kullanım Oranları	14
Şekil 2.9. Toz Metalurjisi Üretim Aşamaları.....	15
Şekil 2.10. Karıştırmalı Döküm Temel Aşamaları.	16
Şekil 2.11. Karıştırmalı Dökümü Takiben Presleme İşlemi	16
Şekil 2.12. Sıkıştırırmalı Döküm Tekniği.	17
Şekil 2.13. Gaz Enjeksiyonlu Üretim Tekniği	18
Şekil 2.14. İn-Situ Sıvı Faz Üretim Tekniği	18
Şekil 2.15. Rheocasting İle Parça Üretiminin Şematik Gösterimi.....	19
Şekil 3.1. Ultrasonik Karıştırıcı Kullanarak Karıştırma.	26
Şekil 4.1. Yarı Katı Karıştırma Hareket Mekanizması ve Ergitme Fırını	30
Şekil 4.2. Otomatik Kontrollü Karıştırıcı Mekanizma Parçaları	35
Şekil 4.3. Karıştırıcı Kanat Geometrisi.....	36
Şekil 4.4. PLC Modülünün Giriş - Çıkış Portları Ve Soket Yapısı	36
Şekil 4.5. Tork Sensörü Şematik Gösterimi	37
Şekil 4.6. İmalatı Yapılan Fırının Montajlı Görünümü	38
Şekil 4.7. İmalatı Yapılan Fırının a)Karıştırıcı Mil ve Kanatları b)Karıştırma Potası ...	39
Şekil 4.8. Sıcaklık Ölçerin Montajlı Görünümü	39
Şekil 4.9. PLC Programında Sistem Bit Operantlarının Seçimi	40
Şekil 4.10. PLC Programında Giriş Bilgisi Saklama Operantı Seçimi.....	40
Şekil 4.11. PLC Lader Programlama Dili İle Yazılmış Sorgulama Programı	41
Şekil 4.12. PLC'nin Analog Giriş Ve QP Çıkış Kontaklarının Bağlantısı.....	42
Şekil 4.13. Tork Sensörü.....	42

Şekil 4.14. Tork Sensörü Montajlı Görünümü	43
Şekil 4.15. Sıcaklık Ölçer Kontrol Ünitesi ve Kontaktör Genel Görünümü	43
Şekil 4.16. Sıcaklık Ölçerin Elektrik Bağlantı Devresi	44
Şekil 5.1. Ergitme Fırını Sıcaklık - Zaman Eğrisi	45
Şekil 5.2. Tork Değerine Göre PLC Kontrollü Çalışan İkaz Lambaları.....	47
Şekil 5.3. Farklı oranlarda takviyeli kompozitlerin yarı katı hal çıkış voltajları.....	48
Şekil 5.4. Farklı oranlarda takviyeli kompozitlerin yarı katı hal tork değerleri.....	49

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 2.1. Takviyeli ve Takviyesiz Alüminyum Mekanik Özellikleri.....	10
Çizelge 2.2. MMK Üretim Yöntemlerinin Sınıflandırılması.....	12
Çizelge 2.3. Farklı MMK Üretim Yöntemlerinin Karşılaştırılması	13
Çizelge 4.1. Kanthal A1 Rezistans Teli Fiziksel Özellikleri	32
Çizelge 4.2. Ateş Tuğlası Kimyasal Özellikleri.....	33
Çizelge 4.3. Ateş Tuğlası Fiziksel Özellikleri	33
Çizelge 4.4. Seramik Yalıtım Malzemesinin Isıl İletkenlik değerleri.....	34
Çizelge 5.1. Yarı Katı Faz Durumu Tespit Deney Sonuçları.....	47

BÖLÜM 1

GİRİŞ

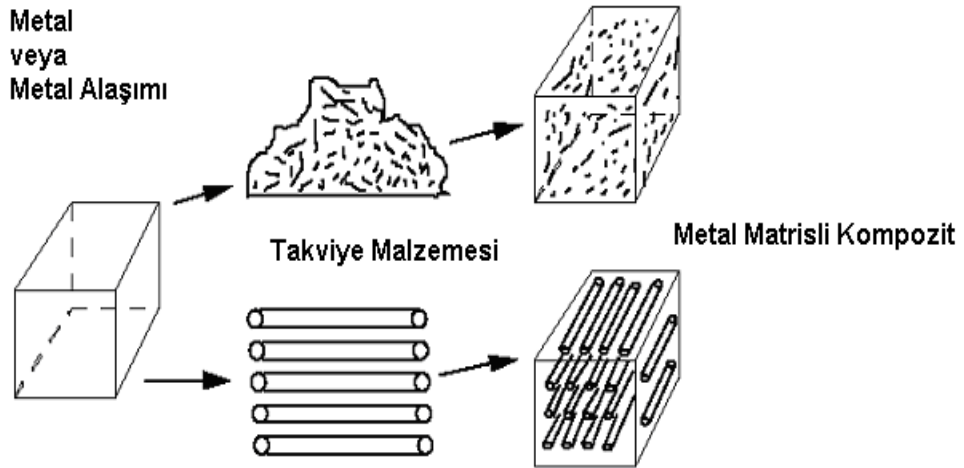
Metal Matrisli Kompozit (MMK) malzemeler, monolitik metal malzemelerden tek başına bekleyemeyeceğimiz pek çok üstün özelliği sağlayabilen, bileşenleri doğru seçilerek uygun yöntemlerle üretilmiş kompozit malzemelerdir. MMK'ler hem hafif hem de yüksek dayanımlı, hem sert hem de termal şok dayanımı yüksek aynı anda da anizotropik özellikler sergileyebilen ve geleceğin malzemeleri olarak kabul edilen ileri teknoloji malzemelerdir. Teknolojinin günümüzde geldiği seviyede farklı beklentileri karşılayabilecek bu malzemeleri uygun maliyetlerle üretebilmek için birçok çalışma yürütülmektedir. MMK'ler geleneksel malzeme üretim teknolojilerinin dışına çıkılarak ya da bu yöntemlerin modifiye edilmesiyle üretilmektedir. Genellikle matris adı verilen, ana metal içerisine farklı oranlarda, formlarda ve boyutlarda ilave edilen takviye malzemesi ile-genellikle seramik malzemeler ya da yüksek ergime derecesine sahip metaller-üretilen bu malzemelerin üretiminde karşılaşılan en önemli sorun; farklı özellikte malzemelerin kendi özelliklerini kaybetmeden homojen olarak karıştırılabilmesi, hedeflenen özelliklerin sağlanabilmesi ve bu başarımlar için ekonomik üretim yöntemlerinin seçilebilmesidir. Bu çalışmada, parçacık formunda seramik takviye malzemelerini yarı katı haldeki metal matris içerisine homojen olarak karıştırabilecek bir düzenek tasarlanarak, mevcut üretim yöntemlerinde karşılaşılan karıştırma sorunlarının bertaraf edilmesi, homojen takviye dağılımı sağlanması ve özellikle sıvı faz yöntemlerle ulaşılamayan yüksek takviye oranlarına ulaşılmasını sağlamak amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2

METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER

2.1. Tanım ve Sınıflandırma

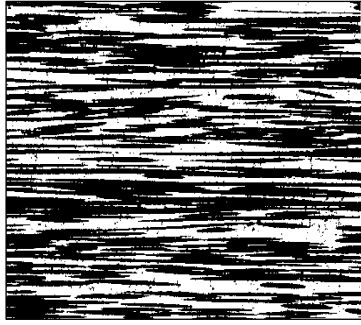
Metal Matrisli Kompozit malzemeler (MMK) ihtiyaca uygun olarak seçilen bir metal veya metal alaşımı ile genellikle ergime derecesi matris metalinden daha yüksek metal veya seramik takviye malzemelerinden oluşur. Bu farklı malzemeler matristen takviyeye ya da takviyeden matrise istenen özellik aktarımını sağlayacak şekilde uygun üretim yöntemleri seçilerek bir araya getirilirler.



Şekil 2.1. Metal Matrisli Kompozitlerin Şematik Tanımı (Nadibo, 1993)

Şekil 2.1’de şematik tanımı verilen MMK’ler farklı özelliklerine göre sınıflandırılabilirler. Takviye boy/çap oranı esas alınarak yapılan sınıflandırmada büyük

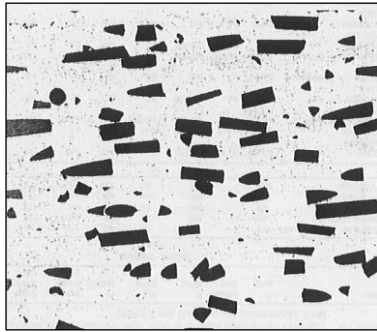
boy/çap oranına sahip olan uzun elyaflar, filamentler gibi takviyeler sürekli, küçük boy /çap oranına sahip kırılmış elyaflar, parçacıklar, whiskerlar gibi takviyeler süreksiz olarak adlandırılır. Şekil 2.2’de Metal matrisli kompozit malzemelerde takviye formları örnekleri gösterilmiştir(Nicoara, 2000).



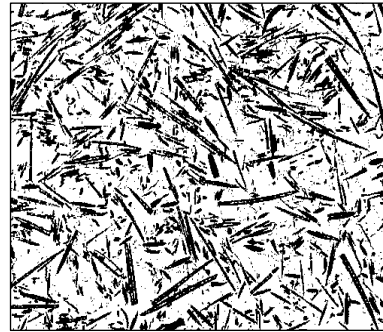
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 2.2. Metal matrisli kompozit malzemelerde takviye türleri
(a)Sürekli Elyaf, (b) Parçacık, (c) Whisker, (d) Süreksiz Elyaf (Nicoara, 1999)

MMK'lerde matris ve takviye çeşitlerinin çokluğu, çok geniş bir yelpazede malzeme kombinasyonu tasarlanmasına ve belirlenen özelliklerin eldesi için malzeme seçimine imkan verir. Süreksiz faz takviyeli MMK'ler için takviye malzemeleri rekabetçi maliyetlerle elde edilmekte ve metal işleme metotlarına benzer standartlar veya uygulanabilir standartlar bulunabilmektedir. Bu nedenlerle süreksiz faz takviyeli MMK'ler sürekli faz takviyeli MMK'lere oranla daha fazla tercih edilmektedirler. Özellikle parçacık takviyeli MMK'ler, whisker takviyeli veya uzun elyaf takviyeli MMK'lerden nispeten daha düşük dayanım özellikleri sağlamasına rağmen, monolitik

malzemelere göre daha iyi ve geliştirilebilir özellikler sergilemesi ve daha düşük maliyetlerle kolay üretilebilir olması nedeniyle tercih edilmektedir.

Parçacık takviyeli alüminyum alaşımları MEK sınıfının en çok araştırılan ve geliştirilen grubudur. Bu tür kompozitlere sürekli faz takviyeli kompozitlerden farklı olarak, metallere uygulanan deformasyon işlemlerinin çoğu adapte edilebilmekte, ekstrüzyon, haddeleme, dövme ve hatta süper plastik şekillendirme ile üretim sonrası farklı biçimlendirme işlemleri uygulanabilmektedir.

2.2. Metal Matrisli Kompozitlerin Avantajları

MMK'lerin diğer polimer veya seramik matrisli kompozitlere göre en önemli avantajı ısı işlem uygulamaları ile matris malzemesinde isteğe bağlı yapısal dönüşümler sağlanabilir olmasıdır. MMK'ler çoğu kez kendisini oluşturan matris fazından çok daha düşük süneklik ve tokluk değerlerine sahiptirler bunun sebebi çok daha sert ve kırılma takviye malzemeleri ile güçlendirilmiş olmalarıdır. Ancak, süneklik ve tokluk değerleri seramik malzeme ve seramik matrisli kompozit malzemelere nazaran çok daha yüksektir. Genellikle alışılmış metallere nazaran daha hafif olan MMK'lerin başlıca avantajları, önceden belirlenebilir fiziksel özellikleri ve geliştirilmiş mekanik özellikleridir. Göreceli olarak daha yüksek ergime sıcaklığına sahip olan takviye malzemeleri ile güçlendirildiklerinden, diğer kompozit malzemelere göre, yüksek sıcaklıklarda gösterdikleri performans artışı, daha yüksek korozyon dirençleri, kimyasal ve fiziksel kararlılıkları, ısı ve elektrik iletkenliği gibi önemli fonksiyonel özellikleri, MMK'lerin oldukça önemli avantajlarıdır. Ayrıca, MMK'ler döküm yolu ile elde edilebilmekte, biçimlendirilebilmekte, işlenebilmekte ve kaynak edilebilmektedirler.

Metal esaslı kompozit malzemelerin üretiminde genellikle aşağıdaki özelliklerden birkaçının geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu özelliklerin başlıcaları şunlardır:

- Yorulma dayanımı ve aşınma direnci,
- Mekanik dayanım; basınç, çekme, eğilme dayanımı,
- Korozyon direnci,
- Kırılma tokluğu,

- Yüksek sıcaklığa dayanıklılık,
- Isı iletkenliği ve ısıl direnci,
- Elektrik iletkenliği veya elektriksel direnci,
- Akustik iletkenlik, ses tutuculuğu,
- Rijit olması,
- Ağırlık, (Pul, 2010).

Metal matrisli kompozit malzemelerin takviyesiz metallere ve polimer matrisli kompozitlere göre birçok avantajı vardır:

- ✓ Yüksek tokluk ve darbeye dayanımlıdır.
- ✓ Yüksek yüzey sertlikleri vardır.
- ✓ Yüksek elastik modülüne sahiptir.
- ✓ Yüksek mukavemet (çekme, basma) gösterir.
- ✓ Düşük yoğunluk değerleri verir.
- ✓ Daha iyi yorulma direnci verir.
- ✓ Yüksek sıcaklıklarda mukavemetini koruyabilme ve düşük sürtünme oranı vardır.
- ✓ Düşük ısıl genleşme katsayısına sahiptir.
- ✓ Daha iyi aşınma direnci verir.
- ✓ İyi korozyon direnci vardır.

Dezavantajları ise üretimlerinin güç olması, maliyetlerinin yüksek olması, yüzey kalitesinin düşük olması, geri dönüşümlerinin olmaması, izlenebilirliklerinin zorluğu olarak sıralanabilir. Üretime girecek parça sayısı üretim yöntemini belirlemede etkili olur. Bu da çok sayıda parça üretileceği zaman maliyetli bir sürece girilmesine yol açabilir. İşlemlerin karmaşıklığı ek işlemlerin yapılmasını gerekli kılar ve maliyet yükselmesi oluşur. Takviye şekli ve çeşidi izlenebilirliği de etkiler. Lifli bir içyapı sonradan işlenmeyi engelleyeceği için ürünün son şeklinde üretilmesini gerektirir. Ayrıca döküm yöntemlerinde yüzey kalitesi yüksek olamamaktadır. Takviye malzemesinin sertliğinden dolayı talaş kaldırma işlemleri de başarısız olabilmektedir.

2.3. Metal Matrisli Kompozitlerin Kullanım Alanları

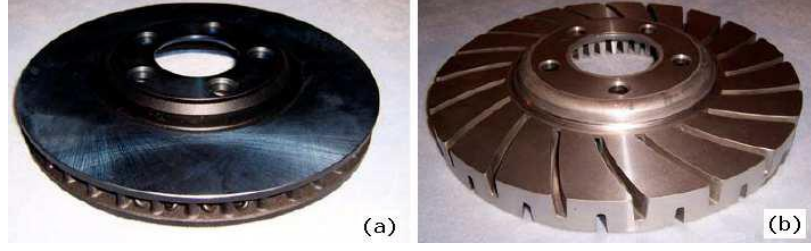
Metal matrisli kompozitler ve özellikle de süreksiz (parçacık, kısa fiber, whisker) parçacık takviyeli MMK'nin, havacılık ve otomotiv uygulamalarındaki kullanım alanları giderek artmaktadır. Son yıllarda yapısal kompozit alanında alüminyum esaslı süreksiz parçacık takviyeli MMK'lere ait pratik uygulamalar ve araştırmalar üzerinde durulmaktadır. Araştırmaların büyük çoğunluğu bu ileri malzemelerin üretim işlemi ve özelliklerinin tahmini üzerine olmakla birlikte ikincil üretim teknolojileri olan talaşlı işleme, birleştirme, plastik şekil verme üzerine de araştırmaların yapılması gerekmektedir (Nazik, 2013).

MMK malzemeler üretim yöntemlerinin maliyetlerinden dolayı pahalı olduklarından genellikle malzemenin sağladığı avantajdan büyük bir fayda sağlanırsa uygulamalarda kullanılır. Ancak son yıllarda gelişen üretim yöntemlerinin maliyeti düşürmesi sonucu bu malzemelerin kullanım oranı her geçen gün artmaktadır.

