T.C
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SİVİL HAVACILIK ANABİLİM DALI

ALÜMİNYUM ESASLI SERAMİK TAKVİYELİ MEKANİK ALAŞIMLAMA YÖNTEMİYLE ÜRETİLMİŞ KOMPOZİT MALZEMENİN MİKRO YAPISININ İNCELENMESİ

Hazırlayan
Sezer ÇETİN

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Veysel ERTURUN

Yüksek Lisans Tezi

Mayıs 2018
KAYSERİ

T.C
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SİVİL HAVACILIK ANABİLİM DALI

ALÜMİNYUM ESASLI SERAMİK TAKVİYELİ MEKANİK ALAŞIMLAMA YÖNTEMİYLE ÜRETİLMİŞ KOMPOZİT MALZEMENİN MİKRO YAPISININ İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Sezer ÇETİN

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Veysel ERTURUN

Bu tez çalışması Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FYL-2017-7277 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Mayıs 2018
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Adı Soyadı: Sezer ÇETİN

İmza: 

YÖNERGEYE UYGUNLUK

Alüminyum esaslı seramik takviyeli mekanik alaşımlama yöntemiyle üretilmiş kompozit malzemenin mikro yapısının incelenmesi adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesine uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Sezer ÇETİN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Veysel ERTURUN

Sivil Havacılık Anabilim Dalı Başkanı

Prof. Dr. İlker YILMAZ

Dr. Öğr. Üyesi Veysel ERTURUN danışmanlığında **Sezer ÇETİN** tarafından hazırlanan "**Alüminyum Esaslı Seramik Takviyeli Mekanik Alaşımlama Yöntemiyle Üretilmiş Kompozit Malzemenin Mikro Yapısının İncelenmesi** " adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Sivil Havacılık Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

30/05/2018

JÜRİ:

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Veysel ERTURUN

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Beray ÜZER

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Adem KARCI

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 12/06/2018 tarih ve 2018/25-10 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

12../06../2018

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Lisans ve lisansüstü eğitim sürecinde yardımlarını benden esirgemeyen, araştırma ve sonrasında ürün ortaya koyma konusundaki çalışma azmimi görüp bana bu konuda fikirler sunan, bu güne kadar elde ettiği bilgi birikimini her fırsatta çalışmalarımda kullanmam için benimle paylaşan tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Veysel ERTURUN'a, olaylara farklı akış açısıyla beni sürekli aydınlatan, lisansüstü eğitimim süresince en büyük destekçilerimden olan ve istikbali göklerde aramak gerektiğinin bilincinde olan Sayın Arş. Gör. Oğuzhan ŞAHİN'e, bu güne kadar benden yardımlarını esirgemeyen bütün hocalarıma ve bu tezi FYL-2017-7277 kodlu proje ile destekleyen Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi'ne teşekkür ederim.

Ayrıca; bu günlerimin gerçek mimarları olan, bana bu noktaya gelme imkanını sunan aileme ve her daim destekçim olan eşim Öğrt. Hikmet ÇETİN'e vermiş oldukları desteklerinden ve göstermiş oldukları anlayıştan dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Sezer ÇETİN

Kayseri, Mayıs 2018

ALÜMİNYUM ESASLI SERAMİK TAKVİYELİ MEKANİK ALAŞIMLAMA YÖNTEMİYLE ELDE EDİLMİŞ KOMPOZİT MALZEMENİN MİKRO YAPISININ İNCELENMESİ

Sezer ÇETİN

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Mayıs 2018
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Veysel ERTURUN

ÖZET

Bu tez çalışmasında toz halinde bulunan alüminyum, çinko, magnezyum, bakır ve silisyum karbür tozları belirli oranlarda ve farklı sürelerde karıştırıcısı içerisinde karıştırılarak mekanik alaşımlama (MA) yöntemiyle alaşım oluşturulmuştur. Aynı zamanda karışım içerisindeki çinko oranını da her bir karışım için farklı oranlarda tutarak mikro yapıya olan etkisi araştırılmıştır. Oluşan farklı fazların incelenmesi için X-ışını kırınım (XRD) analizi yapılmıştır. Elde edilen farklı alaşımlama sürelerine sahip alaşımların mikro yapılarının analizi taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve optik mikroskop ile incelenmiştir.

MA yöntemiyle elde edilen tozların teker teker kalıp içerisine konulup koruyucu gaz olan argon ortamında sinterlenerek toz numunelerinden billetler elde edilmiştir. Elde edilen billetlerin SEM görüntüleri alınarak mikro yapıları incelenmiş, Vickers mikrosertlik değerlerine bakılmıştır. Son olarak billetler parlatılıp dağlandıktan sonra optik mikroskopta incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Toz metalürjisi, mekanik alaşımlama, bilyeli öğütme, metal matrisli kompozit, mikro yapı, sinterleme.

INVESTIGATION OF THE MICROSTRUCTURE OF ALUMINUM BASED CERAMIC REINFORCED COMPOSITE MATERIAL OBTAINED BY MECHANICAL ALLOYING METHOD

Sezer ÇETİN

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
M.Sc. Thesis, November 2017
Thesis Supervisor: Dr. Veysel ERTURUN

ABSTRACT

In this thesis, aluminum, zinc, magnesium, copper and silicon carbide powders in powder form were alloyed by mechanical alloying (MA) by mixing at certain ratios and for different periods. At the same time, the zinc effect on the microstructure was investigated by keeping the ratio of zinc in the mixture at different ratios for each mixture. X-ray diffraction (XRD) analysis was carried out to investigate the different phases situation. Analysis of the microstructures of alloys with different alloying times was investigated by scanning electron microscopy (SEM) and optical microscope.

The powders obtained by the MA method were put into molds one by one and sintered in the argon atmosphere, which is a protective gas, to obtain billets from the powder samples. Microstructures of the obtained billets were examined by SEM images and Vickers microhardness values were examined. Finally, the billets were polished and then this billets was examined under an optical microscope.

Keywords: Powder metallurgy, mechanical alloying, ball milling, metal matrix composite, microstructure, sintering.

İÇİNDEKİLER

ALÜMİNYUM ESASLI SERAMİK TAKVİYELİ MEKANİK ALAŞIMLAMA YÖNTEMİYLE ELDE EDİLMİŞ KOMPOZİT MALZEMENİN MİKRO YAPISININ İNCELENMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK i

YÖNERGEYE UYGUNLUK ii

KABUL VE ONAY iii

TEŞEKKÜR iv

ÖZET v

ABSTRACT vi

İÇİNDEKİLER vii

KISALTMALAR VE SİMGELER ix

TABLOLAR LİSTESİ x

ŞEKİLLER LİSTESİ xi

1.BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1. Literatür Çalışması 3

2. BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Çalışmalar Esnasında Kullanılan Ekipmanlar ve Özellikleri 30

2.2. Kullanılan Tozların Özellikleri 33

2.3. Mekanik Alaşımlama İşlemi 34

2.4. Numunelerin İçerikleri ve Farklılıklar 34

2.5. XRD Analizi 34

2.6. Kristal Boyut Analizi 36

2.7. Sinterleme İşlemi 37

2.8. Sinterleme Sonrası Mikro Yapının İncelenmesi 38

2.9. Numunelerin Vickers Mikro Sertlik Testleri 41

2.10. Numunelerin Optik Mikroskoptaki Görüntüleri 41

3. BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

3.1. Sonuçlar 43

3.2. Öneriler 44

KAYNAKLAR 45

ÖZGEÇMİŞ 48

KISALTMALAR VE SİMGELER

Sembol	Anlamı
AMK	Alüminyum matrisli kompozit
B_4C	Bor karbür
BTO	Bilye-toz ağırlık oranı
EDX	Enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi
Fe_3O_4	Magnetit
H_2O	Saf su
HCI	Hidroklorik asit
HF	Hidrojen florür
HNO_3	Nitrik asit
İKK	İşlem kontrol katkıları
MA	Mekanik alaşımlama
MMK	Metal matrisli kompozit
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
SiC	Silisyum karbür
TM	Toz metalürjisi
XRD	X-ışını kırınım spektrometresi

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. MA işleminde kullanılan çeşitli İKK özellikleri.....22
Tablo 1.2. Sıvı faz sinterleme uygulamaları 29
Tablo 2.1. Kullanılan tozların özellikleri 33
Tablo 2.2. Toz oranları ve alaşımlama süreleri.....34
Tablo 2.3. Keller ayıracının içeriği 42

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. TM yöntem seçiminin üç ana sebebini içeren birleşim şeması 10
Şekil 1.2. Toz metalürjisi yöntemi ile ürün elde edilmesi işlem basamakları..... 12
Şekil 1.3. Mekanik alaşımlamada kullanılan tozlar 15
Şekil 1.4. Toz-bilye karışım haznesi 15
Şekil 1.5. Alaşımlama esnasında toz-bilye çarpışma evreleri..... 17
Şekil 1.6. MA işleminin şematiksel gösterimi 18
Şekil 1.7. Planetary tipi bilyeli öğütücü 24
Şekil 1.8. Spex öğütme cihazı 25
Şekil 1.9.Atritör tipi bilyeli değirmen 25
Şekil 1.10. Ticari atritör ünitesi 26
Şekil 1.11. Tek yönlü presleme işleminin şematiksel gösterimi 27
Şekil 1.12. Sinterleme aşamaları 27
Şekil 2.1. Mekanik alaşımlama cihazı..... 31
Şekil 2.2. Taramalı elektron mikroskobu 31
Şekil 2.3. X-ışınları toz difraksiyon cihazı..... 33
Şekil 2.4. MA süresi 5 saat olan karışımların XRD grafikleri 35
Şekil 2.5. MA süresi 10 saat olan karışımların XRD grafikleri 36
Şekil 2.6. Kristal Boyutun Zn miktarına ve MA süresine göre değişimi 37
Şekil 2.7. H13 çelik malzemeden yapılmış sinterleme kalıpları 38
Şekil 2.8.Al tozlarının MA süresi 5 saatte mapping görüntüleri a) %0 Zn b) %3 Zn c) %6 Zn d) %9 Zn 38
Şekil 2.9. Al tozlarının MA süresi 10 saatken mapping görüntüleri k) %0 Zn l) %3 Zn m) %6 Zn n) %9 Zn 39
Şekil 2.10. Wt. % 6 Zn içeren numunenin SEM ve Mapping görüntüleri 1) Sem görüntüsü 2) Tüm elementler 3) Al partikülü 4) Si partikülü 5) C partikülü 6)Zn partikülü 7) Mg partikülü 8) Cu partikülü 40
Şekil 2.11. Wt %Zn- vickers mikro sertlik grafiği 41

Şekil 2.12. %6 Zn oranına sahip numunelerin optik mikroskop görüntüsü a) MA süresi: 5saat b) MA süresi:10 saat.....42

GİRİŞ

Bilimsel araştırmalar insanlık tarihi boyunca insanların merakları ve istekleri doğrultusunda ilerlemiş ve günümüzde daha da yüksek bir ivme ile devam etmektedir. İlk zamanlarda insanlar malzemeleri günlük hayatlarında kullanabilecekleri şekillere getirmeye çalışmışlar ve bu süreçte de aslında kullanılacak malzemelerin özellikleriyle bizim kullanmayı düşündüğümüz alan arasında bir ilişki mutlaka olması gerektiğini görmüşlerdir. Bu yüzden malzeme özelliklerini bilmek bizim doğruya ulaşmamız için en önemli etkenlerdendir [1].

Elde etmiş olduğumuz bilgi birikimlerini daha da iyileştirmek için ise mevcut var olan bilgi birikimlerine bir yenisi daha eklenmiş ve aslında elimizdeki malzemelerin bir araya gelişlerindeki değişik yöntemlerde oluşan malzemenin özelliklerine etki etmekte ve daha süper özellikte malzemeler ortaya konulmaktadır. Geriye dönük baktığımızda maden olarak saf doğadan çıkan demir ve alaşımları için talaşlı imalat, döküm, haddeleme; polimerler için kimyasal yöntemler kullanılmaktadır [2]. Ancak günümüzde çoğu alanda hızla kullanım alanı bulan toz metalürjisi yöntemi 1800'lü yıllarda sanayi devriminin etkisiyle hızla gelişme kaydeden bir üretim tekniği olup malzeme metalürjisi adı altında gelişme göstermiştir. Toz, boyutu 1mm'den daha küçük olarak kullanım şekline bağlı olarak boyutları değişen katı parçacıklardır. Genel olarak metalik olan tozların en önemli karakteristiği yüzey alanının hacmine oranla yüksek olmasıdır [1,2].

Bu üretim tekniğinin en büyük avantajı üretim sonrası talaşlama ihtiyacını ortadan kaldıracak olan bir üretim bandı ve üretim yöntemine sahip olması, mevcut kullanıma katılmış tüm malzemelerin israf edilmeden kullanılması ve %97 oranında ürüne dönüşüm sağlanması, gözenekli parça imalatında oldukça kolay ve seri üretime imkan tanıması, ampuller için kullanılan tungsten flamanlar gibi işlenmesi zor ve maliyetli malzemelerin üretimini kolaylaştırması, boyut kontrolü bakımdan daha kontrole açık olması, üretilen malzemelerin mikro yapı açısından incelendiğinde daha homojen yapıda ve isteğe ve kullanım alanındaki istenen özelliğe bağlı olarak daha belirgin

özelliklere sahip malzemeler üretilmektedir [2]. Kullanılan tozların boyutları, saflık yüzdeleri, tanecik yapıları, köşe sayıları gibi etkenler tozların birbiri ile etkileşimini etkilemektedir. Tabi ki bu tozların üretim teknikleri de aynı şekilde farklı sonuçlar elde etmemizi sağlamaktadır. Bu kadar etkenin bir arada olması da üzerinde çalışma yapılacak konu çeşitliliğini artırmaktadır. Günümüzde kullanılan yöntemlerle silisyum karbür, alüminyum, silika, alümina, demir, renyum, titanyum, berilyum oksit, porselen, paslanmaz çelik gibi malzemeler toz haline dönüştürülerek kullanıma sunulmaktadır [3].