Uzay, havacılık ve otomotiv sektöründe yüksek sıcaklığa dayanıklı, yüksek mukavemetli, yüksek aşınma dirençli ve hafif MMK malzeme kullanımı ve üretimi büyük oranda artmıştır (Koçer, 2002).

Sıkıştırılmalı döküm yöntemi otomotiv sektöründe halen uygulanmaktadır. Toyota bu yöntemle piston ve segman, Honda ise silindir gömleği üretmiştir (Toptan, 2006). Al/grafit, Al/Al₂O₃, Al/SiC, Al/SiC- Al₂O₃ matris takviye karışımları bu sektörde piston ve segman dışında piston kolu ve krank yapımında da kullanılmaktadır. Ayrıca şekil 2.3'de gösterildiği üzere Duralcan firması, SiC takviyeli alüminyum kompozitten fren diski üretmiştir (Soy, 2009).

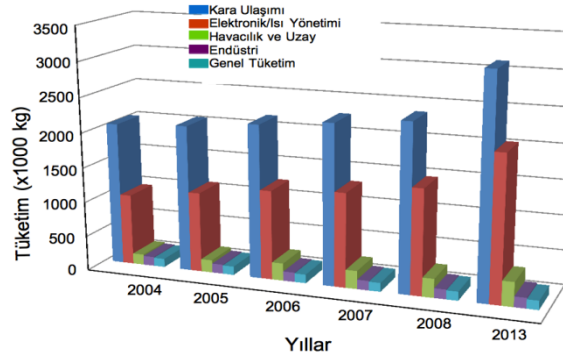
Havacılık ve otomotiv sektöründe ağırlıktan kazanım yaparak daha mukavemetli MMK kullanımı yakıt tasarrufu sağlamakta büyük önem taşımaktadır. Özellikle ısı dayanım, titreşim ve yorulma direnci gibi özellikler havacılık sanayisinde kompozit malzeme kullanmanın önde gelen avantajıdır. Son yıllarda ayrıca elektronik sanayisinde süper iletken kabloların yapımında ve spor malzemelerinde MMK kullanımı artmıştır (Koçer, 2002).



Şekil 2.3. Otomobillerde kullanılan fren diskleri (a) Gri Dökme Demirden İmal Edilmiş Fren Diski (b) Özel Olarak Tasarlanmış, Al-Sic Kompozit Fren Diski (Toptan, 2006).

Alüminyum/Grafit MMK'ler yataklarda hafiflik, kendinden yağlama, ucuzluk gibi sebeplerden dolayı kullanılmaktadır. Al/SiC MMK ise turbo şarj pervanelerinde yüksek sıcaklıklara gösterdiği dayanım ve ultra hafiflik özelliğinden dolayı kullanılmaktadır. Al/Zirkonyum, Al/SiC ise kesme takımlarında sert ve aşınma direnci yüksek malzemeden dolayı tercih edilmektedir (Özkaya, 2016).

Şekil 2.32'te yapılan bir araştırmanın sonucu gösterilmiştir. Son 10 yılda otomotiv ve ısı yönetimi alanlarında kompozitlerin kullanım miktarları giderek artmaktadır. Havacılık ve genel kullanımda ise kullanım oranı daha kısıtlı olmuştur. Bunun temel sebebi bu sektörlerdeki parça boyutu ve ağırlık oranlarının düşük olmasıdır. Ayrıca havacılıkta polimer esaslı kompozit tercih edilmesi, ağırlık hacim oranının düşük olmasıdır. Oysa otomotiv sektöründe tekerlek, gövde, şasi aksamı, iç aksesuar, motor ve aktarma organlarının hepsinde MMK kullanım alanı bulmuştur. Otomotiv sektörü global pazar oranı sürekli artmakta, bu da bu tür kompozitlere olan talebi her geçen gün artırmaktadır.



Şekil 2.4. MMK'lerin kullanım oranlarının yıllara bağlı olarak artışı (Wu, 2011).

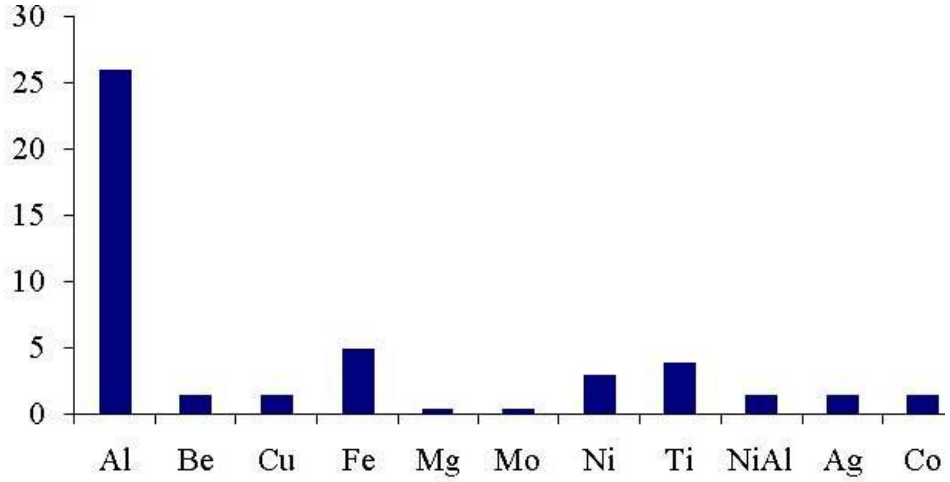
2.4. Alüminyum Esaslı Kompozit Malzemeler

Metal matrisli kompozit üretiminde, alüminyum alaşımları düşük ergime sıcaklıkları, düşük yoğunlukları, yüksek dayanım özellikleri ve kolay şekillenebilir özelliklere sahip olması olmaları nedeniyle nedeniyle matris malzemesi olarak oldukça fazla tercih edilmektedir. Alüminyum matrisli kompozitlerde kullanılan seramik takviye elemanı, matris malzemenin mukavemet ve sertliğini artırmaktadır. Al 6061 alaşımına %20 SiC parçacık takviyesi yapıldığında %50 oranında dayanım, %40 oranında sertlik artışı olduğu literatürde yer almaktadır. Ayrıca ısı ve elektrik iletkenliği, sürtünme dayanımı gibi özelliklerde de iyileşme gerçekleşir.

Genel olarak alüminyumun sahip olduğu özellikler aşağıda sıralanmıştır:

1. Bol bulunur ve dolayısıyla daha ucuz bir malzemedir.
2. Çok hafif bir malzemedir.
3. Sertleştirme ve yaşlandırma gibi mukavemeti arttırmaya yönelik işlemlere uygundur.
4. Oldukça iyi elektriksel özelliklere sahip olduğundan uçakların yıldırımlara karşı korunmasını sağlar.
5. Oldukça iyi ısı iletkenlik özelliklerine sahiptir dolayısıyla süper bilgisayarlarda ısının istenen şekilde uzaklaştırılmasını sağlar.
6. Al genellikle yorulmada dayanım göstermez. Bu nedenle de kopma oldukça düşük gerilmelerde meydana gelir.
7. Ergime sıcaklığının düşük olmasından dolayı yüksek sıcaklıklara dayanıklı değildir.
8. Düşük sertliğe sahip olmasından dolayı aşınma direnci oldukça düşüktür.

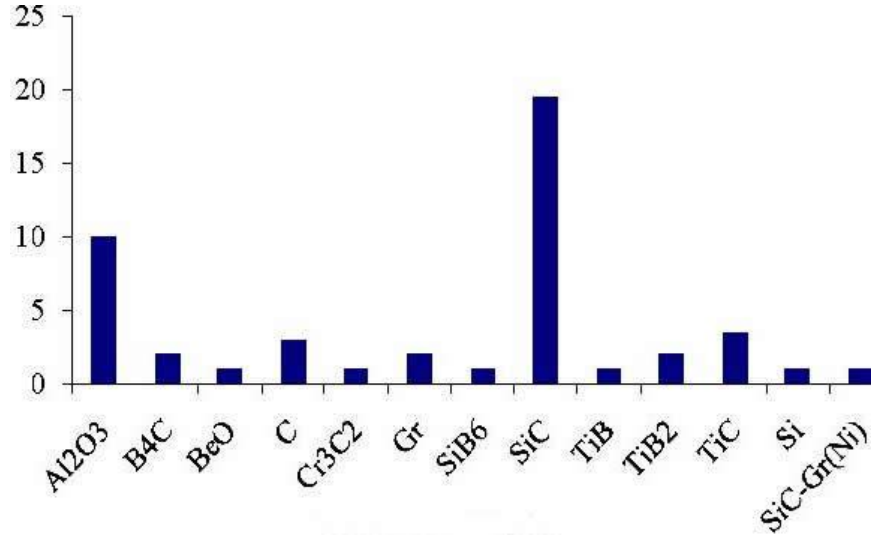
Şekil 2.5'te endüstriyel firmalar tarafından kullanılan matris malzemelerinin kullanım oranları verilmiştir. Yukarıda sıralanan avantajlardan dolayı alüminyumun metalinin matris malzemesi olarak tercih edilirliliği yüksektir.



Şekil 2.5. MMK Üretiminde Kullanılan Matris Malzemeleri (Adebisi vd., 2011).

2.5. Parçacık Takviyeli Alüminyum Kompozitler

Alüminyum matrisli kompozitlerin üretim süreçlerinin iyileşmesi sonucu kullanım oranları artmıştır. Uzun fiber yapıları takviye malzemeleri, üretimde karıştırma ve döküm esnasında birtakım problemlere yol açtığından metal esaslı kompozit üretiminde kısıtlı bir kullanım oranına sahiptir. Oysa parçacık takviyeli alüminyum kompozitler düşük maliyet ve iyi mukavemet vermelerinden dolayı öne çıkmaktadır. Üretim aşamalarında diğer takviye formlarına nazaran metalle iyi karışabilir olmaları, parçacık takviyeli alüminyum kompozit üretiminin endüstriyel kullanımda genel MMK üretimin büyük bir kısmını oluşturmasına sebep olmuştur. Şekil 2.6'da gösterildiği gibi MMK üretimde neredeyse %80 oranla parçacık takviye kullanılmaktadır. Parçacık takviyeli kompozitlerde en çok kullanılan takviye elemanları Al_2O_3 , SiC, B_4C , TiB_2 , TiC, WC, W, C ve MgO'dur. Seramik parçacıklar genel olarak oksit, karbür veya bor bileşenleri olabilir ve aşınmaya dayanıklı uygulamalarda katkı miktarı %30 civarındadır (Bedir, 2006).



Şekil 2.6. MMK Üretiminde Kullanılan Takviye Malzemeleri (Adebisi vd., 2011).

Parçacık takviyeli MMK'lerin tercih edilmesinin en önemli etkenleri; üretimlerinin geleneksel üretim teknikleri ile kolaylıkla yapılabilmesi ve üretim maliyetlerinin diğer yöntemlere göre düşük olmasıdır. Üretimden sonra haddeleme, dövme, ekstrüzyon gibi işlemler uygulanabilir; ayrıca çekme dayanımı, rijitlikleri ve aşınma dayanımları da iyidir Ayrıca parçacık takviyeli MMK'lerin üretimi elyaf takviyeli kompozitlere göre daha kolay ve ucuzdur (Yaşar, 2012), (Kalaycıoğlu, 2010).

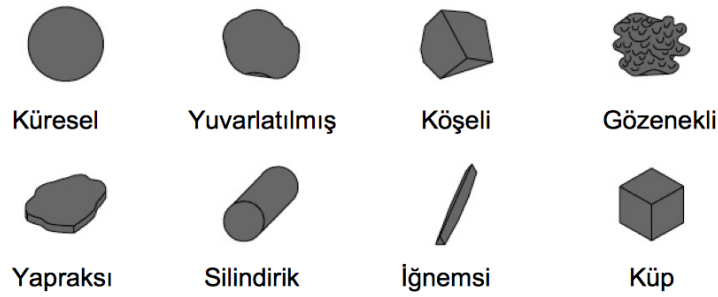
Parçacık takviyeli MMK'lerin özelliklerini etkileyen faktörlerden biri de takviye elemanının özellikleridir. Parçacık takviyeli kompozitlerin mukavemetini; takviye boyutu, şekli ve hacimsel oranı, takviye dağılımı gibi faktörler belirler. Bu partiküllerin dağılımı matris içerisinde genellikle rastgeledir (Çanakçı, 2006).

Çizelge 2.1. Parçacık Takviyeli ve Takviyesiz Alüminyum Malzemelerin Mekanik Özellikleri (Görener, 2011).

Malzeme	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastiklik modülü (GPa)	Kopmadaki Uzama (%)
Al 2124	455	71	9
Al 6061	310	68,9	12
Al 2124 (%20 SiC)	552	103	7
Al 6061 (%20 SiC)	496	103	5,5

Parçacık takviyeli kompozitlerin üretiminde kabaca eş eksenli (en büyük boyutunun en küçük boyutuna oranı 5'in altında olan) değişik şekilde (Şekil 2.7'de gösterildiği gibi küresel, köşeli veya pulsu) boyutu 1µm üzerinde olan parçacıklar kullanılır. Eğer parçacık boyutu 1 µm'nin altında ise küçük parçacık olarak adlandırılırlar. Buna göre parçacık takviyeli kompozitler, parçacıkların büyüklüğüne göre iki gruba ayrılır.

- a) Boyutları (0.01 - 0.25) µm arasında değişen küçük parçacıklarla dayanımı arttırılmış kompozitler
- b) İri parçacık takviyeli veya gerçek parçacıklı kompozitler



Şekil 2.7. Parçacık Takviye Şekilleri (Hasmin, Looney, Hashmi, 1999).

Her iki tür kompozitte de yöne bağlı olmaksızın matris malzemesinin mekanik özellikleri geliştirilmektedir. Parçacıklar matris içerisinde tamamen rastgele dağılır ve bu yüzden malzeme izotropik özellik gösterirler (Çanakçı, 2006).

MMK'lerin üretiminde kullanılan süreksiz takviye malzemeleri partikül, fiber veya whisker gibi farklı geometrilere sahiptir. Endüstriyel uygulamalarda en çok kullanım alanı bulan takviye şekli ise partikül (parçacık) formudur. Bunun nedeni partikül takviyelerin üretimi ve kullanımının uzun fiberlere oranla daha kolay olması ve elde edilen malzemenin özelliklerinin takviye malzemesinin yönüne bağlı olarak değişim göstermemesidir.

2.6. Parçacık Takviyeli MMK'lerin Üretim Yöntemleri

Farklı matris ve takviye malzemelerinin kullanılıyor olması MMK'lerin üretiminde farklı tekniklerin geliştirilmesine sebep olmuştur. Üretim sırasında matrisin sıvı veya katı fazında olmasına göre MMK'lerin üretim yöntemlerini sınıflandırmak mümkündür. Ancak bunların dışında da geliştirilen değişik sistemler mevcuttur

Çizelge 2.2. MMK Üretim Yöntemlerinin Sınıflandırılması. (Nazik, 2013).

Katı Faz Üretim Yöntemleri			
Toz Metalürjisi (TM)		Difüzyonla Bağlama	
Sıvı Faz Üretim Yöntemleri			
Sıvı Metal İnfiltrasyon	Sıkıştırılmalı Döküm	Püskürtme (Sprey)	Sıvı Metal Karıştırma
Diğer Yöntemler			
Rheocasting ve Compcasting	In-situ yöntemler; Ekzotermik Dispersiyon(XD) Basınç Takviyeli Ekzotermik Dispersiyon (PAXD)		

Sıvı durum prosesleri arasında; metal karıştırma ya da karıştırılmalı döküm, sıkıştırılmalı döküm, basınçlı döküm, santrifüj döküm gibi yöntemler yaygın döküm yöntemleri ile yapılabildiğinden ve nispeten düşük maliyetli olmalarından dolayı ön plana çıkmaktadır (Soy, 2011).