Dünya genelinde kullanım alanı üzerine yapılan araştırmalarda %70 oranında otomotiv sanayinde kullanılan toz metalürjisi yöntemi son zamanlarda da havacılık sektöründe parça imalatında kullanımı hızla artmaktadır [2].

Bu yöntemle yapılan üretim üzerine literatür araştırmaları incelendiğinde son zamanlarda yapılan araştırmaların çoğunda bu üretim tekniği kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmalardan bir tanesi olan; Canikci ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada AA7075'i toz halindeki yapısıyla SiC toz halinde toz metalürjisi yöntemi kullanılarak bir araya getirilip elde edilen nano kompozit ürünler elde edip bunların arasında SiC toz karıştırma miktarına bağlı olarak elde edilen numunelerin kıyaslaması yapılmış mikro yapılarını incelemişlerdir [4].

Yapılmış olan bu tez çalışmasındaki izlenen yol; daha öncesinde kullanılmamış oranlarda ve boyutlarda Al, Mg, Zn, Cu ve SiC tozlarını bir araya getirip asıl amacı mekanik alaşımlama olmayan düşük devirli bir üç eksenli karıştırıcıda karıştırılarak kompozit bir malzeme oluşup oluşturulamayacağı eğer ki oluşturulursa bu malzemeler içerisine farklı oranlarda katılan Zn'nin oluşan numunelerin mikro yapısında ve fiziksel özelliklerinde ne gibi değişimler olduğunu taramalı elektron mikroskobu, belirli formüller sonucu elde edilen değerlere bakılarak ve X-ışınları kırınım spektrometresi kullanılarak sonuçlar analiz edilecektir.

1.BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1. Literatür Çalışması

Birden fazla malzemenin birbirlerinin zayıf olan özelliklerini ortadan kaldırmak amacıyla bir araya getirilmesi sonucu oluşan mikroskobik boyutta homojen özelliğe sahip malzemeye kompozit malzeme denir. Cam elyaflı poliyester levhalar, çelik donatlı beton malzemeleri, seramik metal karışımı olan sermenetler, karbon elyaflı plastikler ve otomobil lastikleri kompozit malzemelere birer örnektir. İnsanlık tarihi boyunca insanlar hayatlarını kolaylaştırmak için malzemeler aletler üretmişlerdir. Bu aletleri üretirken kullanım amacına göre malzeme seçerek üretimler yapmışlardır [2].

Genel olarak malzemelerin her zaman daha uzun süre dayanıma sahip olması, fiziksel koşullardan daha az etkilenecek yapıya sahip olması istenmektedir. İnsanoğlu daha ilk çağlarda kırılgan malzemelerin içerisine bitkisel ve hayvansal lifler koyarak malzemelerin dezavantajı olarak görülen kırılganlık özelliklerini bertaraf ederek daha uzun süre ve daha kullanışlı malzemeler üretilmesinin önünü açmışlardır [1]. Kompozit malzeme aslında karışım anlamına gelmekle birlikte çözünen ve çözen şeklindeki bileşenlerden oluşmamaktadır ve bu bileşenler arasında atom alışverişi bulunmamaktadır ve kimyasal olarak birbirlerini etkilememektedir. Eğer ki herhangi bir etkileşim oluşursa işte o zaman alaşım olarak adlandırılmaktadır [4].

Geçmişe bakıldığında kompozit malzemelerin ilkelde olsa çok geçmişe sahip olduğunu son 300 yıl içerisinde hız kazanan bu üretim tekniklerinin aslında yılların birikimi olduğu anlaşılmaktadır. Bunlara örnek olarak kırsal kesimlerde hala kullanımı devam eden kerpiç malzemeleri gösterilebilir [7]. Günümüz kompozitlerinde kullanılan liflerle ilgili olarak bu uygulamanın daha öncesinde de kullanıldığı eski Mısır'a ait cam

liflerinden anlaşılmaktadır. M.Ö 1600'lü yıllara dayanan ince cam liflerinin imalatı bu durumu açıklamaktadır [5].

Kompozit malzemeler matris yani ana malzeme ve takviye elemanı olarak adlandırılan ana malzemeye katmak istediğimiz özelliğe sahip bir malzemeden oluşmaktadır. Bu malzeme sayesinde fiziksel anlamda birçok yönden iyileştirme oluşacak ve malzeme kullanım ömründe ve kullanım alanında iyileştirici etkiler oluşturacaktır. Bu malzemeler iki tür bileşimle bir araya getirilerek oluşturulmaktadır. Bunlardan birisi mikroskobik diğeri ise makroskobik bileşimdir [4]. Mikroskobik bileşimde mikroskobik düzeyde homojen karışımlardan oluşur. Makroskobik bileşimde ise sonradan bir araya getirilerek üstün özelliklerdeki kütleleri oluştururlar. Yapı itibariyle ise taneli lifli ve tabakalı olarak üç ayrı şekilde bütünleşme bulunmaktadır. Taneli Kompozit için en anlaşılır örneklerden birisi betondur. Farklı boyutlarda ve özelliklerdeki malzemeler bir araya gelerek bir tanecikli yapı meydana getirmektedirler. Ancak lifli ve tabakalı kompozitlerin sağladığı özelliklerdeki artış tanecikli kompozitlere göre daha yüksektir [2].

Kompozit malzemeler sahip olduğu özellikler dolayısıyla birçok avantaj ve dezavantajı da içerisinde barındırmaktadır. Avantajlarını sıralayacak olursak;

- Yüksek dayanım(mukavemet/yoğunluk oranı)
- Yüksek rijitlik
- Düşük ağırlık
- Yüksek yorulma dayanımı
- Yüksek aşınma direnci
- Yüksek korozyon direnci
- İstenen yönde ısıl ve termal özellikler
- Estetik görünüm
- Düşük termal genleşme katsayısı
- Yüksek dielektrik direnci
- Kalıplama şekillendirme kolaylığı
- Renk çeşitliliği
- Tasarım çeşitliliği
- Şeffaflık özelliği

- Kullanılan polyester özelliğine göre yanmazlık özelliği
- Tamir edilebilirlik
- Montaj kolaylığı ve sızdırmazlık [2, 4, 5]

Bu avantajları sayesinde gün geçtikçe kullanımı artan kompozit malzemeler dezavantajları yüzünden de bazı sektörel faaliyetlerde geri planda tutulup yerini daha başka malzemelere bırakmıştır. Dezavantajlarını sıralayacak olursak;

- Daha yüksek maliyet
- İşleme güçlüğü
- Geri dönüşümün genellikle olmayışı
- Kırılma uzamasının az olması

Bu kompozit malzemelerin özelliklerini belirleyen unsurları belirtecek olursak şu şekildedir;

- Takviye elemanının özelikleri
- Takviye-matris malzeme katılım oranı
- Takviye elemanının geometrik yapısı ve matris içerisindeki dağılımı
- Matris malzemenin özellikleri
- Fiber-Matris ara yüzeyindeki yapışma kabiliyeti[1, 2]

Yukarıdaki bileşenlerin etkisine bağlı olarak ideal kompozit malzemelere ulaşım daha da kolaylaşmış olacaktır. Kompozit malzemeler belirtildiği gibi birçok çeşide ayrılmaktadır. Bu çeşitlilikler matrisine göre veya takviye elemanına göre adlandırılmaktadır. Matris çeşitliliğine göre sınıflandırma yapıldığında;

- Polimer Matrisli Kompozitler: Matris olarak reçineler (polimerler) takviye malzemesi olarakta çeşitli elyaflar kullanılmaktadır. Monomer denen küçük moleküllerin birbiriyle etkileşmesi ve bir araya gelmesi sonucu oluşan uzun zincirli yapıya sahip sentetik malzemelere denir. Yaklaşık üretimi devam eden kompozitlerin %90'unu bu plastik (polimer) esaslı kompozitler oluşturmaktadır. Bu malzemeler düşük üretim maliyeti, kolay şekil almaları ve amaca uygun üretim sağlanabilmesi nedeniyle pek çok alanda kullanılmaktadır [6].

- Seramik Matrisli Kompozitler: Çok yüksek sıcaklıklarda çalışan yapılarda kullanılan bu kompozitlerde takviye malzemesi olarak genellikle silikon carbide ve boron nitride gibi malzemeler kullanılmaktadır.
- Metal Matrisli Kompozitler: Metal alaşımlarının bor karbür, silisyum karbür ve alümina gibi seramik malzemelerle bir araya getirilmesi sonucu oluşan daha yüksek mukavemette oluşan malzemelerdir. Özellikle otomotiv sanayinde kullanımı 19.yy sonrasından günümüze kadar hızla artarken son 1 asırlık sürede havacılık sanayinde yapılan dev hamleler bu yüksek mukavemet/ağırlık oranına sahip metal matrisli kompozit malzemeleri daha da ön plana çıkarmıştır [5,6].

Kompozit malzemeler içerisinde günümüz dünyasında savunma ve taşımacılık amaçlı en ön plana çıkan ve en çok gelişme kaydedecek olan MMK;

- Katı faz yöntemiyle; Toz metalürjisi, Sıcak presleme, Haddeleme
- Sıvı faz yöntemi; Metal püskürtme, Erimiş metale takviyeyi karıştırma veya erimiş metali emdirme veya presleme
- Elektrolitik veya buhar fazında çökeltme yöntemiyle üretim sağlanmaktadır [3].

MMK'ler arzu edilen malzemenin daha düşük maliyette ve tam olarak amaca hizmet edecek doğrultuda üretim yapılmasına olanak sağlamaktadır. Aynı zamanda farklı tür bir matris kullanarak veya kullanılan matrisin ağırlıkça veya hacimce farklı oranlarda katarak malzemenin istediğimiz özelliğe sahip bir malzeme olmasına olanak sağlaması da en büyük avantajlarındandır. Günümüz çalışmalarında yavaş yavaş bu tür malzemeler üzerinde çalışmaların artmasının sebebi sanayi rekabetinin yanı sıra artık dünya üzerinde savunma ve uzay alanındaki ihtiyaçları karşılamak amacıyla üretimlerine hız verilen hava araçlarının daha hafif fakat daha yüksek çevrim yüklere dayanım gösterebilmesi arzu edildiğindendir [7]. Metal Matrisli Kompozitlerin tercih edilmesinin ana sebeplerini şu şekilde sıralayabiliriz;

- Daha fazla tokluk ve dayanım sağlamaları
- Havayla veya dış etmenlerle temasın mevcut olduğu ortamlarda korozyon dayanımlarının yüksek olması
- Şekil alabilme özelliklerinin daha maliyetsiz ve verimli olması
- Üretim için gerekli olan argüman ve envanterin kolay ulaşılabilir olması

- Üretim aşamasındaki gerekli olan malzemelerin tasarım ve üretiminin isteğe bağlı olarak kendi ihtiyaçlarınız doğrultusunda ilgili boyut ve yapıda malzemelerin üretim kolaylığı
- Yüksek elastik yapı
- Yüksek mukavemet / ağırlık oranı
- Düşük yoğunluk
- Maliyetinin fiber takviyeli kompozit malzemelere göre daha düşük olması [7,9]

Metal matrisli kompozit malzemelerin takviye malzemeleri seçilirken üretim tekniği, takviye malzemesinin yapısal özellikleri, kullanım amacına bağlı olarak uygun özellikte bir sonuca ulaştıracak malzemenin seçimi kompozit malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini etkilemektedir [8]. MMK malzemelerde en çok kullanılan takviye elamanları Al2O3, SiC, B4C ve Bordur. İçlerinde en pahalı olanları ise işletim maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı bordur. Doğada birçok seramik parçacık halinde bulunduğundan partikül takviyeli kompozitler için geniş bir oranda takviye potansiyeline sahiptir. Bu yüzden takviye elemanlarının özellikleri çok iyi araştırılmalıdır. MMK malzemelerde kullanılan takviye elamanından beklenen özellikler;

- Yüksek sıcaklıkta dayanımı muhafaza etmesi
- Üretim kolaylığı
- Ekonomik olması
- Saf halde doğada bulunma ve çıkarma oranının yüksek olması
- Matris ile kimyasal uyumluluk
- Yüksek modül ve dayanım [8, 9]

Takviye elamanları içerisinde bilimsel çalışmalarda elde edilen sonuçlarda Alümina olarak adlandırılan Al_2O_3 yüksek sıcaklık dayanımı ve yüksek modül ve rijitliğe sahiptir. En yaygın olarak Al ve alaşımları ile birlikte kullanılmaktadırlar. SiC ile kıyaslama yapıldığında daha yüksek oranda yoğunluğa ve daha düşük oranda modül ve dayanıma sahiptir. Maliyet açısından Silisyum Karbür (SiC)'e göre daha ekonomiktir.

SiC ise seramik takviye elamanlarından bir diğeri olup sahip olmuş olduğu kovelent bağlar sayesinde Kompozit yapı içerisinde yüksek bir elastiklik sağlamaktadır. En önemli özelliklerinden bir tanesi ise yüksek sıcaklıklara maruz kalmasına rağmen

özelliklerini muhafaza edebilmesidir. Bor'a göre daha ekonomiktir. Termal genleşme katsayıları Alümina ile kıyaslandığında daha düşük değerlere sahiptir [10] .