Üretim yönteminin seçiminde, üretilecek mamul veya yarı mamulün önceden belirlenen fiziksel ve mekanik özellikleri dikkate alınarak şu parametrelere göre yöntem belirlenmesi yapılır:

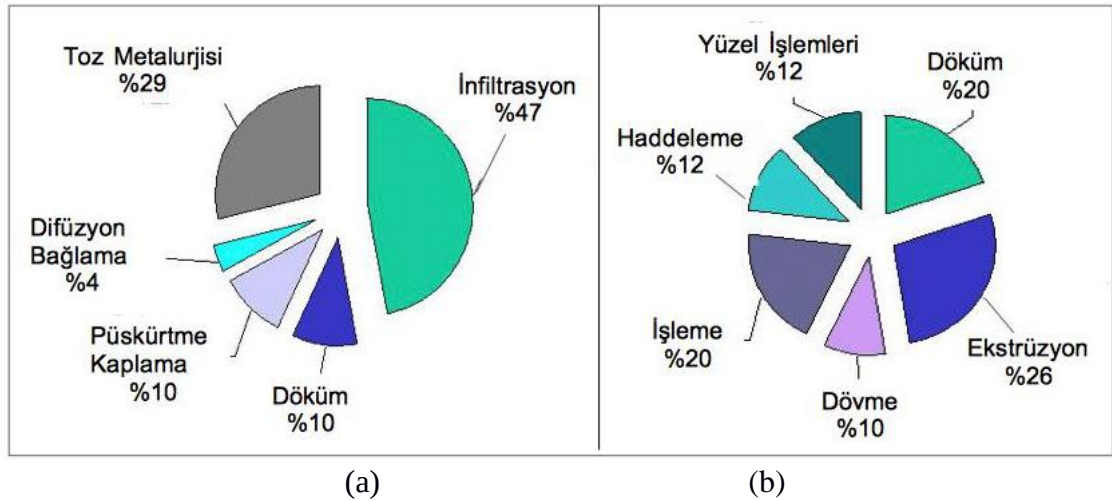
- ✓ Ürün çalışma sıcaklığı
- ✓ Elde edilecek ürünün nihai şekli
- ✓ Ürün boyutu
- ✓ Ürün sayısı
- ✓ Cihaz çalışma sıcaklığı aralığı

Çizelge 2.3. Farklı MMK Üretim Yöntemlerinin Karşılaştırılması (Tekmen, 2006)

Yöntem	Maliyet	Uygulama	Oran
Difüzyonla bağlama	Yüksek	Levha, kanat, mil ve yapısal elemanlar	%4
Toz metalürjisi	Orta	Küçük dairesel elemanlar, cıvata, piston, valf ve yüksek mukavemetli ısıya dirençli malzemeler	%29
Sıvı metal emdirme	Düşük –Orta	Rot, tüp ve özelliklerin tek ekseninde maksimum olduğu bağlantı elemanları	%47
Sıkıştırılmalı döküm	Orta	Piston, bağlantı rotaları, külbütör kolu, silindir başı gibi otomotiv parçaları	%10
Püskürtme	Orta	Sürtünme malzemeleri, motor fırçaları, kesme ve taşlama elemanları	%10

Üretim yöntem seçiminin bir diğer parametresi de seçilen takviye malzemesidir. Matris ve takviyenin birbirine uyumlu olması gerekir. Aşağıdaki hususlara takviye seçiminde dikkat edilmesi gerekmektedir:

- ✓ Takviye malzemesinin şekli,
- ✓ Matris malzemesi ile takviye malzemesinin uyumu,
- ✓ Matris ve takviye malzemelerinin ek işlem gereksinimi,
- ✓ Matris malzemesi ile takviye malzemesi arasında oluşabilecek tepkimeler,
- ✓ Elde edilecek üründen istenen ölçü toleransı,
- ✓ Takviyenin matris malzemesi içerisinde dağılımının homojen olması,
- ✓ Matris–takviye ara yüzey bağının tam olarak sağlanabilmesi.

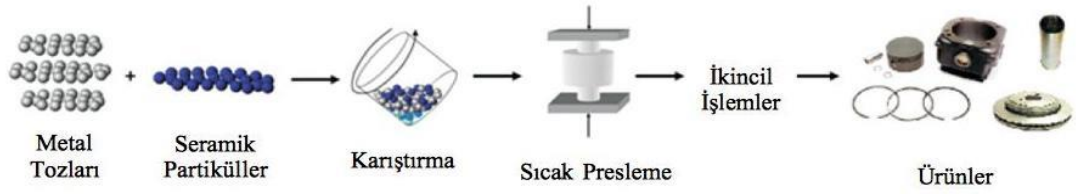


Şekil 2.8. MMK Üretim Yöntemlerinin Kullanım Oranları a) Birincil yöntemler (b) İkincil yöntemler

Katı faz üretim yöntemleri içinde en yaygın yöntem, toz metalürjisi yöntemidir. Bu yöntemle genellikle seramik ve metalik esaslı malzemeler kullanılır. Takviye elemanı partikül ve whisker formundadır. Yöntem takviye elemanı ve matris tozların mekanik olarak karıştırılması, istenen şekli verecek kalıba alınması, preslenmesi ve ardından ergime noktasının altında bir sıcaklıkta sinterlenmesi kademelerini içerir. Presle basınç uygulanması ve sinterlenmesi tek veya iki aşamada uygulanabilmektedir. Daha sonra parçaya ekstrüzyon veya haddeleme gibi ikinci bir işlem uygulanır.

Toz metalürjisi yönteminde takviye elemanı partikülleri silisyum karbür, bor karbür, alüminyum oksit, grafit, nikel, titanyum ve molibden tercih edilirken matris malzemesi olarak alüminyum, bakır, nikel, kobalt ve titanyum esaslı alaşımlar ve çelikler kullanılmaktadır.

Düşük sıcaklıklarda işlem yapılabilmesi, matris ile takviye arasındaki istenmeyen ara reaksiyon oluşumunun aza inmesi, seramik partiküllerin sıvı metal tarafından ıslatılmasındaki zorlukların olmaması, takviye tozlarının üniform dağılım göstermesi, porozite gibi katılaşma kusurlarının oluşmaması, son ölçülerde parça üretimini mümkün kılması gibi özellikler TM yönteminin avantajları olarak öne çıkmaktadır (Soy, 2011).

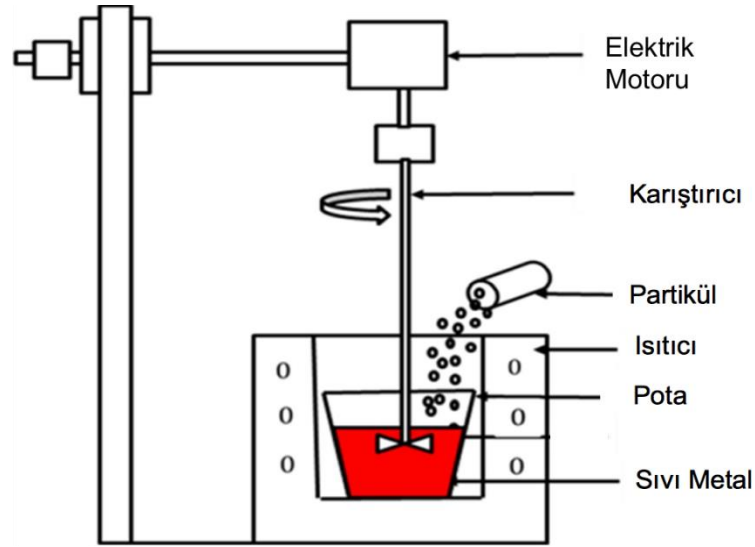


Şekil 2.9. Toz Metalürjisi Üretim Aşamaları (Görener, 2011)

Toz metalürjisi yönteminde tozların sıkıştırılması sonrası, kalıp içinden çıkartılan parçaların mukavemetlerini artırmak için parçalara sinterleme işlemi uygulanır. Sinterleme genellikle mikro ölçekte gerçekleşen, katı parçacıkları birbirine yoğun bir yapı oluşturacak şekilde bağlayan ısıl işlem veya süreçtir. Tek bileşenli malzemelerde sinterleme sıcaklığı malzemenin ergime sıcaklığının 0,8 katıdır. Çok bileşenli malzemelerde ise sinterleme sıcaklığı bileşimde en düşük ergime sıcaklığına sahip malzemenin ergime sıcaklığının altında seçilir. Sinterleme sonrasında parçalar isteğe bağlı olarak haddeleme, ekstrüzyon ve tekrar sıkıştırma gibi bazı işlemlerden geçerek kullanıma hazır hale getirilirler. Toz metalürjisi yöntemi otomotiv, havacılık, elektrik, elektronik ve savunma sanayii gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Soy, 2011).

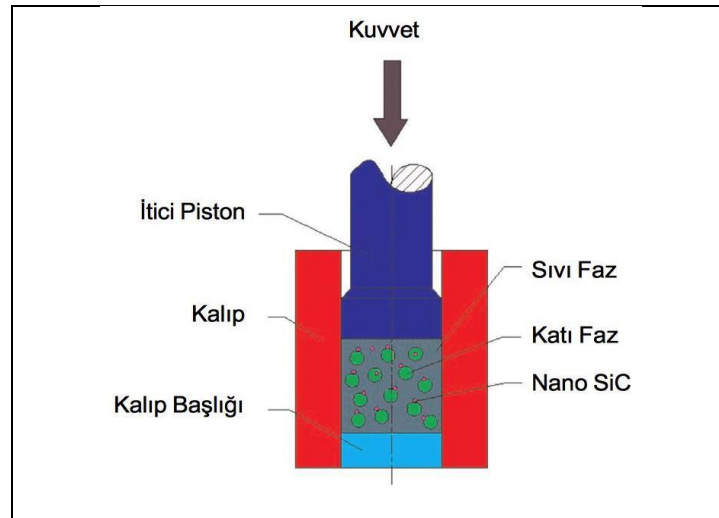
Partikül takviyeli MMK'lerin sıvı hal üretim tekniklerinde en çok kullanılan yöntem karıştırırmalı dökümdür. Karıştırırmalı döküm yöntemi, eriyik metal içerisinde dönen karıştırma mekanizması sonucu oluşan girdaba partikül takviyesi esasına dayanır. SiC ve Al₂O₃ gibi partiküller bu yöntemle sıvı Alüminyum içerisine başarılı bir şekilde ilave edilebilmektedir. Şekil 2.10'da tipik bir karıştırırmalı döküm üretim tekniğinin aşamaları gösterilmiştir.

Matris malzeme seçiminin esnek olması, geleneksel döküm teknikleriyle üretilebilmesi, düşük maliyetli olması gibi avantajlarından dolayı karıştırırmalı döküm tekniği uzun bir süredir uygulanmaktadır. Bu yöntem tek başına kullanıldığında ise takviye malzemesinin homojen bir şekilde dağılmadığı, etkili bir ıslatmanın olmaması bir dezavantajdır. Ayrıca ara yüzey reaksiyonlarının oluştuğu ve buna bağlı olarak matris-takviye arasındaki bağın istenilen seviyede oluşmadığı görülmektedir. (Toptan Vd. 2006).



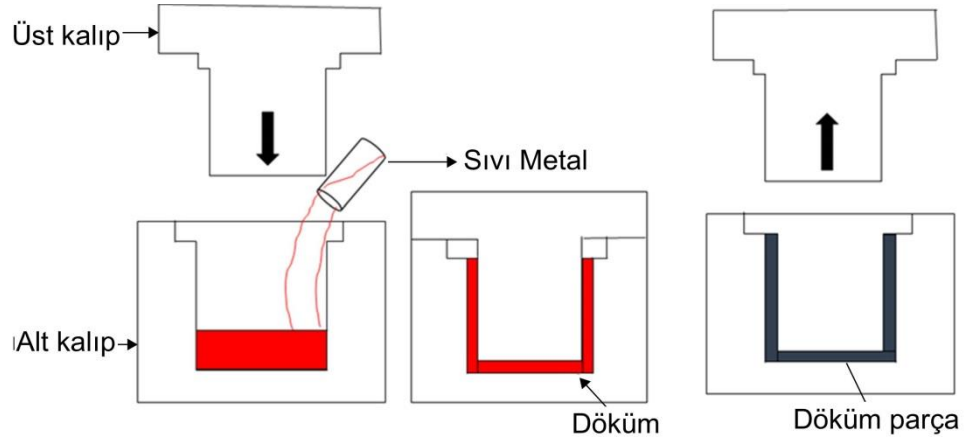
Şekil 2.10. Karıştırmalı Döküm Üretim Tekniğinin Temel Aşamaları (Thandalam, Ramanathan, Sundarrajan, 2015)

Karıştırma ve parçacık ilavesinden sonra karışımın son şeklinin verileceği önceden ısıtılmış kalıpta pres altında sıkıştırma işlemi yapılır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Karıştırmalı Dökümü Takiben Presleme İşlemi (Jiang, Wang, 2015).

Sıvı faz üretim yöntemlerinden olan sıkıştırımlı döküm tekniğinde parça son şekline yakın bir toleransta üretilmekte ve ikincil işlemler az olmaktadır. Otomotiv sektöründe ve havacılık uygulamalarında kullanım alanı bulmuş bir yöntemdir (Yılmaz, 2007). Şekil 2.12’de sıkıştırımlı döküm tekniği görülmektedir.



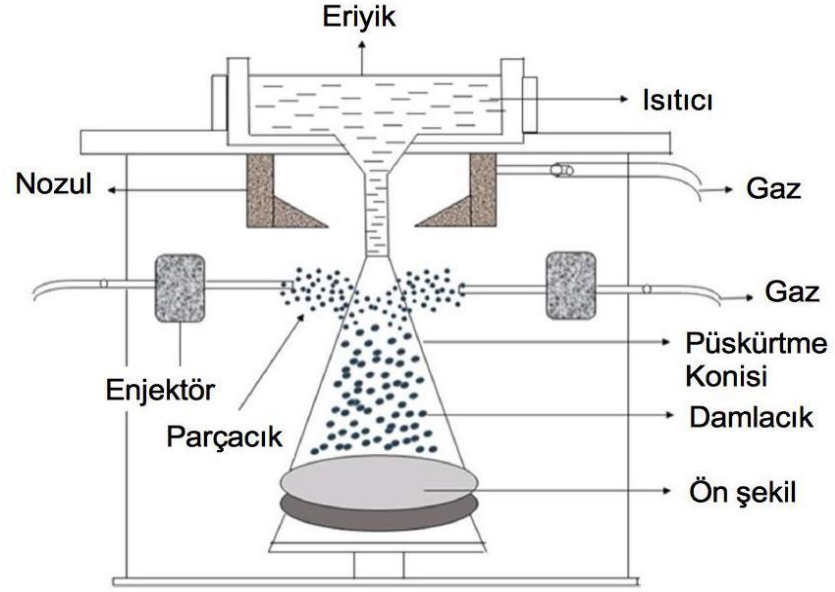
Şekil 2.12. Sıkıştırımlı Döküm Tekniği (Thandalam vd., 2015).

Bu yöntemde nihai şekle yaklaşabilmek için gerekli basınç kuvveti yüksektir. Bu basınç 70–100 MPa kadardır. Katılaşma sürecince bu basıncın uygulanması gerekmektedir. Bu sayede ince taneli mikro yapı, pürüzsüz yüzey ve yüksek dayanıma sahip malzeme üretimini sağlamaktadır. Bu yöntem genellikle bütün takviye elemanı çeşitleri için uygun bir üretim yöntemidir (Yılmaz, 2007).

Basınçlı döküm alüminyum, magnezyum ve çinko gibi demir dışı malzemelerden parça üretimi için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Günümüzde alüminyum ve alaşımı parça üretiminin %70'i bu teknikle üretilmektedir. Diğer döküm yöntemleri ile karşılaştırıldığında avantajları vardır. Yüksek verimlilik, toleranslar içerisinde boyutsal doğruluk ve yüzey kalitesi, ekonomik üretim, karmaşık şekilli ve ince kesitli parça üretimi, ince taneli mikro yapıya sahip parça üretebilmek avantajları olarak sıralanabilir (Bayar, Subaşı, Karataş, 2015).

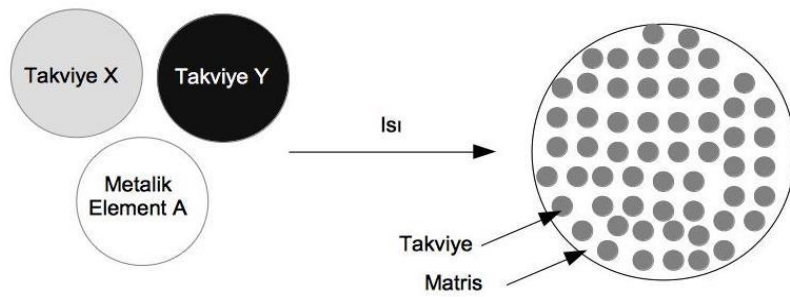
Bu yöntem, otomotiv sektöründeki malzeme üretiminde halen uygulanmaktadır. Toyota bu yöntemle piston, Honda ise silindir gömleği üretmiştir.

Gaz Enjeksiyonu yönteminde ise bir enjeksiyon sistemi kullanılarak takviye tozlarının azot gazı yardımıyla sıvı matris alaşımı içine püskürtülmesi prensibine dayanır. Şekil 2.13'teki görüldüğü gibi eriyik bir potanın tabanından aşağı doğru püskürtülürken yan taraftan püskürtülen partiküller ile karıştırılmaktadır (Yılmaz, 2007).



Şekil 2.13. Gaz Enjeksiyonlu Üretim Tekniği (Thandalam vd., 2015).