Bor karbür (B4C) en son yapılan araştırmalarda sıkça kullanım alanı bulan Bor karbür sertliği ve yüksek ısı dayanımı nedeniyle havacılık ve uzay sanayinde kullanılan MMK içerisinde takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. Bor fiberler oldukça fazla elastiklik modülüne sahiptirler fakat oldukça pahalıdırlar. Düşük kırılma tokluğu, yüksek elastik modülü sayesinde zırh malzemesi olarak Alümina'ya göre kat kat daha fazla tercih edilmekte fakat üretim aşamasında hammaddeden dönüşümün pahalı olması ülkemizde bor açısından zenginliklere sahip olmamıza rağmen yeterince üzerinde araştırmalar yapılamamaktadır [9].

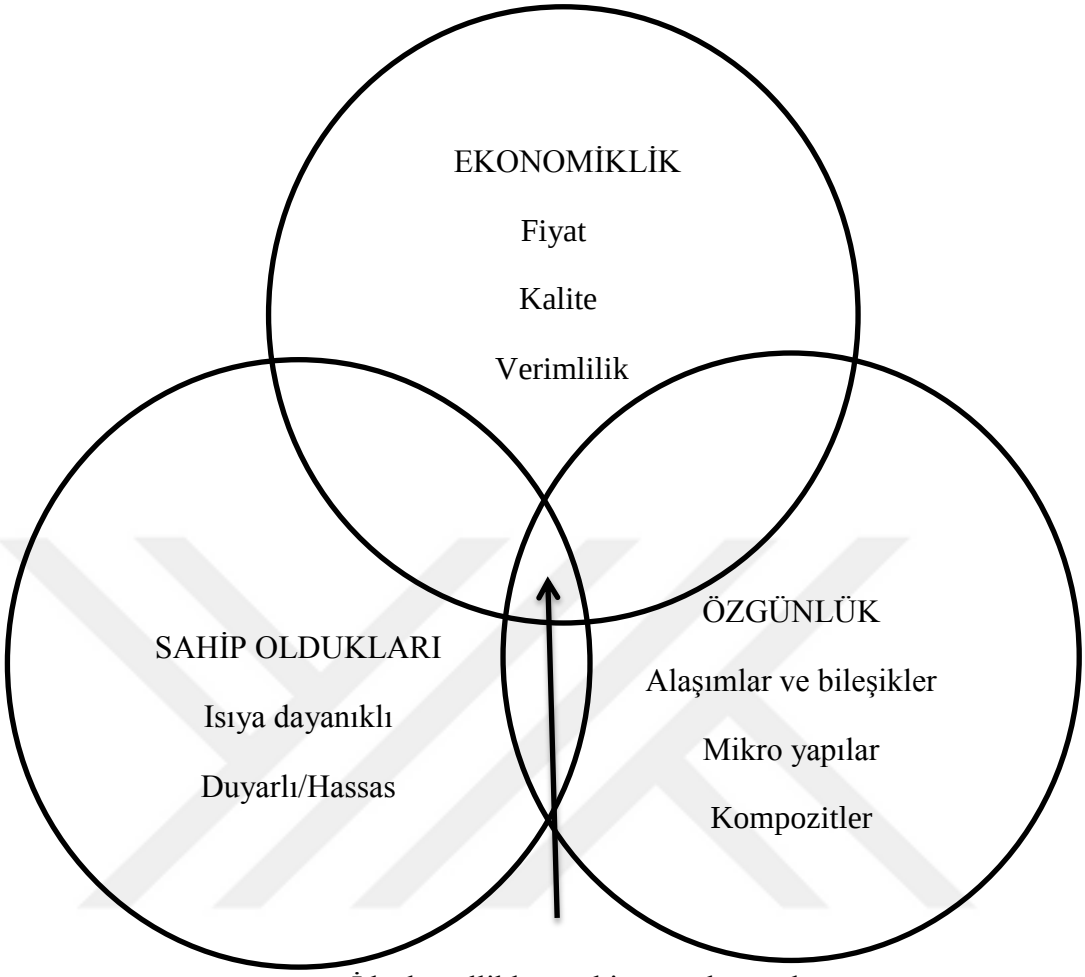
Kompozit malzemeler için anlatılanların pratiğe geçişi esnasında da birçok farklı üretim yöntemleri kullanılmaktadır. Elimizde bulunan metal esaslı veya polimer esaslı malzemelerden istemiş olduğumuz farklı özelliklere sahip kompozit malzeme veya alaşım oluşturmak istediğimizde; kullanmış olduğumuz yöntem hem maliyet açısından üretim devamlılığını hem kullanım açısından talep edilen özelliklere ulaşımı hem de üretimin bizlere sonradan çıkarmış olacağı hataları kontrol altına alabilmek veya bu malzemelerin maliyetlerini minimum seviyede tutmak için üretim esnasında kullanılan yöntem önem arz etmektedir [10]. Metal esaslı malzemelerden oluşan alaşım veya kompozit malzemeler için döküm yöntemi, haddeleme veya talaşlı imalat yöntemi kullanılırken polimerler içinse kimyasal yöntemlerle üretim metotlarına başvurulmaktadır. Başta da belirtildiği gibi bizim belirleyeceğimiz üretim metodu üretmek istediğimiz malzemeden istediğimiz performansa veya kullanım amacına göre değişmektedir. Ancak bir malzemeyi bu seramik esaslı bir kompozit malzeme olsun veya herhangi bir MMK olsun farklı yöntemler kullanılarak aynı özellikler olmasa da yakın özelliklerde malzemeleri üretebiliriz. O zamanda ortaya üretici için önemli olan kullanılabilirlik süresi, üretim iş gücü, üretim esnasındaki maliyet gibi etkenler hangi yöntemle üretim yapacağımızı kararlaştırmamız için bize yardımcı olmaktadır. Ve modern üretim teknikleri içerisinde de sahip olduğu avantajları dolayısıyla en çok kullanılan teknik toz metalürjisi yöntemidir [5].

Toz metalürjisi yöntemi çok eski tarihlerden beri kullanılan ancak üzerine son bir asırdır yapılan çalışmaların artmasıyla önemli bir noktada olan alaşım, polimer, MMK üretiminde yaygın olarak kullanılan üretim yöntemlerinden bir tanesidir. Bu yöntemde

temel alınan esas faktör kullanılan malzemelerin belirli oranlarda toz haline getirildikten sonra istenilen özelliğe bağlı olarak ağırlıkça belirli yüzdelerde katılarak karıştırılıp sinterleme işlemine tabi tutulmasıyla oluşan yöntemdir. Toz metalürji yöntemi yüzyıllardır kullanılmaktadır. Tarihte Inka medeniyeti döneminde kullanılan mücevherlerin üretimi için altın tozlarının kullanılması, Mısır medeniyetinde günlük hayatta kullanılan aletler için demir tozlarının kullanılması TM yönteminin aslında tarihte uzun bir süreçten beri kullanıldığının bir göstergesidir [4, 9].

Toz metalürji yöntemi sayesinde üretmiş olduğumuz malzemelerde daha homojen bir mikro yapının oluşumuna imkan sağladığı için bu yöntemle yapılan üretimlerde malzeme ömrünü belirleyebilmek daha da kolay olmaktadır. Aynı zamanda üretim esnasında daha sade yöntemlerle üretim sonlandırılmakta daha düşük maliyetlerde üretim sağlanmaktadır. TM yöntemi sayesinde işlenmesi zor olan bazı metallerinde bu yöntem sayesinde kullanılabilmesi en büyük avantajlarından olup bu sayede mevcut doğada bulunan birçok madenin de kullanımına ve yaşantımızda ihtiyaç duyduğumuz ürünlerin istekleri karşılar şekilde olmasının temellerini atmış olur [7]. Günümüz çağında en çok ihtiyaç duyulan malzeme özelliklerinden birisi mukavemet/ağırlık oranının yüksek olmasıdır. İşte bu yöntem sayesinde bu noktaya ulaşmak daha mümkün olmuştur. Bu yöntemdeki işlem basamaklarından olan mekanik alaşımlama sayesinde toz partikülleri mikron boyutta bir araya gelip sonradan tekrar koparak aralarında bağ oluşturacak ve bu sayede yavaş yavaş kaynaşma gerçekleşecektir. Bu sayede de istenilen mukavemete sahip malzeme üretimi sağlanmış olacaktır [11].

Toz metalürji yönteminin sahip olduğu özelliklerin kısaca birleşiminin verildiği Şekil 1.1'e bakıldığında neden bu konuda üretim açısından yönelimin olduğunu özetlemektedir.



Şekil 1.1. TM yöntem seçiminin üç ana sebebini içeren birleşim şeması [12]

Toz metalürji yönteminin bu kadar yaygın olarak kullanılmasındaki bir diğer etkende istenilen yapıda ve üretimi zor malzemelerin üretimine olanak sağlamasıdır. Bu yöntem sayesinde özellikle otomotiv ve uzay araçları sanayinde birçok parça üretimi yapılmaktadır [11].

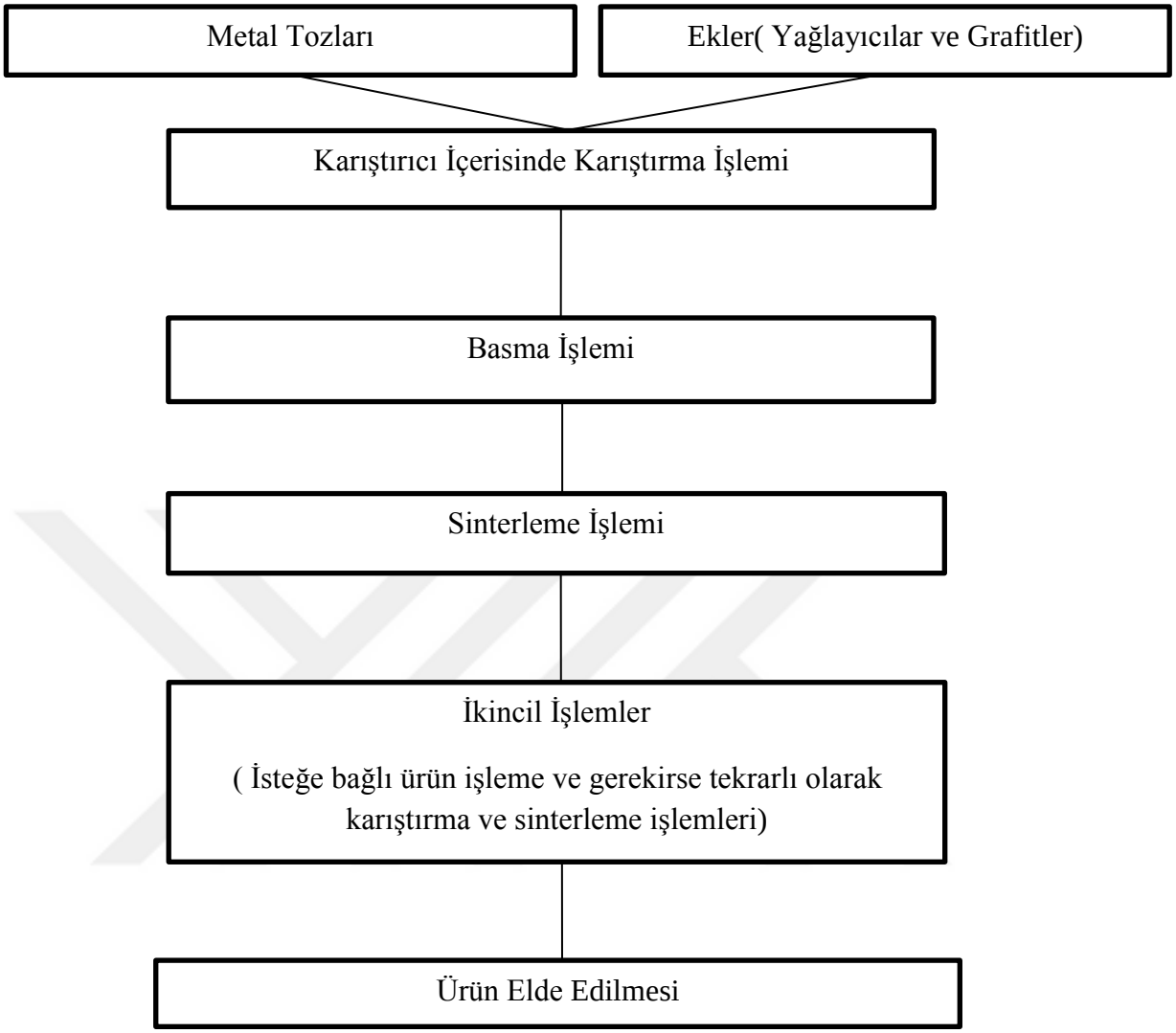
Pistonlu motor parça elemanları, filtre elemanları, yağlamalı yataklar, jet motor yanma odası parçaları, türbinli motor palleri, nükleer araç kontrol yüzey parçaları, uçak fren disk parçaları, elektrik elemanları, dişli çarklar, otomotiv dış ulaşım ve kaporta parçaları, kontaktörler, hava aracı ana taşıyıcı malzemeleri, hava aracı koruma panelleri, yüksek mukavemet gerektiren hücum kenarı parçaları toz metalürjisi yöntemiyle yapılan yapılması zor ve kullanım açısından riskli parçalar olarak adlandırılan parçalara örnektir [11, 12]. Bu parçaların üretimi teknolojik açıdan da bu alanlarda ilerlemenin

sağlanmasını kolaylaştırmakta ve güvenli kullanım alanının genişlemesine olanak sağlamaktadır [12].