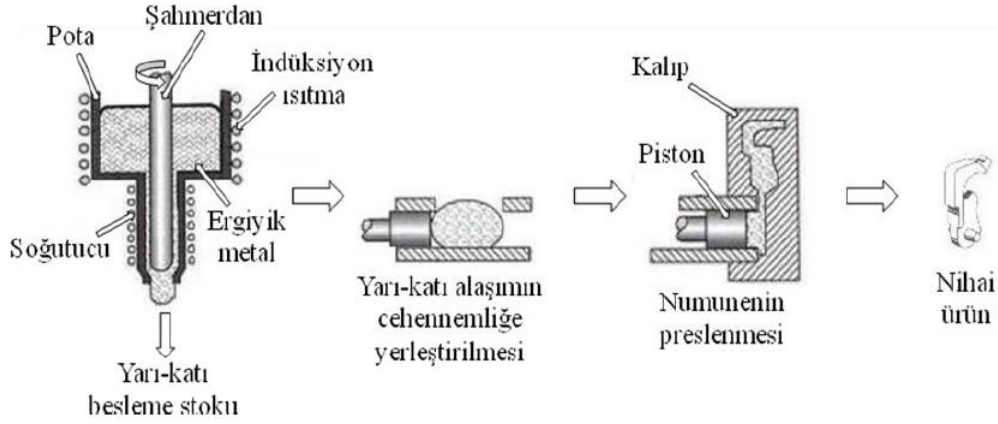
İn-situ yönteminde ise üretilen kompozit, şekil 2.14’te gösterildiği gibi takviye fazının sıvı metal içerisinde element veya bileşiklerin ekzotermik reaksiyonları sonucu kendiliğinden oluşması esasına dayanmaktadır. Uygulamaların çoğu alüminyum, nikel ve kobalt esaslı alaşımlar kullanılarak yapılmaktadır. Takviye ile matris malzemenin ara yüzey temizliği, takviye fazının homojen dağılımı, takviye fazlarının termodinamik olarak stabil olması, ucuz ve tek adımda üretime imkân vermesi gibi özellikler in-situ yönteminin üstünlükleri arasında gösterilmektedir (Soy, 2011).



Şekil 2.14. İn-Situ Sıvı Faz Üretim Tekniği (Soy, 2011)

Üretimde sıcaklık ve süre ile oluşan karbürlerin boyutu kontrol edilebilmekte ve küresel şekilli takviye elemanlarının matris içinde oluşması sağlanabilmektedir. Ancak yüksek sıcaklıklarda gerçekleşen üretim süreci ve reaksiyon süresinin uzun olması, yöntemin dezavantajı olarak gösterilmektedir. Bu metotla uçakların motor türbin kanatları üretilmektedir (Özkaya, 2016).

Rheocasting ve Compocasting olarak bilinen yöntemler ise kısa fiber veya partikül takviyeli metal matrisli kompozit malzemeler üretmek için ekonomik olarak gösterilen yarı katı üretim yöntemleridir. Matris malzemesi, karıştırma ünitesi olan ergitme fırınının içine yerleştirilip ergime sıcaklığının 45-50 °C üzerinde ısıtılmakta ve sıvı metal sıcaklığı kontrollü olarak düşürülmektedir. Alaşım %40-50 katı hale geldiğinde matris malzemesinin içine takviye malzemesi eklenmeye başlanmaktadır. Takviye olarak kullanılan seramik partiküller veya fiberler katı-sıvı sıcaklığı arasında tutulan matris malzemesi içine ilave edilmekte ve karıştırma yapılmaktadır.



Şekil 2.15. Rheocasting İle Parça Üretiminin Şematik Gösterimi (Uğur, 2012).

Takviyenin ilavesi esnasında sıcaklık yükseltilmeye başlamakta ve takviyenin tamamı iyi şekilde ıslatılınca kadar sıcaklık artırılarak karıştırma işlemi devam etmektedir. Karıştırmadan sonra elde edilen malzeme önceden ısıtılmış kalıba dökülmekte ve basınç altında katılaşması sağlanmaktadır. Bu yöntemle üretimde deformasyon oldukça düşük olduğundan son şekle yakın parça üretilebilmektedir. Türbülans olayı olmadığından gaz hapsolmesine bağlı gözenek oluşumu minimum olmaktadır. Üretilen parçalarda mikro yapı üniform olmakta buda mekanik dayanımı artırmaktadır.

Yarı katı karıştırmalı döküm tekniğinin dezavantajı olarak üretim proseslerinin çok iyi uygulanması gerekliliği ve işlemin yarı katı sıcaklık bölgesinde yapılmasından dolayı sıcaklık kontrolünün zorluğu gösterilmektedir (Uğur, 2012).

BÖLÜM 3

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Metal Matrisli Kompozitlerin üretiminde, takviye türüne ve geometrisine bağlı olarak çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemler sıvı, katı ve çift fazlı yöntemlerdir ve her uygulamanın kendine özgü avantaj ve dezavantajları vardır (O'Donnell, Looney, 2001).

MMK üretim sorunlarını tespit etmeden önce üretim proses parametrelerinin bilinmesi gerekir. MMK üretimi etkileyen faktörler şöyle sıralanabilir:

- ✓ Sıvı haldeki metalin bileşimi,
- ✓ Fırın sıcaklığı,
- ✓ Karışımın kalıptaki soğutma hızı,
- ✓ Karışımın viskozitesi,
- ✓ Karıştırıcının boyutu,
- ✓ Karıştırıcının pozisyonu (derinliği ve eğimi),
- ✓ Karıştırma hızı,
- ✓ Partiküllerin özgül yoğunluğu,
- ✓ Partiküllerin boyutu ve miktarı,
- ✓ Katılma süresince uygulanan dış kuvvet,
- ✓ Karıştırma işlemi bitimi ile döküm arasında geçen süre,
- ✓ Kalıp malzemesinin özellikleri ve kalıp sıcaklığı,

Bu etkenler üretim aşamasında dikkat edilmesi gereken parametrelerdir. Bunların biri veya birkaçının kontrol edilmemesi, üretim sorunlarına yani kalitesiz ve

istenen özellikleri sağlamayan bir MMK üretilmesine yol açar. Bu parametrelerin ne tür sorunlara yol açtığı yazılan birçok makale ve teze konu olmuştur.

Üretim yöntemlerinde karşılaşılan sorunların en bilinenleri homojenlik, ıslatılabilirlik, birbiri içerisinde karışmama, ara yüzey reaksiyonları ve parçacık kırılmasıdır. Naher, Brabazon ve Looney (2004) yaptıkları çalışmada, üretim proseslerini karşılaştırmışlar ve katı faz üretim yöntemlerinin oldukça yüksek dayanım, homojen takviye dağılımı ve kontrollü ara yüzey reaksiyonları sağladığını belirtmişlerdir. Ancak işlemlerin zor ve pahalı olduğu için maliyetlerinin yüksek olduğunu ayrıca üretimi yapılan mamul boyutlarının sınırlı ölçülerde olabileceğini belirtmişlerdir.

Hashim, Looney ve Hashmi, (2002), Metal matrisli kompozit malzemelerde parçacık dağılımını inceledikleri çalışmada 10 µm boyutundan daha küçük parçacıkların ergimiş metal içinde asılı kaldığı ve yer çekimi etkisinin ihmal edilebilecek düzeyde olduğunu, hatta 10- 100µm arasındaki parçacık boyutu içinde bunun geçerli olduğunu belirtmişlerdir. Ancak, 100 -1000 µm aralığındaki parçacık boyutu için yüksek hızlardaki karıştırma işlemlerinde parçacıkların sıvı içerisinde asılı kaldığını, fakat düşük hızlardaki karıştırma işlemlerinde parçacıkların yerçekimi etkisi ile dibe çöküp biriktiğini belirtmişlerdir. Yine aynı çalışmada, PTMMK malzemelerin üretiminde sıvı faz üretim yöntemlerinin daha ucuz maliyetli, üretimi kolay ve adapte edilebilirliği yüksek olduğundan ticari olarak tercih edilmekte olduğunu belirtmiştir.

Contreras, Bedolla ve Perez (2004), karşılaşılan problemlerin başlıcalarının; takviyenin sıvı faz içerisine homojen olarak dağılmaması, matris malzemesi tarafından ıslatılmaması, karışımda homojen olmayan birikme, topaklanması, takviye ile matris malzemesi arasında istenmeyen kimyasal reaksiyonların meydana gelmesi ve gözenek oluşumu olduğunu gözlemlemişlerdir.

Toptan (2011), yaptığı çalışmada kompozit malzemelerde yapıyı oluşturan bileşenler birbiri içinde çözünmediği ancak özellikle metalik sistemlerde -düşük oranlarda bile olsa- bileşenler arasında kompozit özelliklerini etkileyebilen ara yüzey reaksiyonları görülebildiğini belirtmiştir. Bu olay daha çok karıştırılmalı döküm (vorteks) tekniğinde sıvı ve parçacık takviye arasındaki temas zamanının uzun olmasından kaynaklanır. Mekanik hareketlilik sırasında seramik parçacıkların kırılması gibi çeşitli zorluklar da olabildiğini belirtmiştir.

Akbulut, Durman ve Yılmaz (1993), azalan tanecik boyutu ve artan takviye fazı yüzde ağırlık oranı ile topaklanmanın artışı ve homojen dağılımda azalma görmüşlerdir. Ancak olumlu olarak sertlikte artış olmuştur. MMK malzemelerin üretimi sırasında, artan tanecik boyutu ve azalan takviye yüzde ağırlık oranı ile üretimin kolaylaştığı görülmüştür. Yapılan çalışmalarda SiC taneciklerinin ağırlık oranının artması ve tane büyüklüğünün azalmasıyla numunelerdeki gözenek oranının arttığı gözlemlenmiştir. Tanecik ağırlık oranının artmasıyla MMK malzemelerin üretimleri esnasında, tanecik ilave süresinin uzun olması ve tanecik büyüklüğünün düşmesiyle hava ile temas eden yüzey alanının artmasından dolayı gözenekli yapının oluştuğu yapıları çalışmalarda görülmüştür.

Vaucher ve Befford (2000), Al_2O_3 , C, B_4C ve SiC sürekli elyaflar, kısa elyaflar ve parçacık takviyeler kullanarak farklı matris malzemeleri ile oluşturulan kompozit malzemelerde arayüzey reaksiyonlarını incelemişler, oluşan ve muhtemel reaksiyonları bir tabloda göstermişlerdir. Bu tabloya göre sıvı alüminyumla uzun süre karıştırılan SiC parçacıkları arasında istenmeyen reaksiyonlar oluşmaktadır. Bu reaksiyon ürünü Alüminyum karbürdür (Al_3C_4).

Karabulut ve Çıtak (2011), TM yönteminde küçük partiküllerin sıkıştırmaya direnç gösterdiği ve bundan dolayı nano boyutlu tozların sıkıştırılabilirliğinin çok zor olduğu belirtilmiştir. Benzer şekilde, geçmişte yapılan bir çalışmada, tane boyutları küçüldükçe kompozit bünyesinde topaklanmaların çoğaldığı ve gözeneklerin oluştuğu belirlenmiştir.

Kurşuncu (1999), yaptığı araştırma sonucunda elde ettiği sonuçlar şöyledir. Karıştırmalı döküm tekniğinde karıştırıcının oluşturduğu girdabın ortamdaki havanın sıvı metal içerisine girip burada çözünmesiyle poroziteli yapı meydana geldiğini görülmektedir. Ortamdaki bu gazlar partiküllerin ilave edilirken matris içerisine girebilmektedir. Araştırmalarında ilave edilen parçacık hacim oranının artması sonucu porozitenin arttığını belirtmiştir. Karıştırma parametrelerinin aynı zamanda poroziteyi etkilediğini belirtmiştir.

Çözünmüş hidrojenin başlıca kaynağı sıvı alüminyumla hemen reaksiyona giren oksit ve hidrojen oluşumuna yol açan nemdir. Katı alüminyuma kıyasla hidrojenin sıvı

alüminyumda reaksiyonu daha fazladır. Si, Cu veya Fe gibi elementler hidrojen çözünürlüğünü düşürürken Mg'un önemli derecede artırma etkisi vardır.

Kezkiç (2011), yaz aylarında yüksek nem yüksek sıcaklıkla birleştiğinde çok sıklıkla dökümhanelerde düşük nem oranlarındaki kış aylarına göre çok daha fazla gaz porozitesi problemleri ortaya çıktığını belirtmiştir.

Türker (2005), yaptığı çalışmada, ergimiş alüminyumun fırın atmosferindeki gazlar ve su buharı ile reaksiyona girerek alüminyum oksit ve alüminyum nitrürden oluşan bileşikler oluşturduğunu ve önlem alınmadığı takdirde kaliteden ödün verileceğini yazmıştır.

Çanakçı (2006), yaptığı çalışma sonunda şu sonuçlara ulaşmıştır: Parçacık ilavesinden sonra yapılan uzun süreli karıştırma, parçacık dağılımının homojen olmasını sağlar. Özellikle yüksek sıcaklıklarda uzun süreli karıştırma, karıştırıcının kanatlarının aşınmasına ve sıvı metale aşırı gaz girişine yol açar. Bu yüzden ergimiş metalin miktarına ve cinsine bağlı olarak bir optimum karıştırma süresi tespit edilmelidir. Son karıştırma ile döküm arasında geçen süre mümkün olduğunca kısa olmalıdır. Çünkü sürenin uzun olması parçacıkların çökme ve yüzeye çıkması için yeterli sürenin oluşmasına sebep olur. Diğer taraftan katılaşma hızının yüksek olması istenir. Çünkü katılaşmanın hızlı olması parçacıkların yüzmesi veya dibe çökmesini engeller.

Bayar vd. (2015), yaptıkları bir çalışmada takviye malzemesinin enjeksiyon makinesinin piston, silindir ve kalıp sistemine enjeksiyon sırasında çizgisel izler bırakarak zarar verdiği gözlemlenmiştir. Döküm işlemi sırasında SiC parçacıkların sıvı metalin doldurulduğu piston, silindir düzeneğini ve kalıp yüzeyini aşındırdığı görülmüştür. Kalıpta ve pistonda meydana gelen bu aşınmalar, alüminyumun yüzeylere sıvanmasına ve yapışmasına neden olmuştur. Yapılan çalışmada kullanılan basınçlı döküm (BD) yönteminin, SiC parçacık takviyeli kompozit malzemenin seri üretimi için uygun olmayacağı sonucuna ulaşılmıştır. Matris ile SiC parçacıkları arasında iyi bir ıslanmanın olmaması, kompozit malzemelerin çekme ve akma mukavemet değerlerinin takviyesiz alaşım numunelerine göre %18 daha düşük olmasına neden olduğu görülmüştür.

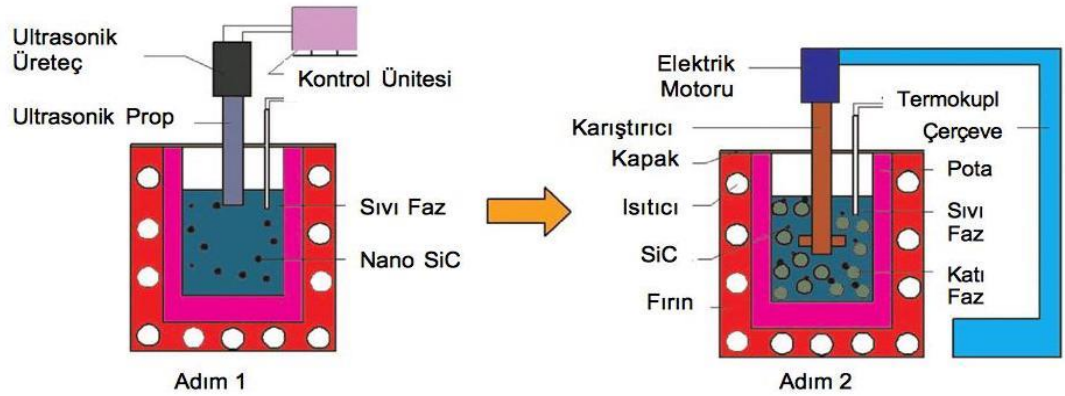
Özkaya (2016), in-situ yönteminde oldukça yüksek sıcaklıklarda çalışma gereksinimi ve reaksiyon süresinin uzun olması, yöntemin temel dezavantajı olarak sayılabileceğini belirtmiştir.

Toptan (2011), difüzyonla bağlama tekniğinde yüksek uygulama süreleri, yüksek sıcaklık, basınç gereksinimi ve şekil sınırlamaları ile yüksek maliyet gibi dezavantajlar bulunduğunu saptamıştır. Ayrıca sıvı metalin takviye malzemesini ıslatma kabiliyetini arttırmak amacıyla birçok yöntem kullanıldığını belirtmiştir. Sıvı üretim tekniği ile kompozit malzeme üretiminde magnezyum, kalsiyum, titanyum veya zirkonyum gibi değişik alaşım elementlerinin ilave edilmesi ile eriyiğin yüzey gerilimini ve katı-sıvı ara yüzey serbest enerjisini azaltarak ıslatılabilirlik özelliği artırılabilmiştir. Böylece matris ile takviye arasında çok iyi bir bağ oluşturulduğundan bahsetmiştir.

Yılmaz (2007), sıkıştırılmalı üretim tekniğinde yüksek basınç ihtiyacından dolayı istenilen parçanın boyutunun sınırlayıcı faktör olduğundan bahsetmiştir. Diğer bir dezavantajın ise takviye malzemesinin basınç esnasında kırılma ihtimalinin yüksek olduğunu belirtmiştir. TM yönteminde tozların elde edilmesi, takviye ve matris malzemesinin karıştırılması zaman almakta ve maliyeti artırmaktadır. Ayrıca ortamın çok temiz olması gerektiğini belirtmiştir.

Araştırmacıların büyük kısmı MMK üretiminde karşılaşılan homojen olmayan karışım probleminin çözümü üzerinde durmuştur. Homojen olmayan yapının matris malzemenin yarı katı fazdayken takviye malzemesinin katılması ile takviye elemanın dibe çökme ve homojen yapının bozulmasının önleneyeceği hesaplanmıştır.

Poroziteyi azaltmak için de çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Dökümhanede kompozitlerin üretilmesi esnasında sıvıda çözünen gazları minimuma indirmek için çok çaba sarf edilmiştir. Ortam gazları kontrol altına alınmış ve işlem azot gazı altında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca şekil 3.12'de gösterildiği gibi ultrasonik karıştırma tekniği denenerek homojenlik artırılmaya ve porozite azaltılmaya çalışılmıştır.



Şekil 3.1. Ultrasonik Karıştırıcı Kullanarak Karıştırma (Jiang, Wang, 2015).

Ataş ve Gür (2000), SiC takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzemeyi toz metalurjisi tekniğini ultrasonik yöntem ile destekleyerek yaptıkları çalışmada, 25, 100, 180 μm boyutlarındaki Al tozları ve 10, 40 μm boyutlarında SiC tozlarını kullanarak farklı hacimsel takviye oranlarında malzeme hazırlamışlardır. Ses, hız ve frekansının malzeme özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak, ultrasonik titreşimin SiC tozlarının yapı içerisinde homojen olarak dağılımına yardım ettiği ve gözenekliliği azalttığını belirtmişlerdir.

Özel karıştırıcı dizaynı ve girdap oluşumunu bozan parçaların kullanımı, karıştırıcı hızının kontrolü, karıştırıcının boyutu ve sıvı içindeki pozisyonu, partiküllere ısıl işlem uygulama gibi üretim parametrelerinde değişikliğe gidilmiştir (Uygur, Saruhan, 2004).

Takviyenin karışım dışına itilmesi, çökmesi, topaklanma gibi problemler için farklı karıştırıcı profilleri değişik karıştırma hızları ve süreleri denenmiştir (Ourdjini, Chew, Khoo, 2001). Bu çözümler homojen takviye dağılımı sağlamakla birlikte yüksek sıcaklıkta karıştırma süresi uzadığından istenmeyen ara yüzey reaksiyonları oluşturmakta ve gözenek oranını arttırmaktadır.

Magnezyum, özellikle alüminyum bazlı metaller için ısılatılabilir özelliğini en fazla arttıran ilave malzemesi olmuştur. Bunun en büyük nedeni magnezyumun yüzey gerilimi değerinin alüminyumun yüzey gerilimi değerine oranla düşük bir değere sahip olmasıdır. Islatma kabiliyetini arttıran yöntemlerden biri de takviyeye ısıl işlem uygulanmasıdır. Uygulanan ısıl işlemle takviye işlemi öncesinde parçacık yüzeyinde

absorbe edilmiş gazların eriyiğın içine karışması engellenir ayrıca taneler üzerinde oksit tabakası oluşturularak takviye ile matris malzemesi arasında ıslatmanın iyileştirilebileceğı temiz bir yüzey elde edilebilir. Bu yüzey eriyik halindeki metalin takviye ile daha iyi bir şekilde temasına izin verir; yüzeyleri temizlemek için ultrasonik teknikler, değışik dağlama veya uygun bir fırın atmosferi içinde ısıtma gibi yöntemler kullanılabilir. Metal olmayan taneciklerin sıvı metal ile ıslatıla bilmesinin zorluğundan dolayı taneciklerin bir metal ile kaplanması yöntemi ıslatıla bilme özelliğinin artırılması için kullanılan yöntemlerden biridir. Sıvı alaşım sıcaklığının yükseltilmesi de ıslatmayı artırır.

Mekanik kuvvet uygulayarak karıştırma ile ıslatıla bilirliliğın artırılmasının mümkün olduğu ve bunun daha çok yarı katı haldeki karışırmalar için önerildiğı Kılıçkap, Özben ve Çakır (2006) tarafından yapılan araştırmada yer verilmiştir.

Basınçlı Döküm tekniğinde gaz alma işlemleri yapılarak gözenekli yapının oluşmasının engellenmeye çalışıldığını Gölbaş (1998), yaptığı araştırmada belirtmiştir. Ayrıca yüksek enjeksiyon basıncı uygulanarak katılaşan metal içerisinde gaz ve büzülmeden kaynaklanan gözenek oluşması engellenmeye çalışılmıştır.

Haga (2002), Saklakoğlu (2008) ve Ürkmez (2004) yaptıkları çalışmada; yarı-katı aralığa ısıtılan ve yarı-katı aralıkta karıştırılan döküm parçaların non-dendritik ve küresel tane yapısına sahip olduğu, kompozit karıştırma ile elde edilen karışımın homojen karıştığı, tanelerin dibe çökmediğı, istenmeyen reaksiyon ürünlerinin oluşmadığı ve bunun gibi sıvı karıştırma yöntemlerinde karşılaşılan sorunların oluşmadığını belirtmişlerdir.

BÖLÜM 4

METAL ESASLI KOMPOZİT ÜRETİMİ İÇİN KARIŞTIRMA MEKANİZMALI FIRIN TASARIMI VE İMALATI

Parçacık takviyeli kompozit metal üretmek amacı ile karıştırma için bir cihaz tasarlamak bu tez çalışmasının konusudur. Bölüm 3'te belirtilen MMK üretim yöntemlerinin dezavantajların çoğunun sebebi hep karıştırma usul ve yöntemlerinin sonucunda oluşan hatalar ile alakalıdır. Bunların üstesinden gelmek için tasarlanan cihaz şu görevleri yerine getirmesi beklenmektedir.

- 1- Düşük ergime sıcaklığına sahip metaller fırın içindeki potaya doğrudan yerleştirilerek ergitilebilmelidir.
- 2- Ergitme potası içinde bulunan malzemeler fırın kapağının açılmasına gerek olmadan değişik hızlarda karıştırma yapabilen bir karıştırıcı mikser ile karıştırılabilmelidir.
- 3- Karıştırma işlemi devam ederken Takviye malzemeleri ve matris malzemesi fırın kapağını açmadan ilave edilebilmesi için fırın kapağında bir giriş bulunmalıdır.
- 4- Farklı oranlarda seramik parçacıkları metal matris malzemesi içine doğrudan yarı katı karıştırma yöntemi ile istenilen oranda karıştırılabilmelidir.
- 5- Karıştırma işleminin koruyucu gaz atmosferi altında yapılabilmesi için pota üzerinde ve fırın iç hacminde gaz atmosferi oluşturacak şekilde bir gaz girişi mevcut olmalıdır.
- 6- Fırın sıcaklığı elektronik devre ile kontrol edilmelidir.

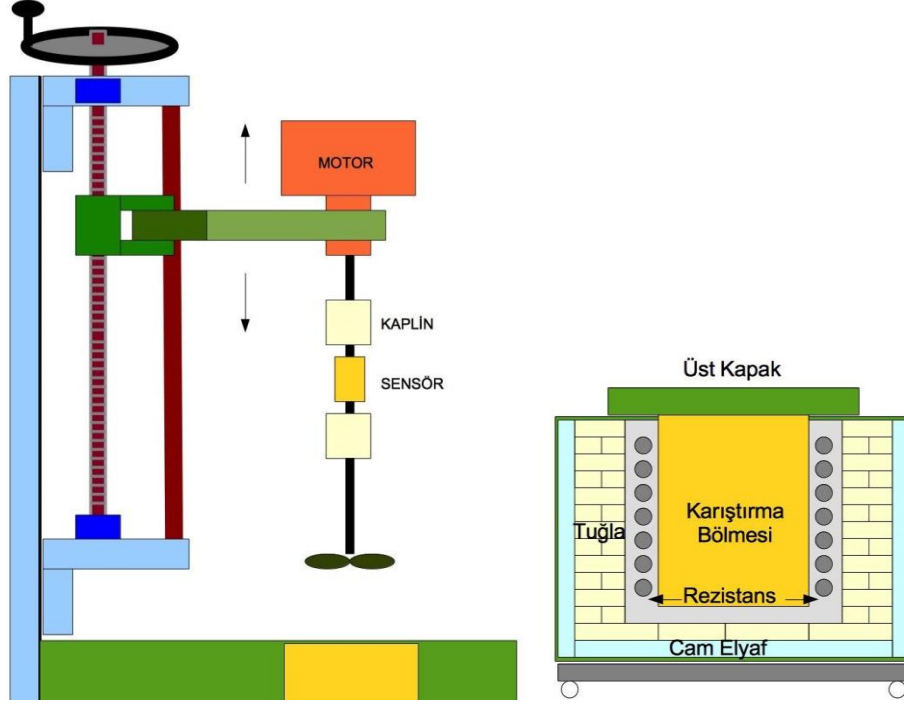
- 7- Pota içindeki matris malzemesinin yarı katı halde uzun süre kalabilmesini sağlamak için pota içindeki ergimiş metalin viskozitesi bir sensör vasıtasıyla kontrol edilmelidir.
- 8- Yarı katı hal, altındaki ve üstündeki sıcaklıklarda elektronik bir devre yardımı ile uyarı verilmelidir.
- 9- Uyarı sinyalleri ile pota içine matris ilavesi devam etmeli ya da durdurulmalıdır.
- 10- Takviye edilen seramik parçacıklar yarı katı haldeki metal veya metal alaşımının içine homojen bir şekilde dağıtacak bir karıştırıcı profili olmalıdır.
- 11- Karıştırma işlemi bitince yarı katı haldeki karışım kalıplara rahatlıkla aktarılabilir.

4.1. Kavramsal Tasarım

Metal matris ile takviye elemanını yarı katı halde iken homojen karıştırılacak olan bu düzenek, bir ergitme fırınına monte edilmelidir. Fırının iç hacmi ergitme potasının şekli ve boyutunu belirlemektedir. İç hacim aynı zamanda matris malzemesini eritmek için gerekli sürenin belirlenmesi için güç hesabını da etkilemektedir. Fırın iç sıcaklığının ve ergimiş metal malzemenin sıcaklıklarının bilinmesi, cihaz kontrol panelleri için gereklilik arz eder. Ergitme fırınının ısıtıcı rezistanslarının kontrol edilmesi gerekmektedir. Alüminyum örnek verdiğimiz sıvı faza geçtiği 660 °C den sonra fırın iç sıcaklığı belli bir değerde tutulmalı, fırının sürekli ısınmasının önüne geçilmelidir. Bunun için de sıcaklık kontrollü kontaktör gerekmektedir.

Bir diğer önemli unsur karıştırıcı ucu ve bağlı olduğu mili döndürecek motor mekanizmasıdır. Bunlar fırın potasının tam üstüne monte edilmelidir. Karıştırıcı uç ve mil, potanın içinden -yani ergimiş metal içinden- yukarı doğru çıkabilmeli, böylece hazırlanan MMK pota ile birlikte dışarı alınabilmesine izin vermelidir. Bu mekanizmanın elle (manuel) hareketli veya otomatik kontrollü olması düşünülebilir. Ancak gerek sistemin ticari amacı olmaması gerekse üretim maliyetlerinin yüksekliği otomatik olarak fırına girip çıkacak bir karıştırıcı mekanizmasının yapılmasının önüne geçmiştir. Elle kontrollü bir mekanizma içinse sonsuz vidalı mil seçeneği amaca en uygun, maliyeti düşük, otomasyona dönüştürmeye uygun yol olarak öne çıkmıştır.

Ergitme fırını metalin erime sıcaklığına geldikten sonra fırın ısıtması durmalı ve belirlenen bir sıcaklığın altında karıştırıcı motor dönerek ergimiş metal karışımı karıştırmalı, yarı katı faz durumu tespit edilmelidir.



Şekil 4.1. Yarı Katı Karıştırma Düzeneği Hareket Mekanizması ve Ergitme Fırını

Bunun için karışımın karıştırıcıya uyguladığı kuvvetin ölçülmesi gerekmektedir. Bu çalışmada karıştırıcı mile bağlı bir tork sensörü veya elektrik motorunun yükten yani karıştırma torkunun artmasından dolayı artan elektrik akımının ölçülmesi için hassas bir ampermetre kullanılması planlanmıştır. Ancak elektrik motorunun gücüne bağlı olarak tork değişimlerini hassas olarak tespit edilemeyeceği, yapılan ön deneysel çalışma ile görüldüğünden en uygun çözümün tork sensörü olduğu görülmüştür.

Potanın fırın içine girebilmesi ve ısı kayıplarını azaltmak için fırın kapağının açılır kapanır olması gerekmektedir. Fırın kapağı kapalı iken karıştırıcının içeride kalıp dönebilmesi ve ergimiş metal matris ve takviye malzemesini karıştırabilmesi gerekmektedir. Bunun için kapağa kanal açılıp milin oradan içeri girip kapağın kapanması gerektiği görülmüştür.

Karıştırıcı mil ve ucun sıcaktan az etkilenmesi için grafit kaplı çelikten yapılması düşünülmüştür. Ancak sistemin sürekli üretim yapmayacağı, deney amaçlı olduğu, maliyet ve üretim kolaylığı gibi faktörlerden dolayı grafit kaplanmadan (sadece çelikten) yapılmasının tezin amacı olan bu cihazın çalışması ve test edilmesine engel olmayacağı görülmüştür.

4.1.1. Ergitme Fırın Tasarımı

Tasarımı yapılacak olan fırının boyutsal ölçüleri aşağıdaki gibi planlanmıştır:

Fırın eni = 650 mm

Fırın boyu = 400 mm

Fırın genişliği = 650 mm

Ergitme pota çapı = 180 mm

Ergitme pota derinliği = 280 mm

Bu çalışmada direnç teliyle ısıtılan ergitme fırın tasarımı yapılmaktadır. Isıl direnç teli FeCrAl elementlerinden meydana gelen alaşımlar (Kanthal) ve NiCr elementlerinden meydana gelen alaşımlar (Nicrothal) olmak üzere iki sınıfta toplanır. Düşük sıcaklık uygulamalarında CrNi ve NiFe bazlı alaşımlar tercih edilir. Nicrothal alaşımlar östenitik bazlı alaşımlar olup 1000–1200 °C arasında bir çalışma sıcaklığına sahiptir.

Nicrothal telleri de fırınlarda kullanıma uygun olmakla beraber bu tip fırınlarda uzun ömürleri dolayısıyla Kanthal APM veya Kanthal A1 türü direnç telleri tercih edilir. Kanthal türü direnç telleri, ferritik alaşımlar sınıfında olup maksimum çalışma sıcaklıkları 1100–1425 °C arasında değişmektedir. Kanthal elementler, Nicrothal elementlere göre 4–5 kat daha uzun süre kullanım ömrüne sahiptirler. Yoğunlukları da diğer direnç teli alaşımlara oranla düşük olan kanthal alaşımların özgül dirençleri daha yüksek değerlere sahiptir. Böylece daha büyük kesit alanına sahip teller kullanılabilen ve direnç telinin kullanım ömrü arttırılabilmektedir.

Kanthal alaşımların akma dayanımı diğer direnç teli alaşımlarına oranla daha yüksek bir değere sahip olduğundan direnç teli soğurken kesit alanında çok fazla plastik şekil değişimi meydana gelmemektedir.

Çalışmada ısıtıcı direnç teli olarak kanthal A1 teli kullanılmıştır. Kullanılan kanthal A1 telinin fiziksel özellikleri Çizelge 4.1.'de belirtilmiştir. Kullanılan bu telin uzunluğu $R=\rho.L/A$ bağıntısı yardımıyla bulunabilir. Burada; R telin direncini, ρ tel öz direncini, L telin boyunu, A telin kesit alanını göstermektedir. Ergitme fırını 3000 Watt'lık güç ile çalışmaktadır. Elektrik şebeke gerilimi 220 volt kullanılmıştır:

$$W=V \cdot I \quad (4.1)$$

$$3000=220 \cdot I$$

$I=13.6$ Amper bulunur.