Hava araçları açısından bakacak olursak dünyada devletlerarası güç yarışlarında havacılık alanındaki güç oldukça önemlidir. Hava araçlarındaki ilerlemelerse gün geçtikçe daha hafif fakat daha yüksek dayanıma sahip aynı zamanda da bakım maliyetleri açısından da daha düşük maliyetlerle operasyonu sürdürebilecek hava araçlarına doğru yönelim söz konusudur. Bu yüzden de bu ortak özelliklerin bir arada bulunduğu toz metalürjisi yöntemi havacılık için önemlidir [11, 13].

Bu yöntemin kullanılarak üretimlerin yapıldığı havacılık sektöründe kanat bölgelerinde yüksek burulma ve gerilme yüklerine dayanabilecek yapıda kanat taşıyıcı parçalarının üretilmesi, iç dış basınç farklarından dolayı ortaya çıkan basınç farkını sönümleyebilecek yüzey malzemelerinin üretilmesi, yüksek sıcaklık ve basınca maruz kalan motor komponentlerinin üretimi toz metalürjisi yöntemiyle aslında daha güvenilir hale gelmektedir [14].

Toz metalürjisi ile üretim yönteminin basamaklarına bakıldığında öncelikle büyük bir ar-ge çalışması yürütülmelidir. Çünkü üretilmek istenen malzemeden beklenen özellikler net bir şekilde bilinmediği sürece ona uygun bir karışım oluşturmak mümkün olmaz. O yüzden öncelikle üretilecek olan malzemenin sahip olmasını istediğimiz tüm özellikleri belirlenir [15]. Sonrasında toz haline getirilmiş olan belirli saflıklardaki malzemeler daha önceden denenmişse, en ideal karışım oranları referans alınarak bir araya getirilip karışım oluşturulup devamında alaşımlama ve sinterleme yöntemlerine geçilir. Sinterleme işlemi esnasında kullanılan sıcaklık veya presleme aletleri de daha önce seçilmiş olunan idealler alınır veya bunlarda değiştirilerek sinterleme esnasında kullanılan malzemelerin etkisi araştırılabilir. Sonrasında elde edilen uygun karışım kullanılması planlanan önceden şekillendirilmiş kalıplara konularak son hali elde edilir [4]. Bu sıralamayı kısaca düzenli bir şekilde sıralayacak olursak;



Şekil 1.2. Toz metalürjisi yöntemi ile ürün elde edilmesi işlem basamakları [15]

TM yönteminde en önemli etken karıştırılacak olan malzemelerin doğadaki kimyasal hallerini koruyup onları mikron boyutlarında toz haline getirerek işleme girdirmektir. Ancak toz haline getirilen cevher bu dönüşüm esnasında mutlaka yapısını ve özelliğini korumalıdır. Bu yüzden bu geçiş evresinde kullanılacak yöntemler çok önemlidir. Günümüze kadar geliştirilen bu üretim yöntemleri mekanik, elektroliz, buharlaştırma kimyasal ve atomizasyon yöntemleri olarak bilinmekte olup kendi içerisinde de farklı gruplara ayrılmaktadır [11]. Bu kadar fazla çeşitliliğinde olması üretici için üretim kolaylığı sağlamakta bu sayede toz metalürji yönteminin dezavantajlarını biraz olsun hafifletmiştir.

Tozların saflığı ne kadar yüksekse elde edilen verim veya elde edilen veriler o kadar iyi ve nettir. Fakat dezavantaj olarak oksitlenme veya tepkimeye girme hızları yüksek olduğu için muhafaza edilmesi ve tepkime öncesi karışım oluşturulan ortamın dahi havasız veya O_2 kovucu gazlar içermesine dikkat edilmelidir [15].

Tozların boyutları da bizim için önemli bir etkendir. Her ne kadar küçük boyutlarda toz elde edersek o kadar iyi homojen yapıya sahip Kompozit malzeme elde edebiliriz. Fakat o zamanda maliyet konusunda daha fazla bir gider oluşmaktadır.

Tozların sahip olmuş oldukları mikro yapıları ve morfolojik görüntüleri de diğer tozlarla oluşturacağı tepkimede önemli etkenlerden birisi olmaktadır. Eğer ki tozun sahip olduğu yüzey alanı ne kadar büyükse o kadar fazla verimle tepkime gerçekleşmektedir [13].

Başlangıçtan itibaren öncelikle kompozit malzemenin ne olduğu ve içeriği hakkında açıklama yapıp sonrasında kompozit malzemelerin üretim teknikleri içerisinden en uygun üretim yöntemlerinden olan toz metalürji yöntemi üzerinde durulmuştur. Bu yöntem için gerekli olan tozun üretim metotlarından da bahsedilerek nasıl toz elde edileceği açıklanmıştır. Elde etmiş olduğumuz bu tozlardan Kompozit malzeme veya alaşım elde etmek için de mekanik alaşımlama (MA) yöntemi kullanılmaktadır [14].

Üretim aşamasında malzeme bilimciler sürekli olarak elde etmiş oldukları malzemelerin özelliklerini daha da minimize şartlarda makro boyutlara taşıyarak sürekli olarak iyileştirme yaparlar. Bunda ki amaç günümüz teknolojisinin rekabet piyasası ve ihtiyaç duyulan malzemelerin özelliklerinin artık karşılanamaz hale gelmesidir. Her şeyden öncelikli olarakta malzemelerden istenen en belirgin özelliklerden bir tanesi süreklilik sağlanabilmesidir [18]. Yani üretimi yapılan malzemenin farklı zamanlarda fakat aynı şartlarda kullanıma alındığında aynı fiziksel sonuçları ve tepkileri vermiş olmasıdır. Bu yüzden de malzemenin homojen bir mikro yapıya sahip olması ve malzeme üzerinde eşit bir gerilimin dağılım göstermesi önemlidir. Günümüzde de bu ihtiyacı üretim yöntemleri içerisinde kullanım alanı olarak gün geçtikçe kendine daha iyi yerler bulan mekanik alaşımlama yöntemidir [17].

Mekanik alaşımlama yöntemi döküm ve sıcak şekillendirme işlemi gibi geleneksel üretim teknikleri ile üretimin zorlaştığı veya sınırlı hale geldiği durumlarda üretimde kullanılan alaşımların toz halinde karıştırarak üretimini sağlayan bir katı hal işlemidir. İşlem içerisinde çeşitli birçok kombinasyon denenebilmektedir. Bu yöntem sayesinde

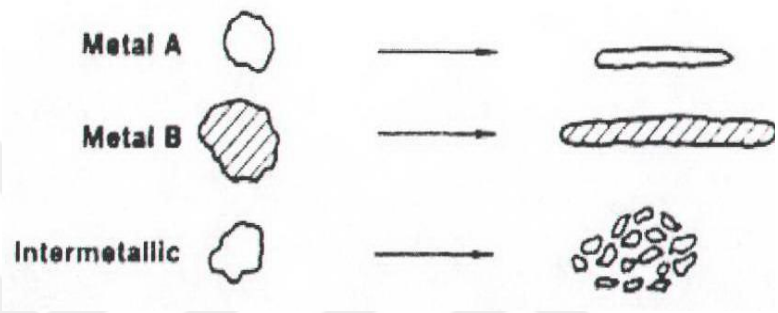
farklı mikro yapılara sahip her türlü malzemenin üretiminde kullanılan özel toz metalürji yöntemidir. MA yöntemi kullanılarak yapılan üretimlerde harmanlanmış halde bulunan toz malzemelerinden homojen yapıda malzemeler elde edilebilmektedir [18].

MA yönteminin geçmişine bakıldığında aslında yakın tarihimize kadar çok da kullanılmadığı ve üzerine yapılan çalışmalarında gereken ölçekte olmadığı görülmektedir. Tarihsel olarak John Benjamin ve arkadaşları Uluslararası Nikel Şirketinin (INCO) Paul D. Marcia Araştırma Laboratuvarında 1960 yılların başında bu tekniği gaz türbinli motorlarda nikel alaşımları kullanmak için yapılan çalışmalar esnasında bulunmuştur. Fakat MA yöntemi sayesinde yarı kararlı fazların keşfi ile malzeme biliminde pek çok üretimsel uygulamaların önünü açmıştır [3].

Uluslararası Nikel Şirketi argon ortamındaki sıvı alüminyum içerisine nikel kaplanmış grafit partikülleri enjekte ederek grafitik alüminyum alaşımların imal edilmesi için bir yöntem geliştirilmiştir. Aynı tekniğin bir başka modifikasyonunda, ince ve ısıya dayanıklı oksit parçacıklarının dispersiyonu ile nikel bazlı alaşımlara aşılanması için çalışılmıştır. John Benjamin ve çalışma arkadaşları tarafından geliştirilen bu süreç "öğütme/karıştırma" olarak refere edildi, ancak INCO patent avukatı olan Ewan C. MacQueen ilk patent başvurusunda işlemi mekanik alaşımlama olarak tanımladı ve bu terim literatüre böyle geçti. Mekanik alaşımlama normal olarak kuru, yüksek enerjili bilyeli öğütme tekniği olup, ticari açıdan yararlı, bilimsel ve ilgi çekici bulunup, çeşitli malzemeleri üretmek için kullanılmıştır [3,19].

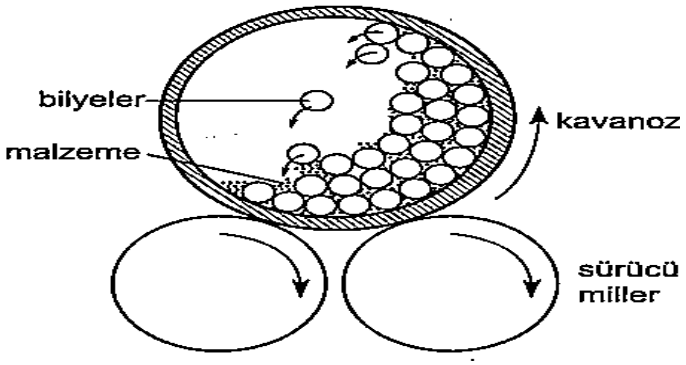
Ekonomik açıdan ve kullanılmış olduğumuz cihazlar açısından uygun bir üretim tekniği olan mekanik alaşımlama yöntemi basit ve çok yönlü bir yöntemdir. MA'nın en büyük avantajlarından bir tanesi soy elementlerin sentezinde birçok teknik kullanılarak başarılamayan normal koşullarda karışması mümkün olmayan elementlerin alaşımlandırılmasının sağlanmasıdır. Bunun nedeni ise MA yönteminin tamamen katı hal uygulaması olması ve faz diyagramlarının bu işlemde geçersiz olması ile birlikte limitlerin ortadan kalkmasıdır [15]. Ayrıca üretime dahil edilen tozların boyutları üretim süreci içerisinde mevcut dahil edilmiş oranlardan daha düşük oranlara düşüşü de elde edilen avantajlar arasındadır. Yani 50–100 μm ortalama başlangıç çaplarındaki toz boyutlarından 1 μm partiküller arası aralığa sahip ürün elde edilmesi örnek verilebilir.

Mekanik Alaşımlamanın gelecekte hidrojen depolama üniteleri, ısıtıcılar, gaz tutucu depolar, katalizörler, kosmetik üzerinde kullanılacaktır [19]. Çoğunlukla katı hal alaşımlanması olarakta isimlendirilen Mekanik Alaşımlama yöntemi, kontrollü mikro yapıya sahip ve oldukça ince tozlardan oluşan kompozit metal tozların üretiminde kullanılan kuru ve yüksek enerjili bir öğütme işlemidir. Mekanik olarak alaşımlanacak başlangıç tozları ve deformasyon karekterizasyonu şematik olarak Şekil Z'de gösterilmektedir [3].



Şekil 1.3. Mekanik alaşımlamada kullanılan tozlar [7]

MA yönteminde kuru ve katı haldeki belirli yüzdelerde saflıklara sahip tozlar bir hazne içerisine atılır (Şekil 1.4.). Bu tozların boyutları ile ilgili seçim yaparken de daha önce yapılan çalışmaların incelenmesi gerekmektedir. Hazne içerisine ilave dilen tozlar hazne içerisine farklı sayı ve oranlarda katılabilen bilyelerle temas ederler. Ögütücü olarak adlandırılan ve iki ve üç eksende dönme özelliklerine sahip olan karıştırıcının dönmesiyle birlikte tozlar bilyelerin yardımıyla birbirlerine yüksek enerjilerde birleşip tekrar kırılım geçirirler. Bu sayede daha ince ve homojen bir mikro yapıya sahip alaşım veya kompozit malzemelerin üretim, sağlanmış olur [7, 20].