Ohm yasasından;

$$V=I \cdot R \quad (4.2)$$

$$220=13.6 R$$

$$R=16.2 \text{ Ohm'dur.}$$

Çizelge 4.1. Kanthal A1 Rezistans Teli Fiziksel Özellikleri

Yoğunluk g/cm^3	7.10
20 °C'de Elektriksel Direnç (Ω) mm^2/m	1.45
Poission Oranı	0.30

Çizelge 4.1 den kanthal A1 telinin öz direnci $\rho=1.45$ olarak bulunur.

$$R=\rho.L/A \quad (4.3)$$

Formülasyonda yerine yazılırsa;

$$16.2=1.45 (L / 3.14)$$

$L=35.08$ metre ısıtıcı tel uzunluğu bulunur.

35 metre uzunluk ve 2 mm çapa sahip telin hacmi de;

$$V=A \cdot h \quad (4.4)$$

Formülü ile hesaplanır;

$$V=3.14 \cdot (0.1)^2 \cdot (3500)$$

$$V=109.9 \text{ cm}^3$$

Tel yoğunluğu (ρ) = 7.10 g/cm^3 (Çizelge 4.1.den)

Telin kütlesi= $780.29 \text{ gr} = 0.780 \text{ kg}$ bulunur.

Fırın tasarımında kullanılan tuğla, yapısında (Çizelge 4.2.) yüksek oranlarda SiO_2 ve Al_2O_3 ; düşük oranlarda Fe_2O_3 , CaO , MgO bulunan özel tuğla türüdür. Yüksek sıcaklığa ve aşınmaya karşı dayanıklıdır. Isı iletim katsayıları düşük olan ateş tuğlaları fırınların içini kaplamak için kullanılmaktadır.

Çizelge 4.2. Ateş Tuğlasının Kimyasal Özellikleri

Al_2O_3	Max (%)	30–55
SiO_2	Min. (%)	38–42
Fe_2O_3	Min. (%)	2.5–2.0
TiO_2	Max (%)	2.9–3.5
CaO	Max (%)	1.0–1.5

Çizelge 4.3. Ateş Tuğlasının Fiziksel Özellikleri

Refrakterlik $^{\circ}\text{C}$	($^{\circ}\text{C}$)	1670–1770
Yük altında refrakterlik, 0.2 MPa	($^{\circ}\text{C}$)	1250–1470
Porozite	(%)	20–26
Yoğunluk	(g/cm^3)	1.9–2.35
Termal Genleşme 1000 $^{\circ}\text{C}$	(%)	0.8–0.4

Seramik yünü çok yüksek sıcaklıklar için kullanılan bir yalıtım malzemesidir. Taş yününün kullanılmadığı 1200–1400 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklıklar için kullanılır. Levha ve dökme şekillerinde bulunur. Beyaz renklidir. Yoğunluğu malzemenin şekline göre 100–150 kg/m^3 arasında değişir. Yumuşak bir malzeme olup en önemli özelliği yüksek sıcaklığa dayanabilmesidir.

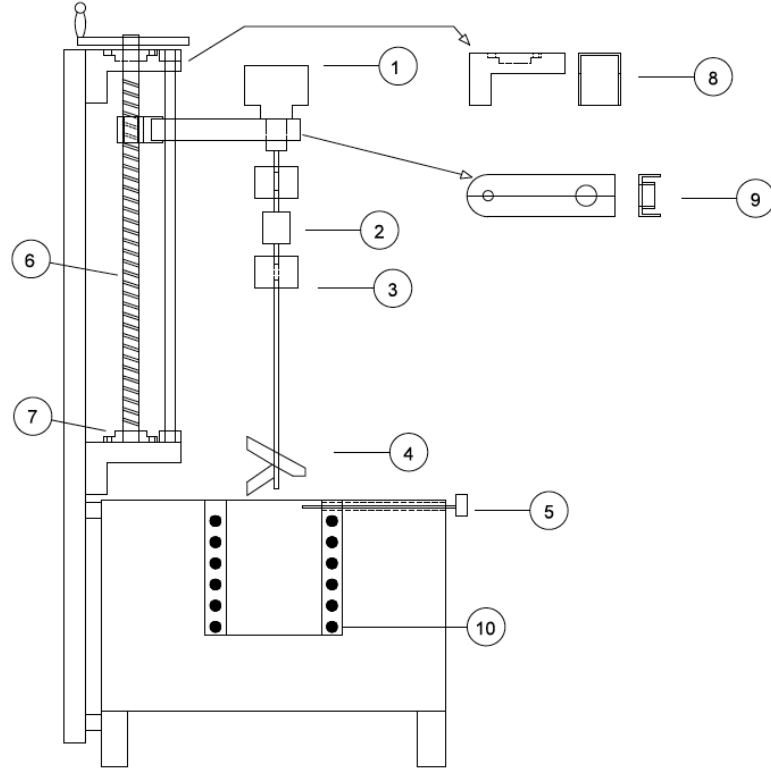
Çizelge 4.4. Seramik Yalıtım Malzemesinin Isıl İletkenlik değerleri (W/mK)

Ortalama Sıcaklık °C	Yoğunluk (kg/m ³)		
	64	96	128
100	-	0.041	0.03
300	-	0.079	0.06
600	0.18	0.14	0.12
800	0.27	0.22	0.18
1000	0.42	0.36	0.28

Motor aksamının bağlantı parçası EN 100056-1: 1998 standartlarına göre 40x40x4 ölçülerinde ve 2,42 kg/m özgül ağırlığa sahip sıcak haddelenmiş, yuvarlak köşeli profile sahip köşebent demirden imal edilmiştir.

4.1.2. Karıştırma Mekanizması Tasarımı

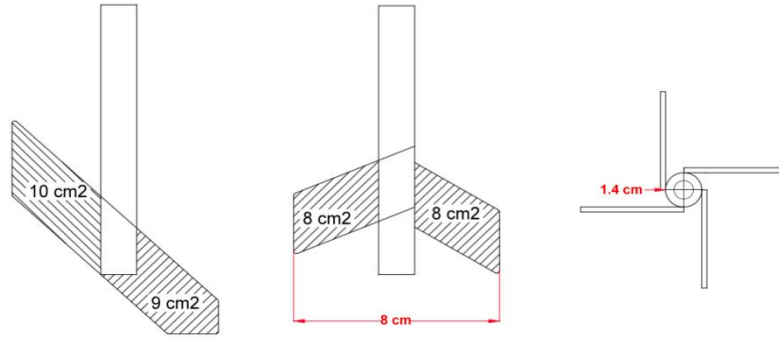
Çalışma sıcaklığı maksimum 900°C olacak fırının tasarımı yapılırken malzeme seçiminde dikkat edilmesi gereken üç husus vardır. Bunlardan birincisi, fırını 900 °C sıcaklığa kadar çıkarabilecek ve gerektiğinde bu sıcaklıkta uzun süre bekleyebilecek, kısa sürede deforme olmayacak ve bu sıcaklık bölgesinde maksimum güç alınabilecek rezistans telinin temin edilmesidir. İkincisi, bu sıcaklık bölgesinde uzun süre dayanabilecek rezistansı taşıyan izole tuğlasıdır. Üçüncüsü ise fırın sıcaklığının minimum güç harcaması ile 900 °C'ye çıkmasını sağlayacak iyi bir yalıttır. Fırın izolasyonu için yalıtım tuğlaları ve seramik yün kullanılarak fırın içi ısı yalıtımı yapılmıştır.



Şekil 4.2. Otomatik Kontrollü Karıştırıcı Mekanizmasının Parçaları

1	Elektrik motoru	6	Vidalı mil
2	Tork sensörü	7	Rulmanlı yatak
3	Kaplin	8	Bağlantı parçası
4	Karıştırıcı	9	Motor sabitleyici ve tutucu
5	Termokupl	10	Elektrik rezistans teli

Sürekli karıştırma şekli uygulanmıştır. 60 d/dk. lık devir ile dönme hareketi verilmiştir. Mekanik karıştırıcının tasarlanmasında; kapasite, karıştırma hızı, karıştırma tipi, hazne hacmi, hazne tipi gibi parametreler dikkate alınmıştır.

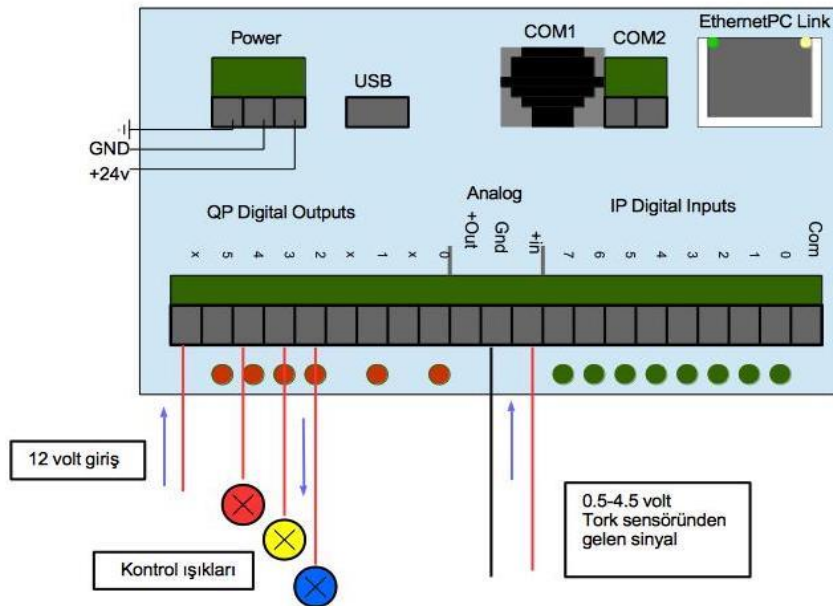


Şekil 4.3. Karıştırıcı Kanat Geometrisi

4.1.3. Elektrik Devre Tasarımı

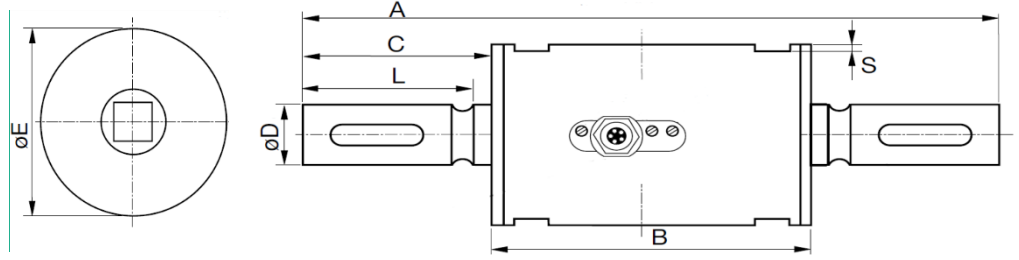
PLC içerisinde bulunan CPU modülüne yüklenmiş programın çalışmasıyla kendisinde olan giriş pinlerinden bilgi alıp işleyen ve çıkış pinlerini kontrol eden cihazdır. Üzerindeki Ethernet portu, USB portu, RS232 ve RS485 seri haberleşme portları ile diğer cihazlarla iletişim kurulabilir. PLC içerisindeki merkezî işlem birimi başka bir donanıma gerek kalmadan tek başına çalışabilir. 24V DC ile beslenmesi gerekmektedir.

Cihazda kullanılan tork sensörünün görevi, karıştırıcı motorun döndürdüğü milde oluşan döndürme momentinin tespit edilmesidir.



Şekil 4.4. PLC Modülünün Giriş - Çıkış Portları ve Soket Yapısı

Tork sensörlerinin endüstrinin tüm alanlarında geniş bir kullanım alanı vardır. Otomotiv (direksiyon, motor), otomasyon robotları, delme ve vidalama sistemleri, tekstil makineleri, test cihazları, pompalar, konveyör sistemleri, ev aletlerinde kullanılmaktadır.



Şekil 4.5. Tork Sensörü Şematik Gösterimi

Proje için seçilen sensörün özellikleri şunlardır:

Ölçüm aralığı : 0 ± 175 Nm

Toplam boy : 179 mm

Sensör boyu : 70 mm

Şaft boyu : 54.5 mm

Şaft çapı : 19 mm

Ağırlık : 900 gr

Çalışma voltajı: 9 -12 V DC

Hassasiyet: 1Nm için 10.33 mV

Analog çıkış sinyali \pm ölçüm aralığı: 2.5 V \pm 2 V

Çıkış sinyali 0 Nm de (ayarlanabilir): 2.5 VDC

Çıkış direnci: 50 Ω

Çalışma sıcaklığı: 0 - 70 °C

Çalışma devir \leq 3000 maksimum 5000 d/dak

Maksimum tork: 150 % anma tork değerinin

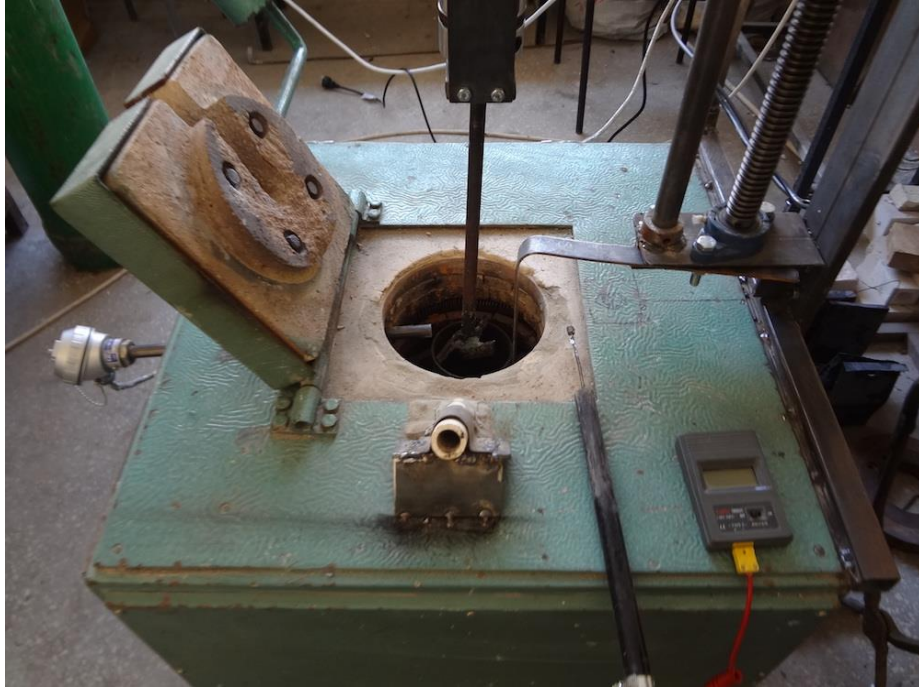
Sınır tork değeri: 300 % anma tork değerinin

Şaft malzemesi: Ni Cr Ni 14

4.2. Karıştırma Mekanizmalı Fırın İmalatı

Fırın imalatında karıştırıcı milin fırın kapağı kapalı iken dönebilmesi için kapağa 6 cm genişliğinde kanal açılmıştır. Böylece hem dönme hareketi hem de buradan matris ilavesi yapılabilmesi sağlanmıştır.

Şekil 4.6’da görüldüğü gibi aksenal hareket için vidalı mil kullanılmıştır. 30 mm çapındaki milin her iki ucuna rulman konularak yataklama yapılmıştır. Vidalı mil en üstten döndürülerek karıştırıcı mekanizmanın düşey hareket etmesi sağlanmıştır. Isıtıcı haznenin üst tarafında, içinde porselen boru olan bir kanal açılarak karışıma takviye malzemesi ilavesinin yapılması sağlanmıştır.



Şekil 4.6. Ergitme Fırınının Montajlı Görünümü

Karıştırıcının kanat ve mil mekanizması tasarıma uygun olarak çelik malzemedan kesilerek ve kaynaklanarak imal edilmiştir. Yapılan testlerde kanat yapısının malzemenin pota içerisinde karışmasını sağladığı görülmüştür. Ayrıca dönme hareketi esnasında kanatçıkların ergimiş alüminyumun yarı katı faz bölgesinde ölçümü yapılabilen bir tork yarattığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.7. a)Karıştırıcı Mil ve Kanatları b)Karıştırma Potası

Fırının yan yüzeyine matkapla 18 mm çapında delik delinerek K tipi sıcaklık ölçerin fırın üst bölgesinden fırın sıcaklığını ölçmesi sağlanmıştır. Fırın içindeki cam yünü ve ateş tuğlalarının da içi delinerek seramik boru geçirilmiştir. Böylece hem sıcaklık ölçer hareketi için bir kanal oluşturulmuş hem de fırındaki sıcaklığın dış yüzeye zarar vermesi engellenmiştir.



Şekil 4.8. Termokupl Montajlı Görünümü

4.3. Elektrik Tesisatının Hazırlanması

PLC'nin Analog girişinin 0–10 V DC veya 0–20 mA olacağını ayarı SB12 adresindeki operanttan ayarlanmaktadır. Açılış değeri 0 olursa 0-10VDC, 1 olursa 0–20 mA giriş değeri seçilmiş olur. Tork sensöründen analog voltaj çıkışı alınacağından bu adres Şekil 4.9'da görüldüğü gibi 0 ayarlanmıştır.