Şekil 1.4. Toz-bilye karışım haznesi[10]

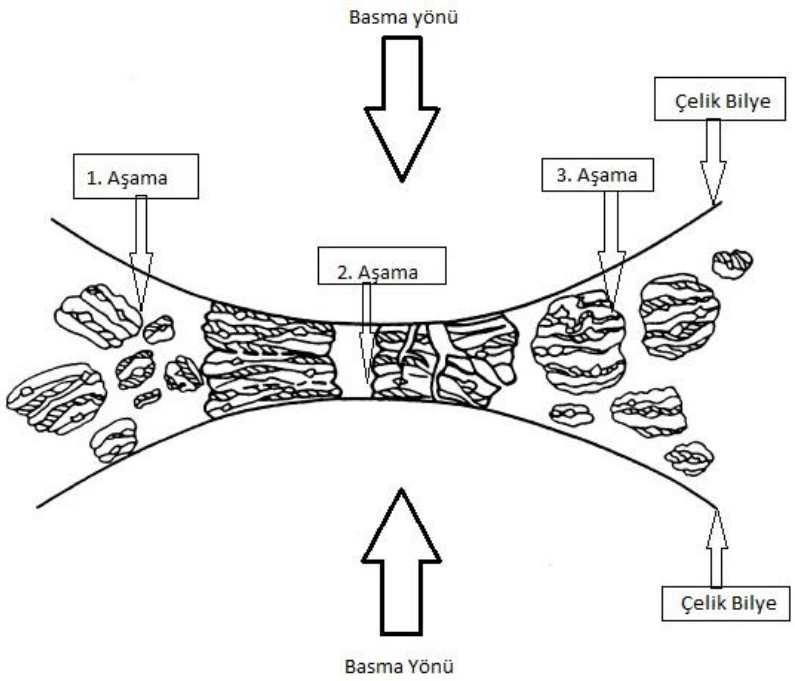
MA işlemi, tozların paslanmaz çelik kazanlarda sertleştirilmiş çelik bilyeler veya tungsten bilyeler ile istenilen sürelerde öğütülerek ve karıştırarak yapılan bir alaşımlama işlemidir. Oksitlenmeye karşı öğütme sırasında genellikle argon gazı kullanılmaktadır. MA'nın ekonomik olması ve uygulama alanlarının geniş olması büyük avantajlar sağlamaktadır. Klasik alaşımlama işlemlerinde karşılaşılan ergime problemleri, heterojenlik ve işlemler sırasında meydana gelen istenmeyen reaksiyonlar MA yöntemi ile ortadan kaldırılabilmekle birlikte, birbiri ile karıştırılması güç ya da imkânsız olan elementlerin karıştırılabilmesi de yapılabilmektedir. Eğer kullanılan tozlar yumuşak ise, yapışma ve sıvanmaları önlemek için %1-2 hacim oranında stearik asit ilavesi gerekebilir [20].

Günümüzde ileri uzay teknolojileri için kullanım alanı elde etmiş olan mekanik alaşımlama yöntemi deneysel anlamda düşük maliyetlerde portatifler üreterek ve sonrasında bunların testlerini yaparak sonuca hızla ulaşım sağlanır.

Üretimi yapılacak alaşım için metal ya da metal olmayan malzemeler, öğütücüler ve yağlayıcı maddeler yüksek enerjili değirmenlere konularak öğütülür. Burada öğütme esnasında toz-bilye, bilye-cidar ve karıştırıcı-bilye arasında çarpışmalar olur. Bunlardan en etkin olanı bilye-bilye çarpışmasıdır [21]. Çelik bilyelerin birbirine çarpışması ve bu çarpışmanın etkisi ile bilyelerin arasında sıkışıp kalan tozların ezilmesi ile küçük parçalar halinde kırılmış olan sert seramik parçacıkları matris içerisinde gömülürler. Soğuk kaynak esnasında oluşan plastik deformasyon yoluyla, tozlarda yüzey-hacim oranının artması ve yüzey filmlerinin yırtılması meydana gelir. Metalin plastik deformasyona uğraması için geçmesi gereken minimum süre 0,0001 saniye civarındadır. Mekanik alaşımlama yöntemi başlıca dört basamaktan oluşmaktadır;

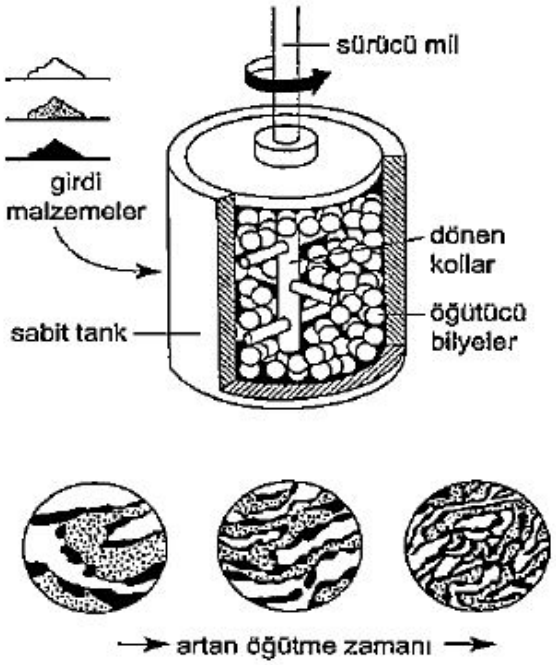
- Metal tozlar bilyeler tarafından yakalanarak darbeye maruz kalır. Böylelikle yeni yüzeyler oluşur ve tekrardan soğuk kaynak neticesinde yeni Kompozit oluşur.
- Hızlı kırılma ve soğuk kaynak işlemleri ince yapıya sahip taneciklerin oluşmasına neden olur. Bu evrede geri çözünmenin başlamasıyla taneler içerisindeki bükülmüş lameler yapı görülebilir.
- Lamel yapıya sahip bükülmüş ve sıkıştırılmış malzeme oldukça incelir ve birbirine girerek tanelerin birleşimi bir öğütme kompozisyonuna dönüşür [5].

- Bu son aşamada artık iki ayrı tanecik yapıya sahip olan başlangıç malzemeleri kararlı hal aralığına girer ve bu basamaktan sonra işlem tamamlanır. Taneler deforme olur ve böylelikle kararlı yapıya sahip yeni malzeme bileşeni oluşur [3,4].



Şekil 1.5. Alaşımlama esnasında toz-bilye çarpışma evreleri [3]

Kullanılan düzenek içerisinde öğütme işlemi esnasında toz parçaları arasında yassılaşma, soğuk kaynaklanma, kırılma ve yeniden kaynaklanma meydana gelir. Bu esnada her çarpışmada yaklaşık olarak 0,2 mg ağırlıkta 1000 parçacık sıkışır ve lamelleşir. Parçacıkların çarpma kuvvetlerinin etkisiyle toz parçacıkları arasında plastik deformasyon oluşur ve böylece deformasyon sertleşmesi ve kırılma gerçekleşir. Kırılmaların ardından oluşan yeni yüzeylerde kullanılan tozların karakteristiğine göre yeniden kaynaklanma olur ve parçacık boyutu neredeyse başlangıçtaki parçacık boyutunun üç katına kadar çıkabilir. Deformasyonun devam etmesiyle deformasyon pekleşmesi artar. Oluşan yorulma mekanizmasıyla katmanların kırılması devam eder ve parçalar ilk boyutlarına tekrar küçülürken sertlikleri de yükselmiş olur. Küçük parçacıklar deformasyona dayanıklı iken, büyük parçalar kaynaklanma eğilimindedir. Bu şekillenme süreci artan öğütme süresine bağlı olarak değişmektedir (Şekil 1.6). Çoğu zaman daha da güzel sonuçlar elde edilmektedir [3, 4, 5].



Şekil 1.6. MA işleminin şematiksel gösterimi [4]

Üretim aşamasında MA yöntemi ele alındığında birçok avantaj sağlamaktadır. Bunları sıralayacak olursak;

- Malzeme içyapısında koruyucu kaplamalara sahip yüzeylerin oluşması
- Süper korozyon dirençli alaşımları geliştirilmesi(Al-Mg)
- Homojen bir yapının elde edilmesi
- Birbiri içerisinde sıvı fazda, örneğin (Cu-Pb) veya katı fazda, örneğin (Cu-Fe), çözünmeyen elementlerin alaşımlanması
- Termomekanik işlem sırasında tane yapısının kontrol edilmesinden dolayı değişik özellikler ortaya çıkabilir
- Yapı tamamen homojen elde edilir. Böylece segregasyon problemi ortadan kalkmış olur
- Bir seferde çok miktarda toz üretmek ve dolayısıyla alaşımlamak mümkündür, fabrikasyonu kolaydır.
- Katı çözünürlük sınırlarının aşılması tanelerin nanometre boyutlarına kadar inceltilmesi
- Düşük sıcaklıklarda kimyasal reaksiyonlar oluşturabilme
- Farklı ergime noktasına sahip elementlerden intermetalikler üretilmesi (Korozyon dirençli Nb-Sn intermetaliği) [18]

Yukarıda belirtilen avantajların yanında bu yönteminde sahip olduğu bazı dezavantajlar vardır. Fakat bunlar teknolojinin gelişmesi ile birlikte üretim metotlarında da yeni yöntemlerin geliştirileceği göz önünde tutularak bunların zamanla giderileceği beklenilmektedir. Bu dezavantajları sıralayacak olursak;

- Saflık derecesi yüksek materyallerin kullanılması
- Öğütücü olarak kullanılan bilyelerin tozlarla kaplanması
- Kullanılan tozların muhafazasının maliyetli olması
- MA yönteminde kullanılan işlem parametrelerin fazla olması
- Toz ile aynı malzemeden yapılmış bilye ve kabın kullanılması
- Saflık derecesi yüksek atmosferin kullanılması
- Tozların birim maliyetlerinin pahalı olması
- Çalışma ortamı içerisinde oksitlenme, yanma gibi olayları engellemek için yüksek maliyette malzemelerin gerekmesi
- Müsaade edilen en kısa öğütme süresinin kullanılması [3]

Mekanik alaşımlama (MA) istenilen fazı, mikro yapıyı ya da özellikleri elde edebilmek için uygulanan, çok sayıda değişken içeren karmaşık bir işlemin genel adıdır. Belirli bir toz içeriği için, öğütülmüş tozun son haline gelmesinde bazı önemli değişkenler büyük bir etkiye sahiptir. Bunları sıralayacak olursak;

- Öğütme tipi
- Öğütme sıcaklığı
- İşlem kontrolcüsü
- Öğütme atmosferi
- Bilye/Toz oranı
- Öğütücü Kap Malzemesi
- Öğütme süresi
- Öğütme enerjisi
- Aşındırma ortamının boyut dağılımı [22]

Bu işlem değişkenleri tamamen bağımsız değildir. Mesela uygun öğütme zamanı, öğütücü tipine, aşındırıcı boyutuna, öğütücü sıcaklığına ve bilye/toz oranı gibi değişkenlere bağlıdır. Ayrıca öğütülmüş tozlara, bilye/toz oranı arttırılarak veya uzun

süre öğütülerek, fazla enerji uygulanabilir. Benzer olarak diğer kısımlarda birbiri ile ilişkilidir. Bu yüzden bu etkenlerin etkilerinin bilinmesi Mekanik alaşımlama yöntemi kullanılarak üretilecek malzemelerin özelliklerini etkilemesi açısından bilinmesi önem arz etmektedir. Bunları kısaca değinilerek devamında anlatılmaktadır [3,21].

Öğütücü kabı içerik olarak üretilmiş olduğu malzeme önemlidir. Çünkü malzeme iç çeperinde meydana gelebilecek bir aşınma ya da kırılma oluşturulan malzemenin yapısını tamamen bozabilir. Tozu kirletebilir ve kimyasını değiştirebilir. Örneğin; bakır kap içerisinde Cu-In-Ga-Se toz karışımının öğütülmesi boyunca, üretilen tozun içindeki bakır miktarı, başlangıçtaki miktardan daha yüksektir. Bu durum öğütücü kap ve aşındırıcı bilyelerden dolayı tozun içerisine bakır tozlarının karışmasından dolayıdır. Öğütücü kap malzemelerine bakacak olursak sertleştirilmiş çelik, takım çeliği, temperlenmiş çelik, paslanmaz çelik, WC-Co gibi malzemeler yaygın olarak kullanılan malzemelerdir [3,7].

Ögütücü tipi toz tipine, gerekli olan toz ihtiyacına bağlı olarak değişme göstermektedir. Burada esas baz alınan nokta hangi amaçla üretimin yapıldığıdır. Deneysel amaçlı da Spex öğütücüsü tercih edilirken atritor veya toplu öğütücüler büyük üretimler için kullanılmaktadır [6].

Öğütme hızı en önemli faktörlerdendir. Bilye çarpışmaları ile parçacıkların maruz kaldığı aşırı plastik deformasyon parçacıkların birbiri ile soğuk kaynak olması ve kırılmasını sağlamaktadır. Bu da ancak optimum bir öğütme hızı ile sağlanabilir. Değirmen dönme hızı arttıkça toza aktarılan enerjinin daha fazla olacağı açıktır. Ancak, değirmen tasarımına bağlı olarak ulaşılabilecek maksimum hızda, belirli sınırlamalar vardır [21]. Örneğin, geleneksel bilyeli değirmenlerde artan dönme hızına paralel olarak bilyeler haznenin iç duvarına yapışır ve darbe kuvveti oluşturmak için aşağı düşmezler. Bu yüzden, kullanılan maksimum hız kritik hızdan biraz az olmalıdır ki, bilyeler etkin biçimde çarpışma enerjisi oluşturmak için tepe yükseklikten aşağıya düşebilsinler veya çarpışma süreci etkin olabilsin. Maksimum hız için sınırlama yüksek hızlarda (veya öğütme yoğunluğunda) olmaktadır. Kabın sıcaklığı yüksek değerlere ulaşabilir [7]. Difüzyon tozlardaki alaşımlama ve homojenizasyonu ilerletmek için gereklidir. Bu bazı durumlarda avantaj olabilir. Çünkü artan sıcaklık, öğütme sırasında şekillenen diğer yarı kararlı fazların veya aşırı doymuş katı çözeltilerin ayrışması ve dönüşüm işlemleriyle hızlanır. Sonradan oluşan sıcaklıklarda da tozlar kirlenebilir. Maksimum hıza diğer bir

sınırlama da yüksek hızlarda haznenin sıcaklığının yüksek değerlere ulaşmasıdır. Ayrıca, oluşan yüksek sıcaklık tozu kirletebilir. Farklı tür değirmenlerde erişilen maksimum sıcaklıklar birbirinden çok farklıdır. Isının olumsuz yönde etkilediği sistemlerde soğutma sıvısı olarak sistemin türüne bağlı olarak gaz veya sıvı kullanılabilir [4]

Öğütme zamanına bakıldığında ise bu da üzerinde durulması gereken en önemli konulardan birisidir. Normalde zaman, toz parçacıklarının arasında parçalanmanın ve soğuk birleşmenin dengeye ulaşmasını sağlamak için seçilir. Bu yüzden bizim belirlemiş olduğumuz zaman istemiş olduğumuz ideal değere ulaşım için önemlidir fakat zamanı etkileyen birçok parametre mevcuttur. Zaman; kullanılan değirmen tipine, öğütme şiddetine, bilye/toz oranı gibi çeşitli durumlara bağlıdır. Bu yüzden gerekli olan zamanın ayarlanması çok önemlidir. Eğer gerekli zamandan fazla alaşımlama yapılırsa kirlilik seviyesi ve bazı istenmeyen fazlarda artış görülebilir. Bu yüzden istenilen zamanda bu tozlar üretilmelidir. Genel olarak yüksek enerjili öğütmelerde kararlı hal şartlarını sağlamak amacıyla kısa tutulurken, düşük enerjili öğütmelerde süre daha uzun tutulur. Ayrıca bilye/toz oranı daha yüksek ise zaman kısa tutulurken, düşük olduğunda öğütme süresi uzun tutulur [16, 17].

Öğütme atmosferi aslında parametreler içerisinde sonucu en çok etkileyecek yönlerden birisidir. Çünkü karıştırıcı içerisinde bulunan gazlar kapalı bir ortamda uzun süre mekanik olarak işleme tabi tutulan tozların kimyasal tepkimelerine etki edecek veya oksitlenmelerine neden olacaklardır. Bu yüzden karıştırma işleminin yapıldığı bu ortamlar ya vakum ortamında ya da oksijen itici gazların bulunduğu ortamda yapılmalıdır.

Bilye Toz Ağırlık Oranı (BTO) genelde çoğu çalışma da sabit olarak gözlemleyebileceğimiz bilyelerin ağırlığının toz ağırlığına oranı olarak ifade edilmektedir. Diğer adıysa dolum oranıdır. Burada bu oran seçilirken kullanılan öğütücü ve kullanım amacı önem ifade etmektedir. Özellikle deneysel amaçlı yapılan çalışmalarda kullanılan Spex karıştırıcıları içerisinde 10:1 veya 20:1 oranlarında BTO rakamları mevcut olup bu ıranlar en çok kullanılanlarıdır. Atritör tarzı yüksek öğütücü oranına sahip bir öğütücü düşünüldüğünde ise bu öğütücü için de 50:1 den başlayıp 200:1 oranlarına çıkan BTO oranları mevcuttur [3, 4]. Birçok araştırma içerisinde görülmüştür ki bu oranlar 1:1 den 220:1 gibi yüksek değerlere kadar çıkmaktadır. Bu

oranın artması elde edilen toplam enerjiye bağlı olarak alaşımlama zamanını azaltırken, tozların kirlenmesi gibi olumsuz etkileri de hızlandırabilir. Bilye-toz oranı ne kadar yüksek olursa gerekli zaman da o kadar kısa olur. Yüksek bilye-toz oranında, bilyelerin ağırlık oranındaki artıştan dolayı, birim zamandaki çarpışma sayısı artar ve sonuç olarak toz parçacıklara daha çok enerji iletilir. Bu yüzden alaşımlama daha çabuk gerçekleşir [13]. Örneğin, bir toz karışımı SPEX değirmende 10:1 oranında 7 saat, 50:1 oranında 2 saat ve 100:1 oranında 1 saat öğütüldüğünde elde edilmektedir. Yüksek bilye toz oranı, her birim zamanda çarpışmaların miktarını artırır ve sonuçta daha fazla enerjiyi toz parçacıklarına transfer eder. Böylece alaşımlama daha hızlı olur [20].

İşlem kontrol ajanları olarakta bilinen İşlem Kontrol Katkıları (İKK) karıştırma esnasında oluşabilecek topaklanmayı önlemek amacıyla karıştırılan malzemeler içerisine katılarak işleme dahil edilir. İKK'lar katı sıvı veya gaz fazında olabilir. Karıştırılan malzemeler sünek haldeyse ve karıştırma süresi uzunsa malzemelerde aşırı derecede soğuk kaynak oluşmaktadır. İşte bunu önlemek için İKK önemlidir. İKK'lar toz partikülleri tarafından yüzeysel olarak emilerek tozların soğuk kaynak olup sünekleşmesinin önüne geçerler. En önemli İKK'lara örnek olarak stearik asit, etanol, metanol ve hekzan örnek verilebilir [21].

Tablo 1.1. MA işleminde kullanılan çeşitli İKK özellikleri [3]

İşlem Kontrol Katkısı	**Ergime Noktası**	**Kaynama Noktası**
Etil Asetat	-84	76.5-77.5
Etil Alkol	-130	78
Hegzan	-95	68-69
Metil alkol	-98	64.6
Stearik Asit	67-69	183-184

Kullanılan İKK miktarı aslında birçok sonucu etkilemektedir. Bunların arasında elde edilen tozların son şekilleri, boyutları, saflıkları örnek gösterilebilir. Zhang ve arkadaşları yapmış oldukları bir çalışmada toz ağırlığının %0,5-4 aralığındaki ağırlıktaki polietilen glikol ve stearik asit olarak iki farklı İKK kullanılarak planet bilyeli öğütmede mekanik alaşımlanmış magnezyum ve alüminyum toz parçacıklarının boyutlarındaki etkiyi incelemiştir. Bu çalışma sonucunda, İKK miktarı ve öğütme süresi arttıkça dönüşen toz oranı da artmıştır. Bu da İKK kullanılmasından dolayı soğuk

birleşmenin azalmasına sebep olmuş ve kırılan toz parçacıklarının artmasına neden olmuştur.

Kap doluluk oranı ise bilyeler için çarpışma oluşması için yeterli boşluk gerektiğinden önemlidir. Eğer ki aşırı dolum gerçekleşirse dönü esnasında bilyelerden alınacak yeterli verim alınmaz ve alaşımlama gerçekleşemez veya verim olarak düşük verimde alaşımlama olur. O yüzden hem bilye hem de toz hareketi için yeterli alanın hesaplanması önemlidir. Genel olarak yapılan çalışmalara bakıldığında ise yaklaşık olarak toplam kap hacminin %50 veya daha fazlası oranda kap içerisinde boşluk bulunması verimin artışına sebep olacaktır [3, 8, 12].

Yukarıda belirtilen bütün bu etkenler aslında bizim için ayrı ayrı önem ifade etmektedir. Bu kadar fazla etkenin olması işi zorlaştırmaktadır. O yüzden öncelikle karıştıracağımız malzemelerin kimyasal özelliklerini çok iyi bilmemiz gerekir. Sonrasında elde etmek istediğimiz malzemenin özelliklerini çok iyi belirlemeli ve ona uygun parametreler tercih edilmelidir. Burada en çok dikkat edilmesi gereken MA işleminin gerçekleşmesine en önemli katkıyı sağlayan öğütücü türünü seçebilmektir. Eğer ki yanlış bir öğütücü seçilirse istenen özelliklere sahip malzeme üretimi zorlaşacaktır. Öğütücüler kendi aralarında kapasiteleriyle, öğütme verimlilikleriyle, soğutma ve ısıtma gibi ek üniteleriyle farklılık gösterirler. Genel literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında en çok aşağıda sıralanan öğütücüler kullanılmaktadır [21].

Planetary tipi öğütücüler haznelerinin gezegensel olarak hareket etmesinden dolayı ‘’Planetary’’ ismini almışlardır. Bu öğütücüler tek bir çalışma esnasında yaklaşık 100 gram tozu öğütebilmektedir. Bunlar dönen bir destek diski üzerine yerleştirilirler ve kendi eksenleri etrafındaki hareketlerini, özel bir mekanizmadan alırlar. Kendi eksenleri etrafında dönen hazneler tarafından oluşan merkezkaç kuvveti ve dönen destek disk tarafından oluşturulan ilave kuvvetle beraber, hazne içinde öğütülen malzeme ve öğütme bilyelerine etki ederler. Hazne ve destek diski zıt yönlerde döndüğü için merkezkaç kuvvetler sırası ile benzer ve zıt yönde etkir. Bu öğütme, bilyelerinin haznenin iç duvarlarından aşağıya doğru kaymasına neden olur. Sürtünme etkisi, öğütülen malzeme ve öğütme bilyelerinin serbest kalıp hazne içerisinde, serbest dolaşması ve karşı duvara çarpmasıyla devam eder. SPEX değirmenlere göre daha düşük enerjili değirmenler olarak düşünülebilir [4].



Şekil 1.7. Planetary tipi bilyeli öğütücü [3]

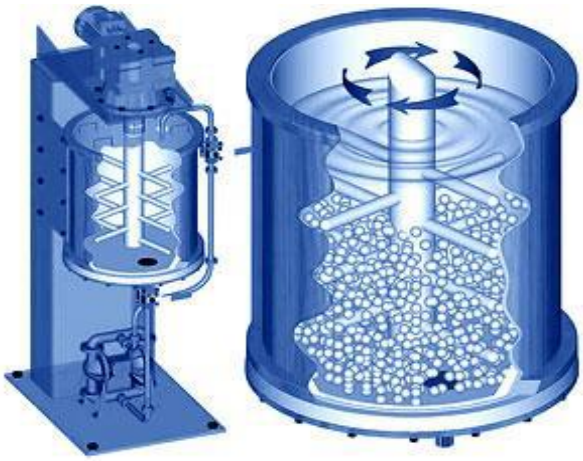
Spex tipi öğütücü genellikle bilimsel çalışmalar içerisinde sıkça kullanılmaktadır. Bir çalıştırma esnasında 10-20 gr. arasında toz öğütebilen bu karıştırıcı laboratuvarlarda kullanılmaktadır.. Sahip olduğu hazne içerisinde tozu ve bilyeleri tutar ve dakika içerisinde yaklaşık olarak 4 eksende hem aşağı yukarı hem ileri geri olacak şekilde hareket sağlar. Bu sayede karışımın çok eksende karışımı sağlanarak daha yüksek verimlilik elde edilmiş olur. Haznenin her bir salınımında bilyeler tozlara çarpar ve hazne içerisindeki tozu hem öğütür hem de karıştırmış olur. Bu işlemler esnasında içerisindeki toz miktarına bağlı olarak sıcaklık artışı gibi dezavantajlar oluşabilmektedir [21].

Dikkat edilmesi gereken önemli konulardan bir tanesi seçilecek toz kavanozunun cinsinin uygun olarak seçilmesidir. Eğer ki uygun türde bir seçim gerçekleşmezse tozla reaksiyon gerçekleştirebilir [22]. Örneğin Volfram Grafit alaşımlanması yapılacaksa kullanılan kavanoz Volfram esaslı olmalıdır. Bu cihazlar çalışma esnasında 5 cm. civarında genlik olarak salınmaktadırlar. Bu cihazlarda genellikle volfram karbür, alümina, soğutma işlemi görmüş çelikler, paslanmaz çelikler ve plastik kavanozlar örnek gösterilebilir. Daha önce bahsedilen gezegensel bilyeli öğütücülerle kıyaslandığında Spex cihazları daha çok daha sıklığına sahip olmasından dolayı daha yüksek verime sahiptir. Şekil 1.8'de gösterildiği gibi Spex değirmen ve öğütme kabıyla beraber kapak, conta ve bilyelerden oluşan öğütme seti bulunmaktadır [7, 23].



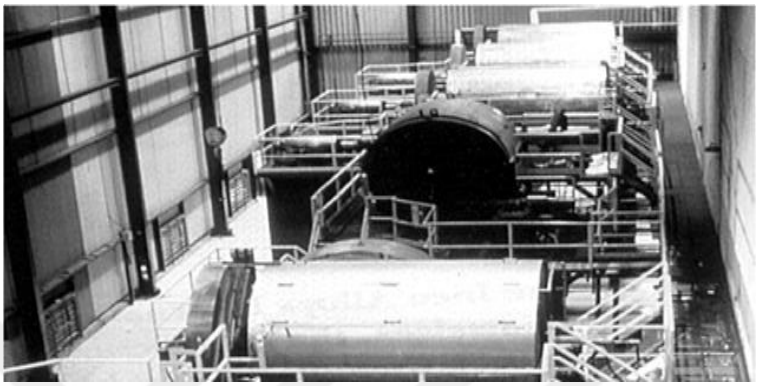
Şekil 1.8. Spex öğütme cihazı [22]

Atritör tipi öğütücüler ise içerisinde bir seri karıştırıcılar bulunan dikey bir silindirden oluşur. Biri diğerine dik yerleştirilen karıştırıcılar, kazan içerisindeki bilyelere enerji verir. Bilyelerin, kap duvarıyla, birbirleriyle ve karıştırıcı mil arasındaki çarpışmalarıyla toz boyutunun küçülmesine neden olur. Güçlü bir motor karıştırıcıyı çevirir ve bu çevrilen karıştırıcı da sabit silindir içerisindeki çelik bilyeleri ve tozları hareket ettirir. Atritörler, içerisinde bir seferde çok miktarda tozun (0,1 kg'dan 40 kg'a kadar) öğütülebildiği değirmenlerdir. Bu işlemleri farklı atmosferler içerisinde yapmak mümkündür [11]. Bu karıştırıcı içerisinde dönme hızı arttıkça öğütme oranında da hızlı bir artış görünür. Atritör kazanları kauçuk, paslanmaz çelik, silikon nitrit gibi malzemeler ile kaplanmaktadır. Bu sayede bu kadar yüksek mukavemete sahip çarpmalar sonrası hasar oluşumu engellenmiş olur. Ayrıca atritör çeşitlerinden olan deney atritörleri konvansiyonel atritörlere göre on kata kadar daha hızlı çalışmaktadır [4].