Proje yönetimi		Ladder Programı		Operandlar		Simülasyon	
Op	Açıklama	Operan	Adres	Etiket	Açılış		
MI	Memory Integer	SB	0	Enerjilenme biti			
MF	Memory float	SB	1	Daima 1			
QP	PLC Output	SB	2	100ms puls			
IP	PLC Input	SB	3	500ms puls			
MB	Memory bit	SB	4	1000ms puls			
SB	Sistem Bit	SB	5	1ms puls			
TM	Timer	SB	6	10ms puls			
TV	Timer value	SB	7				
SI	Sistem integer	SB	8				
CN	Counter	SB	9				
M	Memory Word	SB	10	WMI Server bağlantı durumu			
		SB	11				
		SB	12	0-10VDC :0 / 0-20mA:1	0		
		SB	13				

Şekil 4.9. PLC Programında Sistem Bit Operantlarının Seçimi

PLC'nin analog girişinin sistemde hangi operandın hangi adresinden alınacağı bilgisi Şekil 4.11'de görüldüğü gibi SI adresinden ayarlanmaktadır. Burada SI(1) adresinden analog girişlerin okunacağı ve bunun da 0–10 volt için 0 ile 4095 arası değer alacağı görülmektedir (12bit).

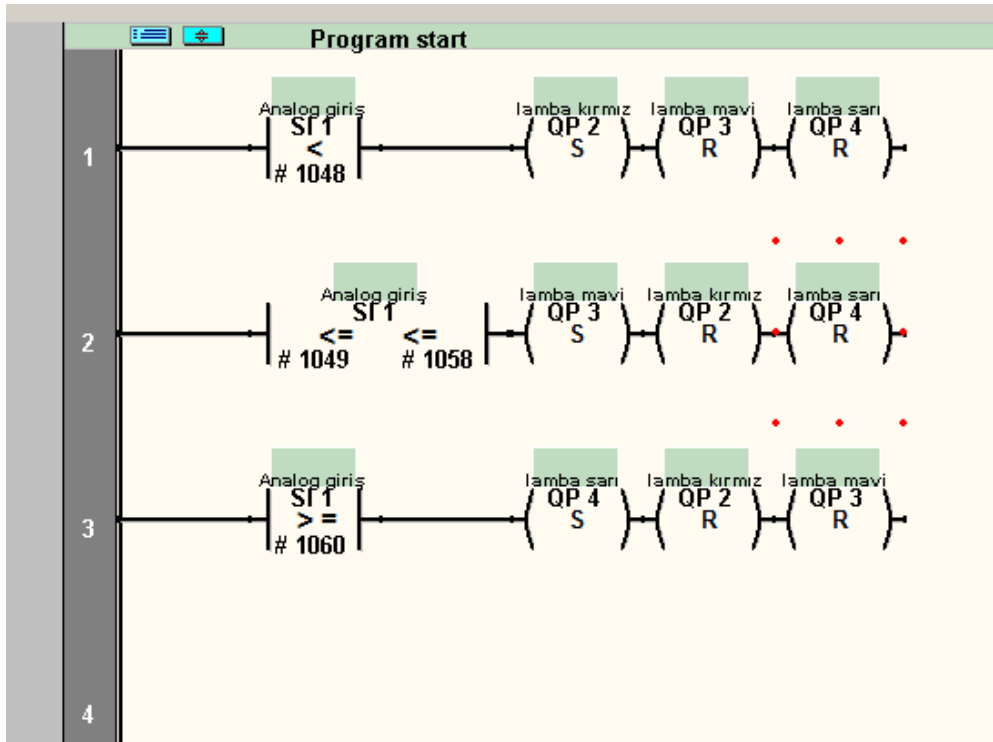
Proje yönetimi		Ladder Programı		Operandlar		Simülasyon	
Op	Açıklama	Operan	Adres	Etiket	Açılış		
MI	Memory Integer	SI	0	Analog çıkış (0-20mA) 0..16383			
MF	Memory float	SI	1	Analog giriş (0-20mA / 0-10VDC) 0..4095	1024		
QP	PLC Output	SI	2				
IP	PLC Input	SI	3				
MB	Memory bit	SI	4				
SB	Sistem Bit	SI	5	RTC ->Saat			
TM	Timer	SI	6	RTC ->Dakika			
TV	Timer value	SI	7	RTC ->Saniye			
SI	Sistem integer	SI	8	RTC ->Gün			
CN	Counter	SI	9	RTC ->Ay			
M	Memory Word	SI	10	RTC ->Yıl			
		SI	11	RTC ->Haftanın günü			
		SI	12				

Şekil 4.10. PLC Programında Giriş Bilgisi Saklama Operantı Seçimi

PLC üzerindeki analog giriş portundan veri girişi yapılabilir. Giriş 0-10VDC aralığındadır. Analog giriş değeri PLC içerisinde SI(1) adresinden lineer olarak 0-4095 arasında okunur. 4096 sayısal değeri 12bit çözünürlükten gelmektedir. Her bir değer

için 2.44 mV değer ölçümü yapmaktadır. $2.44 \times 4096 = 10.000$ mV PLC cihazının analog ölçüm aralığına denk gelmektedir. 2500 mV için 1024 sayısal değerini PLC'nin döndürdüğü tespit edilir.

Burada SI(1) adresinde saklanan, analog girişten gelen değer sorguya sokulur. Eğer 1048 sayısal değerinden küçükse QP2 çıkışı set edilerek kırmızı kontrol lambası yanar. Kırmızı lamba ile ölçülen tork değerinden karışımın sıvı faz bölgesinde olduğu tespit edilmiş olur.



Şekil 4.11. PLC Lader Programlama Dili İle Yazılmış Sorgulama Programı

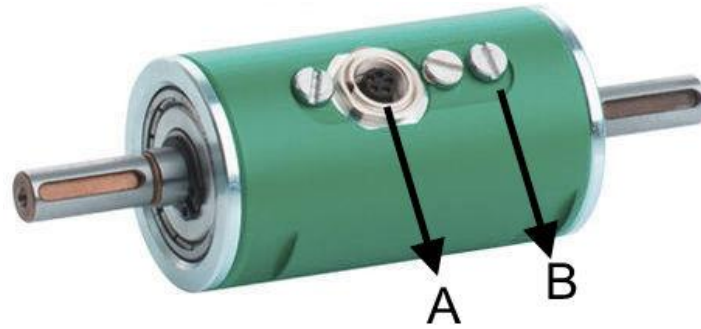
Saklanan değer 1049 ile 1058 arası ise QP3 çıkışını set ederek aktif yapar. PLC röle çıkışlı olduğundan kontaklar kapanarak QP3 çıkışına bağlı olan mavi lamba yanar. QP2 ve QP4 çıkışları reset edilerek kapatılır. Mavi lamba tork değerinden yarı katı faz durumuna ulaşıldığını belirterek takviye ilavesinin gerçekleşmesini sağlar.



Şekil 4.12. PLC'nin Analog Giriş Ve QP Çıkış Kontaklarının Bağlantısı.

Tork sensörü elektrik bağlantı soketinde 5 pin vardır. Sensörün elektrik beslemesi bir 12 voltluk adaptör ile yapılmıştır. PLC'nin değerlendireceği elektrik sinyali 2 ve 3 nolu pinlerden gelen sinyaldir. Bu pinler PLC'nin analog girişine bağlanarak tork sensöründen gelen sinyal, mantıksal sorguya sokulmuştur. Sensördeki pinler ve görevi şu şekildedir:

- 1 no.lu pin: Besleme voltajı (+) renk (beyaz)
- 2 no.lu pin: Sinyal çıkışı (+) renk (kahverengi)
- 3 no.lu pin: Besleme şasi (-) renk (siyah)
- 4 no.lu pin: boş
- 5 no.lu pin: Referans voltajı V_{ref} (2.5 V) renk (gri)



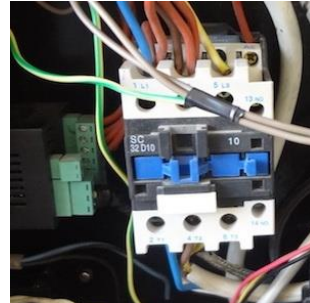
Şekil 4.13. Tork Sensörü: A-Elektrik Bağlantı Soketi, B-Sıfır Tork Değeri Ayar Vidası

Tork sensörünün dikey montajı için iki adet kaplin kullanılmıştır. Kaplinler birbirine geçme oldukları için kaplin ve sensör bir kasa içinde montajlanıp alttan rulmanla yataklanmıştır. Böylece düşey yönde açılıp düşmesinin önüne geçilmiştir. Ayrıca kaplin ve sensörün montajlı hali uzun (40 cm) olduğu için dönerken yalpalama yapmaması sağlanmıştır.

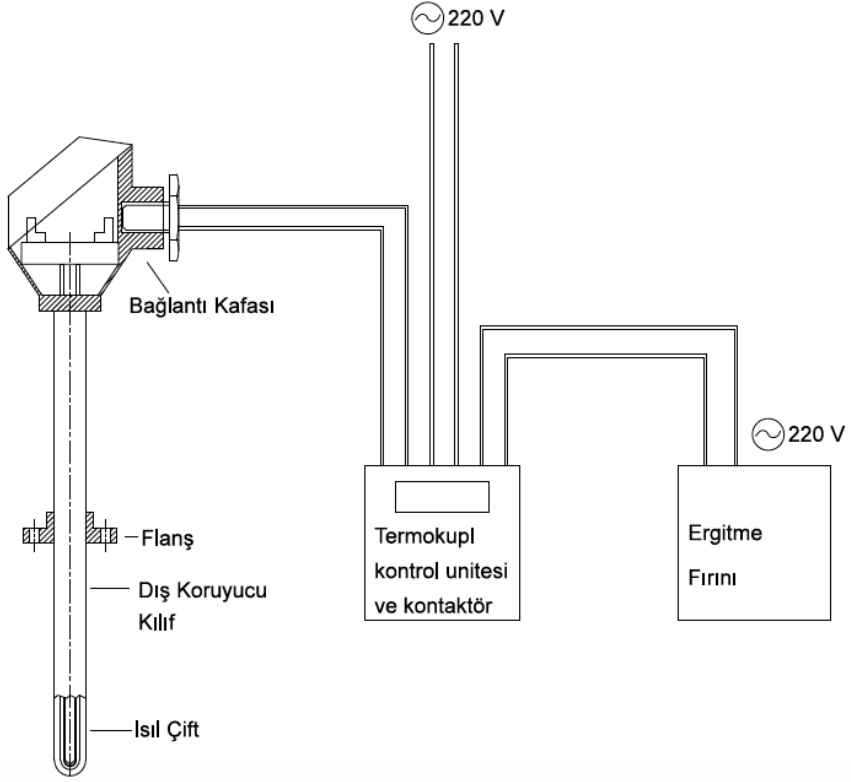


Şekil 4.14. Tork Sensörü Montajlı Görünümü

Termokupl dış koruyucu kılıfı, bağlantı parçaları, eleman telleri, yalıtım, gaz geçirmez ikinci boruları, klemens, bağlantı kafası, tutturma borusu ve çeşitli aksesuarları ile bir bütündür. ETC 4420 model bir kontrol ünitesi tarafından kontrol edilen sıcaklık ölçerimiz test ayar değeri olan 700 °C gelince kontaktörü açan kontrol akımını keserek kontaklarının açılmasını sağlamaktadır. Böylece fırın ısıtıcı tellerine giden akım kesilerek fırının kapanması sağlanmaktadır.



Şekil 4.15. Sıcaklık Ölçer Kontrol Ünitesi ve Kontaktör Genel Görünümü



Şekil 4.16. Termokupl Elektrik Bağlantı Devresi

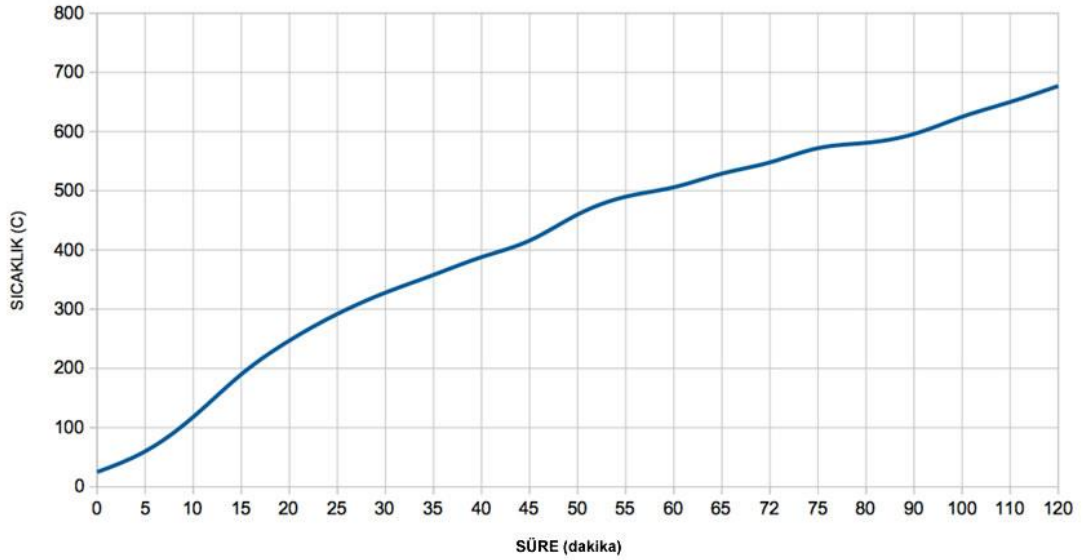
BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Cihazın Sıcaklık-Zaman Karakteristiğinin Çıkartılması

Bu cihazla yapılan parçacık takviyeli kompozit metal üretimi yöntemi ile ilgili deneyler aşağıda sıralanmıştır.

İlk test olarak fırın bölmesinin sıcaklık karakteristik eğrisinin çıkarılması işlemi yapılmıştır. Şekil 5.1’de görüldüğü üzere fırın bölmeleri 700°C sıcaklığa 2 saatte gelmektedir. Ölçümlerde fırın üzerindeki sıcaklık ölçer ve kontrol ünitesi kullanılmıştır.



Şekil 5.1. Ergitme Fırını Sıcaklık - Zaman Eğrisi

5.2. Kompozit Malzeme Karıştırma Denemeleri

Bu düzenek, homojen karıştırma işlemlerinin yapılabilirdiği ve diğere sıvı yöntemlerle karıştırma sırasında ortaya çıkan sorunların bertaraf edilmesini sağlayan yarı katı sıcaklık aralığının karıştırma sırasında sabit tutulabilmesi amacı ile tasarlanmıştır. Herhangi bir sıcaklık ölçere bağılı kalmadan karıştırma işlemi devam ederken tork sensöründen alınan verilerle matris malzemesi ve takviye malzemesi ilave zamanlarına ve miktarlarına otomatik olarak karar veren bir sensör devresi tasarlanmıştır. Tasarlanan bu mekanizmanın ne ölçüde başarılı olacağını tespit için bir deney planlanmıştır. Bu deneyde alüminyum matris içerisine 6 farklı takviye oranında SiCp tozları katılarak bu karışımların yarı katı haldeki tork değerleri saptanmıştır. Takviye ve matris malzemesi ilavesi yarı katı hal sağlandığı durumda yapılabilmesi için renkli ışıklarla ikaz veren bu mekanizma ile yapılan işlemler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- 1- Takviye tozları ergitme fırını içinde ön ısıtmaya tabi tutularak işlem sıcaklığına getirilir.
- 2- Matris malzemesi ergime sıcaklığının 70°C altındaki 550°C ön ısıtma sıcaklığına getirilir.
- 3- Parçacık takviyeli kompozit metal üretimi yapılacak pota, sıcaklığı 700 °C olan otomatik karıştırıcı fırın içine yerleştirilir.
- 4- Oranları Çizelge 5.1 de verilen kompozit malzeme karışımlarından 2 nolu karışım potaya konmadan önce karıştırıcı boşa çalıştırılarak tork değeri ölçülür.
- 5- 2 nolu karışım pota içine konularak ergimesi beklenir. Sıvı haldeki malzeme karıştırıcı ile karıştırılarak tork değeri belirlenir.
- 6- İçerisine her seferinde %10 oranında Al ilave edilerek tork değerindeki değişim tespit edilir.
- 7- Düşük tork değerlerinde kırmızı renkli ikaz lambası yanarak yarı katı hale gelmediğini belirtmektedir. Yarı katı hal sağlandığında ise mavi renkli ikaz ışığı yanarak malzemenin yarı katı halde olduğunu bildirir.
- 8- Mavi ikaz ışığı yandığında takviye malzemeleri ilave edilir. Karıştırma işlemi devam ederken yüksek sıcaklıkta (700°C) sabit tutulan fırın içindeki potada sıcaklık yükselir ve tork değerleri düşmeye başlar.