Şekil 1.9. Atritör tipi bilyeli değirmen [3]

Aynı zamanda ticari olarak en çok kullanımda olan Atritör tip değirmenler sayesinde üretim gerçekleştirilmekte ve elde edilen veriler ürüne dönüşmektedir. Yaklaşık olarak 1250 kg. toz öğütme kapasitesine sahip olan bu öğütücüler ticari öğütücü olarak bilinip şekil 1.10'da gösterilmiştir.



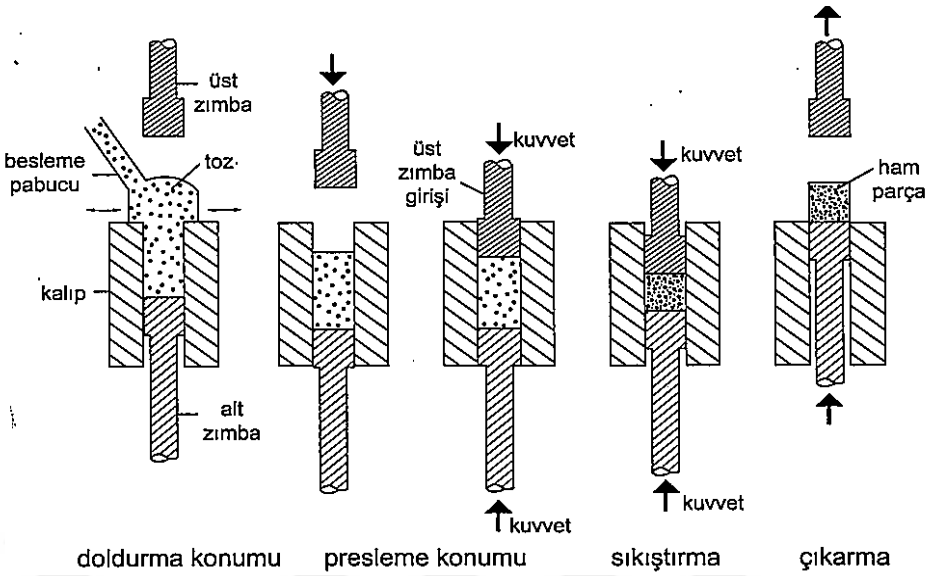
Şekil 1.10. Ticari atritör ünitesi [3]

MA yöntemi sayesinde karıştırma işlemi sağlandıktan sonra elde edilen tozlar öncelikle karıştırma sonrasında sinterleme işlemlerine dahil edilerek başlangıçta katılmış olan tozlardan istenilen şekil ve yapıda MMK malzemeler elde edilir [4, 11].

Presleme işleminde toz karışımından sıkıştırılmış numunelerin elde edilmesi amaçlanır. Bu aşama TM yönteminde en önemli aşamalardan birisidir. Sebebi ise bu aşamada tozun yoğunluğunun homojen olarak dağılımının bu aşamada gerçekleşiyor olmasıdır. Presleme işleminde amaçlananlar kısaca şu şekildedir.

- Tozları istenilen şekle uygun bir kalıpta preslemek ve istenilen şekli elde etmek
- Üretilen üründe istenilen gözeneklilik oranını elde etmek
- Bir sonraki kullanım aşaması için gerekli olan gücü sağlamak
- Sinterleme işlemi esnasındaki boyutsal değişimleri de gözeterek istenilen boyutlara uygun bir kalıp içerisinde presleme işlemini uygulamak [22, 23]

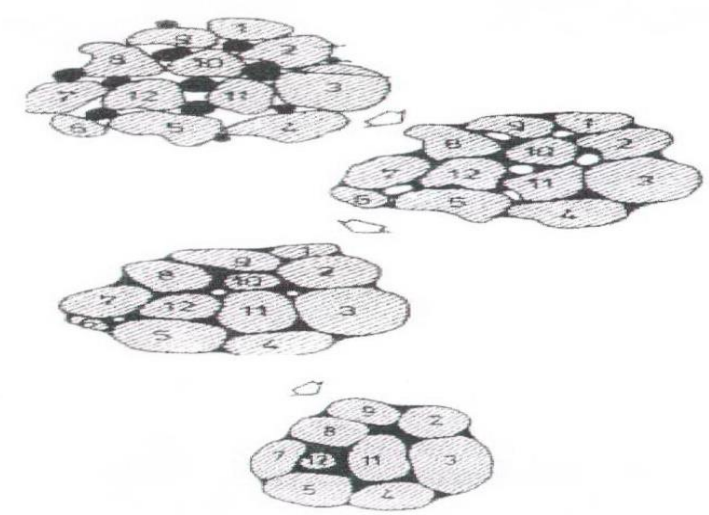
Presleme işleminde önemli olan uygulanan presin homojen dağılım sağlayacak şekilde kalıba baskı uygulamasıdır. Ve basınç uygulama esnasında hedeflenen basınç değerini sabit tutmaktır. Bu yüzden genellikle hidrolik presler ve rijit kalıplar kullanılmaktadır.



Şekil 1.11. Tek yönlü presleme işleminin şematiksel gösterimi [4]

Presleme işleminden sonra ise belirli bir şekle girmiş toz malzeme kalıbıyla birlikte sinterlenir. Sinterleme termal enerji uygulanarak metal ve seramik tozlarından yoğunluk–kontrollü malzemeler ve bileşenler elde edilmesinde kullanılan bir işlemdir. Bu işlemde kılcal kuvvetlerin etkisindeki atomik difüzyon sayesinde, taneli malzemedeki partiküller arası gözenekler yok sayılırlar [23,24].

Sinterleme işleminde toz parçacıklarının birbirine bağlanması sağlayarak önemli ölçüde mukavemet artışına ve özelliklerin ilerleme kat etmesine sebep olan ısıtma işlemidir. Yüksek sıcaklıklarda atomların yayınımı ve küçük parçacıkların yüzey enerjisinin azalmasıyla gerçekleşir.



Şekil 1.12. Sinterleme aşamaları [26]

Şekil 1.12'da gösterildiği üzere zamanla tozlar bir araya gelerek boyun verme olarak adlandırılan işlem gerçekleşerek sinterleme işlemi gerçekleşmekte ve farklı özelliklere sahip toz parçaları enerjilenerek ve yüzey alanlarını değiştirerek bir başka element ile tepkimeye girmektedir.

Sinterleme işlemi partiküller arası bağlarla gerçekleşir. Sinterleme işlemi katı hal, karışım toz, destekli ve sıvı hal sinterlemesi gibi gruplara ayrılır. Katı hal sinterlemesinde tozların erime noktasına ulaşmayacak bir sıcaklıkta ısıtma mevcuttur. Bunlar içerisinde yaygın olarak kullanımda olan sıvı faz sinterlemesinde sıvı faz ile birlikte katı partiküller oluşur. Bu sinterleme türü endüstriyel ve ticari alanda kullanılmaktadır. Bu olayda basınç önemlidir. Bütün sinterleme olayları dış basınç olmadan gerçekleştirilir [24].

Sıvı faz sinterlemesinin ilk kullanımı Incalar döneminde metaller üzerinde olmuştur. Modern anlamda ise sinterleme teknolojileri takım tezgahlarında sıkça kullanılan sementit karbürlerin üretimi ile başlamıştır.

Sıvı faz sinterlemesi elektronik, seramik, ferritler, yüksek sıcaklık seramikleri, bronz yataklar, süper alaşımlar ve otomotiv yapı malzemelerinin üretiminde sıkça kullanılmaktadır. Sıvı fazda difüzyon hızlı olur. Sıvı fazlı sinterleme parçacıklar arası sürtünmeyi azaltarak yeniden düzenlenmesini hızlandırır. Katı parçacıkların keskin olan ucaları sıvı tarafından çözüldüğü için parçacıkların daha da iyi bir şekilde yerleşimi sağlanmaktadır. Bu sinterleme çeşitinde tane büyüklüğü kontrolü mümkündür [26].

Ancak avantajlarının yanında sahip olduğu bazı dezavantajları da vardır bu yöntemin. Bunlardan en önemlisi aşırı şekilde oluşan sıvı faz oluşumu ile birlikte elde edilen ürün içerisinde şekil bozukluklarının meydana gelmesidir. Tablo 1.2'de sıvı faz uygulamalarına örnekler verilmektedir [25-27].

Tablo 1.2. Sıvı faz sinterleme uygulamaları [16]

Sistem	**Uygulama**
Volfram karbür+ Kobalt (Nikel)	Kesici ve Takım Tezgahları
Cu+Sn	Kendinden Yağlamalı Yataklar
Al+Pb	Aşınma ve Yatak Yüzeyleri
W+Ni+Fe	Radyasyon Kalkanları
Al_2O_3+SiO_2	Çelik Üretiminde Kullanılan Reflektör
Pb+Sn	Lehim Macunları
Al+Si+Cu	Hafif Yapısal Parçalar
Ag+Hg	Diş Hekimliği Amalgam Dolgu Malzemesi
Fe+P	Manyetik Parçalar

2. BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Çalışmalar Esnasında Kullanılan Ekipmanlar ve Özellikleri

Bu tez çalışmasında tozların karışım işleminde mekanik alaşımlama cihazı (Şekil 2.1) kullanılmıştır. Bu cihaz sayesinde tek yönlü dönüş yerine daha farklı yönlerde dönü hareketi oluşturarak hazne içerisine atılan bilyelerin merkezkaç etkisiyle hazne iç çeperine yapışıp kalması önlenir. Böylece sürekli birbirine çarpan toz ve bilyeler alaşımlama işlemini gerçekleştirir.

Burada 101 rpm. olarak belirlediğimiz dönü hareketi alaşımlama işlemi üzerine yapılan literatür çalışmalarındaki devir sayıları ile kıyaslandığında 200-3000 rpm arası değişen değerlere göre düşük bir değerdir. Bu çalışmada düşük devirde dönü sağlayan bu cihazın alaşım oluşturmak için yeterli bir değere sahip olup olmadığı da bu sayede görülecektir. Mekanik alaşımlama cihazının özellikleri kısaca şu şekildedir;

- Bölümleri paslanmaz çelikten imal edilmiştir.
- Sahip olduğu kasnak mekanizması sayesinde devir ayarı yapılabilmektedir.
- İçerisinde zamanlayıcı, takometre ve frekans dönüştürücü mevcuttur.
- Tezgâh üstü bir modeldir.
- Sahip olduğu hazne içerisinde 2lt. kadarlık kıstırma alanı mevcuttur.



Şekil 2.1. Mekanik alaşımlama cihazı [29]

Yapılan çalışmalarda kullanılan tozların ve bu tozlardan elde edilen alaşımların malzeme karekterizasyonunu görüntüleyebilmek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır (Şekil 2.2). SEM cihazı kısaca içerisinde tek bir noktadan odaklanmış elektron demeti ile malzemenin yüzeyini tarayarak görüntü elde eden cihazdır. Malzeme yüzeyine objektif mercekle odaklanarak gönderilen elektron demetleri malzeme yüzeyi ile yaptığı fiziksel etkileşim sonrasında ortaya çıkan sinyaller toplanır ve görüntü elde edilir. SEM bilgisayarına gelen birden fazla elektron demeti vardır. Bunlardan birisi ikincil elektronlar olup bunlar yüzeyin alt bölgesinde yansıma yaparak dönen elektronlardır ve bunlar sayesinde yüzey görüntüsü elde edilir. Diğer bir elektron demeti ise incelen malzemenin yaklaşım 1000nm kadar derinlerine inen elektron demetlerinin, atomların iç yörüngesinden 1 elektron koparması ve bunun sonucunda enerji dengelemesi amacıyla bir üst yörüngeden elektronun bu yörüngeye geçmesiyle oluşan x ışınlarıdır. Bu ışınlar dedektörler tarafından toplanıp SEM bilgisayarına gönderilir ve bu sayede incelenen malzemenin element bakımından nitel ve nicel özellikleri betimlenmiş olur [28].



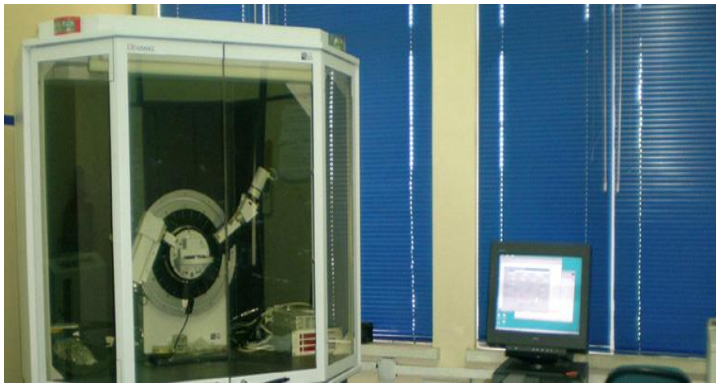
Şekil 2.2. Taramalı elektron mikroskobu [29]

SEM cihazının sahip olduğu özellikler şu şekildedir;

- Yüksek parlaklık özelliğine sahip X ışını analizi için özel olarak geliştirilmiş LaB6 kaynak seçeneği
- Maksimum numune yüksekliği: 100 mm.
- Maksimum numune çapı: 200 mm.
- 3 eksende dönüş açı kabiliyeti: 80x100x35 mm
- Yüksek vakum modu sayesinde iletken numunelerde en iyi kalitede görüntüleme ve analiz özelliği
- Değişken basınç modu sayesinde kaplama yapılmamış iletken ve iletken olmayan malzemelerde ileri seviye görüntüleme ve analiz
- Bilgisayar kontrollü olup numune yüzeyinin mikro yapısını ve farklı kristal yapıların analizi

MA işlemi sonrasında karışması ve alaşımlanması istenen tozların durumunu incelemek amacıyla X-Ray Powder Diffractometer (XRD) cihazına; MA işlemine tabi tutulan Al, Zn, Mg, Cu ve SiC'den oluşan tozlardan küçük numuneler alınarak konulur. X-ışınları toz difraksiyon cihazından test numunesi üzerine X ışınları gönderilir. Numune üzerine gelen X ışınlarını, numune içerisinde bulunan her bir tanecik yapının fazına bağlı olarak her bir tanecik karakteristik bir şekilde x ışınını kırar ve yayılım yapar. Toplayıcı proplar sayesinde elde edilen X ışınları malzeme içerisinde bulunan tozların miktarları, özellikleri ve yüzde olarak dağılımlarını belirlememizde yardımcı olur. Elde edilen grafiklerdeki pik değerlerine bakılarak yorum yapılır. Burada Al piklerine bakılarak MA'ya alaşımlama süresinin etkisi ve Zn miktarında yapılan değişimin alaşımlamaya olan etkisi araştırılacaktır [29].

Bu tez çalışmasında Şekil 2.3.'de gösterilen X-Işınları Difraktometresi kullanılmıştır. Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi içerisinde mevcut bulunan ve aşağıda özellikleri verilen bu cihaz sayesinde mevcut malzemelerin alaşıma katılma oranları hakkında, alaşım oluşturamayıp kalan tozların durumları hakkında bilgi elde etmemizi sağlayacaktır.



Şekil 2.3. X-ışınları toz difraksiyon cihazı [30]

Bu XRD cihazının özellikleri kısaca şu şekildedir;

- Bilgisayar kontrollü olarak çalışma kapasitesine sahiptir,
- X ışını kaçaklarına karşı son derece yüksek dayanıma sahip özel kabin içerisinde korunmaktadır.
- Kesintisiz ve düzenleyiciye sahip bir güç kaynağı tarafından sistem enerjilendirilmektedir. Elektrik kesintisine karşı cihaz kesinti sonrasında 2 saat çalıştırma kapasitesine sahip güç kaynağı mevcuttur,
- Numunelerin özelliğine veya isteğe bağlı olarak değişik yarık genişliğine sahip bölgeler kullanılabilmektedir.
- Difraktometre ölçüm çapı 435, 500 ve 600 mm çaplı değerlere sahip olup, ara değerlere ayarlamak da mümkün olabilmektedir.
- Numenin ölçüm aralığı 2θ cinsinden –110° ile 168° açı aralığında yapılabilmektedir [29, 30].

2.2. Kullanılan Tozların Özellikleri

Bu tez çalışmasında kullanılan Al, SiC, Mg, Cu ve Zn tozlarının saflık değerleri ve tanecik boyutları Tablo 1.3.'de verilmiştir. Burada tozların tanecik boyutları ve saflık yüzdeleri seçilirken yapılan literatür araştırmalarındaki değerler veya bu değerlere yakın olan değerler seçilmiştir.

Tablo 2.1. Kullanılan tozların özellikleri

	Al	SiC	Zn	Mg	Cu
Saflık Değeri	% 99,5	%99,5	%97,5	%99	%99,9
Tanecik Boyutu	7-15 µm	7 µm	4-7 µm	45 µm	10 µm

2.3. Mekanik Alaşımlama İşlemi

Mekanik alaşımlama cihazının içerisine plastik şişelerle yerleştirme yapılmıştır. Şişelerin içerisine Al, SiC, Mg, Cu ve Zn tozlarıyla birlikte tanesi 1.04 gr. olan 1/4'' çapında 70 adet ve 3.52 gr. olan 3/4'' çapında 40 adet çelik bilye konulmuştur. Oksitlenmenin önüne geçmek için şişeler argon ile doldurulmuştur. 101 dev/dak. süre ile bu cihaz içerisinde karıştırma işlemleri yapılmıştır.

2.4. Numunelerin İçerikleri ve Farklılıklar

Farklı oranlarda tozlardan oluşan ve farklı sürelerde karıştırılan tozların özellikleri Tablo 2.2.'de gösterildiği gibidir.

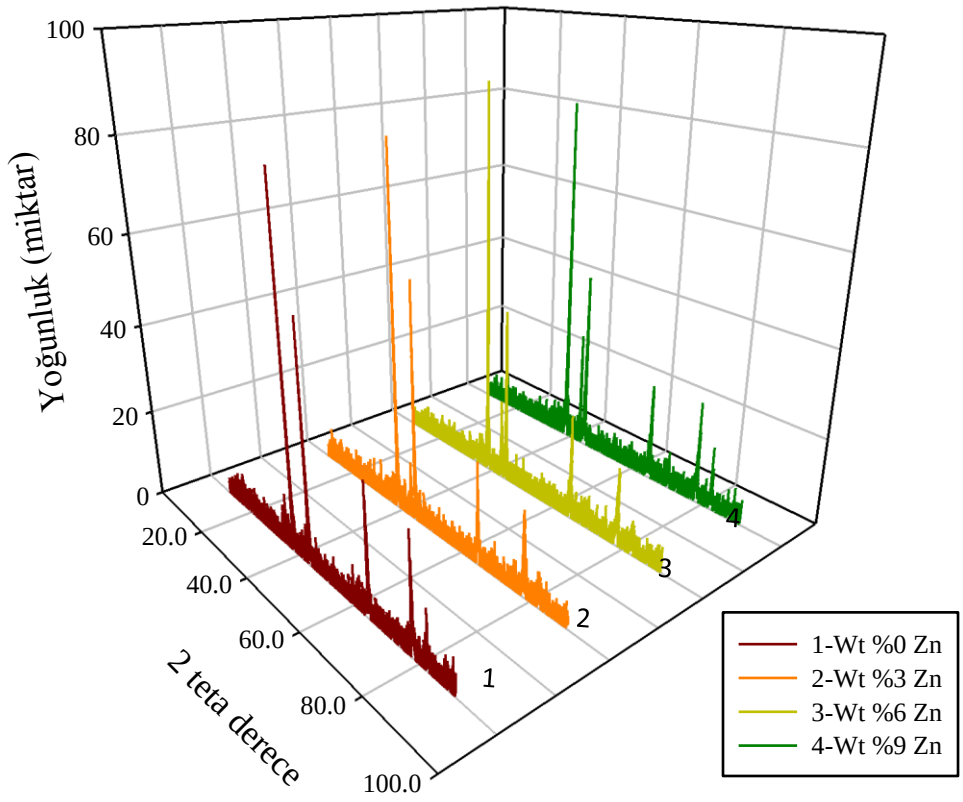
Tablo 2.2. Toz oranları ve alaşımlama süreleri

Numune No	**Malzemelerin Ağırlıkça Katılma Oranları (Wt %)**					**Karıştırma Süresi (saat)**
	Al	Zn	Mg	Cu	SiC	
1	%90	%0	%3	%2	%5	5
2	%87	%3	%3	%2	%5	5
3	%84	%6	%3	%2	%5	5
4	%81	%9	%3	%2	%5	5
5	%90	%0	%3	%2	%5	10
6	%87	%3	%3	%2	%5	10
7	%84	%6	%3	%2	%5	10
8	%81	%9	%3	%2	%5	10

2.5. XRD Analizi

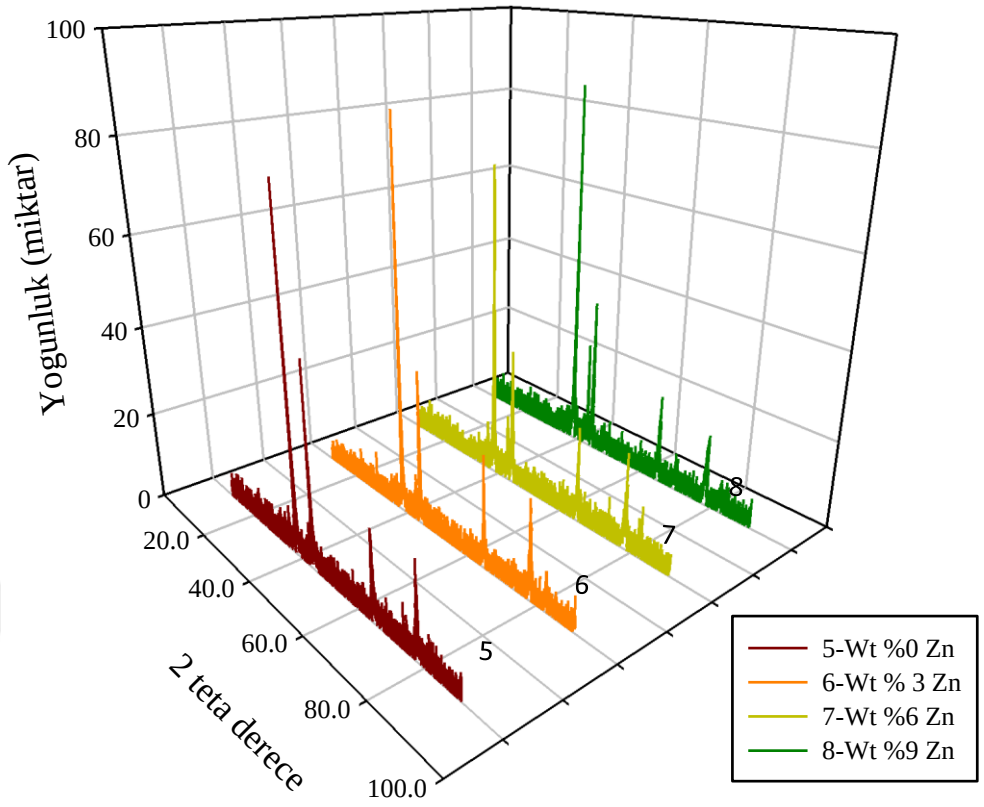
Alaşımlama işlemi sonrasında Tablo 2.2.'de belirtilen oran ve sürelerde karıştırılan numunelerin ayrı ayrı XRD grafikleri alınarak Al tozlarının oluşturmuş olduğu piklerdeki değişim incelenmiştir.

Şekil 2.4.'e bakıldığında Al piklerinde Zn ağırlıkça %0'dan %6 ya ulaşana kadar bir artış, Zn miktarı %9 olduğunda ise bir azalma vardır. Yani Zn miktarı %6'ya gelene kadar Zn miktarı arttıkça Al tozunun alaşım oluşturma oranı azalmıştır. Fakat %6 sonrasında pik boyu küçülmüş ve Al daha fazla alaşım oluşumuna katılmıştır.



Şekil 2.4. MA süresi 5 saat olan karışımların XRD grafikleri

Şekil 2.5.'te ise MA süresi 10 saat olan karışımların XRD grafikleri çizilmiştir. Bu grafikler üzerinden Al piklerine bakıldığın yine aynı şekilde Zn ağırlıkça %0'dan %3'e gelene kadar Zn miktarındaki artış Al tozların alaşım oluşumunu azaltacak şekilde bir etki oluşturmuştur. Ancak 5 saatlik MA işlemine maruz kalmış numunelerin tersine 10 saatlik MA işlemi sonrasında %6 oranında Zn ilavesiyle Al pikleri küçülmüş yani Al tozları daha fazla alaşımlamaya dahil olmuşlardır. Fakat %9 değerine ulaştığında yine aynı şekilde Zn miktarındaki artış Al tozlarının alaşıma dahil olma oranını azaltıcı yönde etkilemiştir. Bu iki farklı sürelerde karıştırılan karışımlar karşılaştırıldığında ağırlıkça %6 Zn'nin 10 saatlik MA süresinde en ideal karışımın oluşmasına katkı sağladığı ve en çok Al tozunun bu durumda alaşımlandığı gözlenmiştir. Şekil 2.12.'deki optik mikroskop görüntülerinde de Al tozlarını gösteren bölgenin 10 saatlik MA sürecinde daha da azaldığı bunun bir diğer ispatıdır.



Şekil 2.5. MA süresi 10 saat olan karışımların XRD grafikleri

2.6. Kristal Boyut Analizi

XRD cihazı sayesinde malzemeler içerisinden elde edilen bilgelerden faydalanarak Scherrer Denklemi (Denklem 2.1.) kullanılarak partikül boyutları belirlenmiştir. Bu formül bizlere mikron altı parçacıkların boyutunu bulmamızı sağlamaktadır.