- 9- Tork değeri yarı katı halin sağlandığı değerin altına düşünce matris malzemesi ilave edilmesi için mavi ikaz ışığı yanar ve belirli oranda matris malzemesi pota içine ilave edilir.

Bütün bu işlemler tüm malzeme bitinceye kadar tekrarlanarak devam eder.

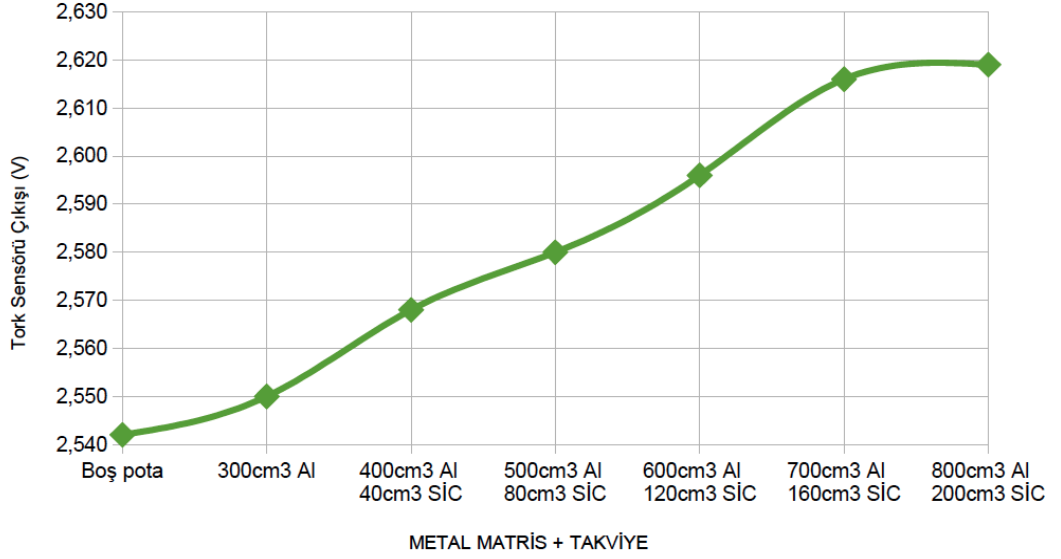


Şekil 5.2. Tork Değerine Göre PLC Kontrollü Çalışan İkaz Lambaları

Çizelge 5.1. Yarı Katı Faz Durumu Tespit Deney Sonuçları

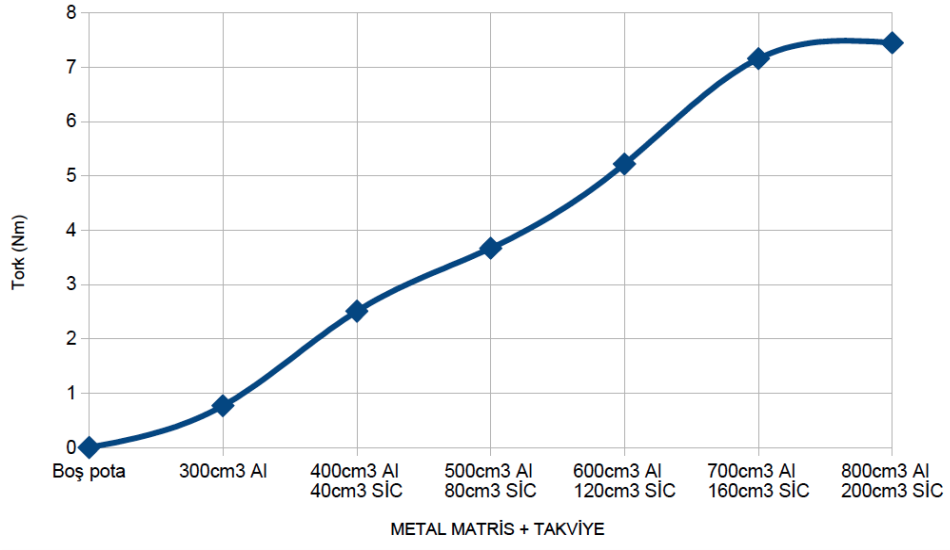
Deney No	Karışım (cm ³)	Sensör Çıkışı (V)	PLC Çıkışı (0-4095)	Tork Değeri (Nm)
1	Boş pota	2,542	1042	0
2	300cm ³ Al	2,550	1045	0,77
3	400cm ³ Al+40cm ³ SiC	2,568	1052	2,51
4	500cm ³ Al+80cm ³ SiC	2,580	1057	3,67
5	600cm ³ Al+120cm ³ SiC	2,596	1063	5,22
6	700cm ³ Al+160cm ³ SiC	2,616	1067	7,16
7	800cm ³ Al+200cm ³ SiC	2,619	1069	7,45

Takviye malzemesi katıldıktan sonra karıştırıcı vasıtası ile malzeme homojen olarak karışmaya kadar karıştırma işlemi yapılmıştır. Karıştırma işlemine ek olarak karıştırıcı manuel olarak yukarı aşağı hareket ettirilebilmektedir. Homojen karışım sağlandığında pota içindeki kompozit karışım dışarı alınıp kalıplara dökülerek parçacık takviyeli kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.3. Farklı oranlarda takviyeli kompozitlerin yarı katı hal çıkış voltajları

Tork sensörünün katalog değerlerine göre her 1Nm tork artış değeri için çıkış voltajının 10.33mv artış gösterdiği belirlenmiştir. Bu orantıdan %20 SiC ilavesi yapılmış karışımın verdiği voltajdan tork değerleri hesaplanıp Şekil 5.4'teki grafik oluşturulmuştur.



Şekil 5.4. Farklı oranlarda takviyeli kompozitlerin yarı katı hal tork değerleri

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, parçacık takviyeli metal esaslı kompozitlerin üretimi için otomatik kontrollü bir karıştırma mekanizması olan fırın tasarımı yapılmış ve imal edilmiştir.

Tasarımı yapılan mekanizma sadece alüminyum için değil düşük ergime sıcaklığı olan tüm metallerden hazırlanacak kompozit malzemeler için de uygun bir mekanizmadır.

Ergitme potası içinde dönen karıştırıcı ucun karıştırma işlemini yarı katı halde yapması metal matris ve ilave edilen takviye malzemesinin homojen karışmasını sağlamıştır.

Bu çalışmanın başarımlarından biri, herhangi bir ıslatma arttırıcı madde eklenmeden, yarı katı haldeki alüminyum matris içine SiC taneciklerinin tam olarak dağılması ve alüminyum tarafından ıslatılabilmesinin sağlanabilmesidir.

Karıştırma işlemleri sonucunda takviyenin topaklanması, dibe çökmesi, ayrışması gibi problemler bertaraf edilmiştir.

Yarı katı fazın tespiti için yapılan ölçümlerde tork sensörünün verileri başarılı bir şekilde PLC tarafından alınıp analiz edilmiş ve istenilen faz bölgeleri tespit edilmiştir. PLC'nin hesapladığı değerlere göre kontrol ışıklarının yanması sağlanmıştır. Böylece cihaz kullanıcısının parçacık ilavesini doğru zamanda yapması sağlanmıştır. Tork kontrollü kompozit hazırlama mekanizması %20 SiC takviyeli alüminyum kompozitlerin hazırlanmasında başarı ile kullanılmıştır.

KAYNAKLAR

- A.A. Adebisi, M.A. Maleque and M.M. Rahman (2011). Metal Matrix Composite Brake Rotors: Historical Development And Product Life Cycle Analysis *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*. 4, 471-480,
- A. Ourdjini, K.C. Chew, B.T. Khoo (2001). Settling of Silicon Carbide Particles In Cast Metal Matrix Composite. *J. Mater. Process. Technol.* 116,72-76.
- Akbulut, H., Durman, M., Yılmaz F. (1993).“*SiC Seramik Partikül Takviyeli Alüminyum Silisyum Metal Esaslı MMK’lerin Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi*”, 7.Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi. Ankara.
- Ataş, E., Gür.C.H., (2000), Determination of Properties of SiC reinforced Aluminium Metal Matrix Composites By Ultrasonic Techniques. www.ndt.net
- Bayar, H., Subaşı, M., Karataş, Ç. (2015). *SiC Takviyeli Alüminyum Alaşım Matrisli Kompozit Malzemenin Yüksek Basıncılı Kalıp Dökümü ve Mekanik Özellikleri*. Gazi Üniversitesi, GU J Sci Part C 3(4), 603-612.
- Bedir, F. (2006). *Alüminyum Kompozitlerin Üretimi, Karakteristik Özellikleri ve Endüstriyel Uygulamaları*. Mühendis ve Makina 47(554).
- Contreras, A., Bedolla, E. , Perez, R. (2004). *Interfacial phenomena in wettability of TiC by Al–Mg alloys*. *Acta Materialia* ,52 985-994.
- Çanakçı, A. (2006). *AA2024 Matrisli B4C Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Vorteks Yöntemiyle Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi*. Karadeniz Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon.
- Engin Nas, E., Gökkaya, H., Sur, G. (2013). *Sıcak Presleme Yöntemi Kullanılarak Kompozit Malzemelerin Üretilebilirliği Üzerine Bir Derleme*. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi* 3(2), 56-65. Zonguldak.
- Görener, A. (2011). *Ahp ve Topsis Yaklaşımlarıyla Metal Matrisli Kompozit İmalat Makinelerinin Seçimi*. Mühendis ve Makina 52(613), 59-71. İstanbul.
- Güldaş, A. (1998). *Aşınma Deney Aparatının Tasarımı, Üretimi ve Metal Matrisli Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi*, Gazi Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- Haga, T., Suziki, S. (2002), Casting of aluminium alloy ingots for thixoforming using a cooling slope, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 130-131, 581–586.

Hasmin, J., Looney, L., Hashmi, M.S.J. (1999). Metal Matrix Composites: Production By The Stir Casting Method. *Journal Of Material Processing Technology* 1-7, 92-93. Dublin.

Hashim, J., Looney,L., Hashmi, M.S.J. (2002). Particle distribution in cast metal matrix composites-Part I. *Journal of Materials Processing Technology* 123, 251-257.

Jiang, J., Wang, Y. (2015). Microstructure and mechanical properties of the semisolid slurries and rheoformed component of nano-sized SiC/7075 aluminum matrix composite prepared by ultrasonic-assisted semisolid stirring. *Materials Science & Engineering*. A639, 350–358.

Kalaycıoğlu, A.S. (2010). *SiC Tane Katkılı Alüminyum Kompozitlerin Toz Metalurjisi ile Üretimi ve Karakterizasyonu*. Dokuz Eylül Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Karabulut,H., Çıtak,R. (2011). *Al Matrisli ve SiC Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Farklı Mekanik Alaşım Sürelerinde Üretilmesi ve Karakterize Edilmesi*. 6.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu. Elazığ.

Kezkiç, M. (2011). *Türkdöküm Dergisi* Sayı 18, sayfa 82-86.

Kılıçkap, E., Özben, T., Çakır, O. (2006). *Al-SiC MMK'lerde Partikül Takviye Oranının Mekanik Özelliklere ve İşlenebilirliğine Etkisinin Araştırılması*. Pamukkale Üniversitesi / Mühendislik Bilimleri Dergisi. 12(3), 313-320.

Kıyasöz, A., Altuğ, K., Ahmet Karaaslan, G. (2014). *Metal Matris Kompozitlerin Vakum İnfiltasyonla Dereceli Hassas Döküm Kalıplarında Üretimi*. TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, Ankara.

Koçer, T. (2002). *Basınçlı İnfiltasyon Yöntemiyle Üretilen Al₂O₃ ve SiC Partikül Takviyeli Al-Mg Metal Matrisli Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi*. İstanbul Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.

Kurşun,T. (2011). *Alüminyum Esaslı SiC Takviyeli Metal Matrisli Kompozitlerin Birleştirilmesinde Al₄C₃ Oluşumunun Önlenmesi ve Sinerjik Kontrollü Darbeli Mig Kaynak Yöntemi*. Selçuk Üniversitesi. Teknik Online Dergi 10, Konya.

Kurşuncu, B. (1999). *SiC Partikül Takviyeli Al-Si Esaslı Metal Matrisli Kompozit Malzeme Üretimi*, İstanbul Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Nadibo, (1993). *Metal Matrix Composites – Sector Study*, The North American Defense Industrial Base Organization, Kanada.

Naher,S., Brabazon,D., Looney,L. (2004). *Development and assessment of a new quick quench stir caster design for the production of metal matrix composites*. *Journal of Material Processing Technology*. 166, 430-439.

Nazik, C. (2013). *Alüminyum Matrisli B₄C Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*. Selçuk Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya.

Nicoara, M., R. L. Cucuruz, and I. Cartis. "Particle-reinforced composites." *Metall* 54.1-2 (2000): 30-36.

O'Donnell, G., Looney, L. (2001). *Production of Aluminium Matrix Composite Components Using Conventional PM Technology*. *Materials Science and Engineering A* 303, 292-301.

Özkaya, M. (2016). *Savurma Döküm Yöntemi ile M7C3 Karbür Takviyeli Kültivatör Uç Demiri Üretimi*. Namık Kemal Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü. Tekirdağ.

Pul, M. (2010). *Al Matrisli MgO Takviyeli Kompozitlerin İnfiltrasyon Yöntemi ile Üretimi ve İşlenebilirliğinin Değerlendirilmesi*. Gazi Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.

Soy, U. (2011). *Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri*, *Metal Dünyası Dergisi*. Sakarya Üniversitesi "http://www.metaldunyasi.com.tr/tr/arsiv/2011/11/metal-matriks-kompozitlerin-uretim-yontemleri.html"

Saklakoğlu, N., Birol, Y., Kasman, Ş. (2008), Microstructural evolution of etial 160 aluminium alloy feedstock produced by cooling slope casting, *Solid State Phenomena*, vols. 141-143, 575-580.

Soy, U. (2009). *SiC Ve B₄C Takviyeli Metal Matrisli Kompozit Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*. Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü. Sakarya.

Tekmen, Ç. (2006). *Metal Matrisli Kompozitlerin Sıkıştırılmalı Döküm Yöntemiyle Üretimi*. Dokuz Eylül Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Thandalam, S.T., Ramanathan,S., Sundarrajan, S. (2015). *Synthesis, microstructural and mechanical properties of ex situ zircon particles (ZrSiO₄) Reinforced Metal Matrix Composites (MMCs)*. *J. Mater Res Technol.* 4, 333–347.

Toptan, F. (2011). *Alüminyum Matrisli B₄C Partikül Takviyeli Aşınma Direnci Yüksek Kompozit Malzeme Üretimi*. Doktora Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.

Toptan, F., Kumdalı, F., Kerti, I. (2006). *Al-B₄C Kompozitlerinin Fren Diski Olarak Kullanılabilirliğine Genel Bir Bakış*. Yıldız Teknik Üniversitesi https://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi145/d145_1118.pdf

Türker, E. (2005). *Alüminyum ve Alaşımlarının Dökümünde Rafinasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması*. İstanbul Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.

Uğur, S. (2012). *Etial – 61 AlMgSi Alaşımının Yarı – Katı Metal Döküm Tekniği İle Şekillendirilmesi*. Gazi Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Uygur, İ., Saruhan, H. (2004). *Alüminyum Esaslı Metal Matris kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri*. SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 8(1).

Ürkmez, N. (2004). *AlMg3/SiCp kompozitlerinin üretimi ve mekanik özelliklerdeki değişimlerin incelenmesi*. Yıldız Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.

Yaşar, A. (2012). *Mekanik Metalürji Yöntemi ile Metal Esaslı Kompozit Malzeme Üretimi*. Gazi Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Vaucher, S., Beffort, O., (2000). Bonding and interface formation in Metal Matrix Composites, vol. 9, EMPA Swiss federal Laboratories for materials Testing and Research Thun, Switzerland.

Yılmaz, H. (2007). *Alüminyum Esaslı Sicp Partikül Takviyeli Metal Matrisli Kompozit Malzemeler*. Erciyes Üniversitesi / Sivil Havacılık Yüksekokulu, Kayseri.

Wu, Y. (2011). *Fabrication of metal matrix composite by semi-solid powder processing*. Mechanical Engineering. Iowa State University. Iowa.

ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Kırklareli'nin Pehlivanköy ilçesinde doğdu. İlk ve orta eğitimini Pehlivanköy, lise eğitimini Kırklareli'nde tamamladı. 1999 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümünden Otomotiv Öğretmeni unvanıyla mezun oldu. Aynı yılın Ekim ayında Edirne Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesine Motorlu Araçlar Teknolojisi öğretmeni olarak atandı. 2013 yılında Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Uygulamalı Bilimler Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı.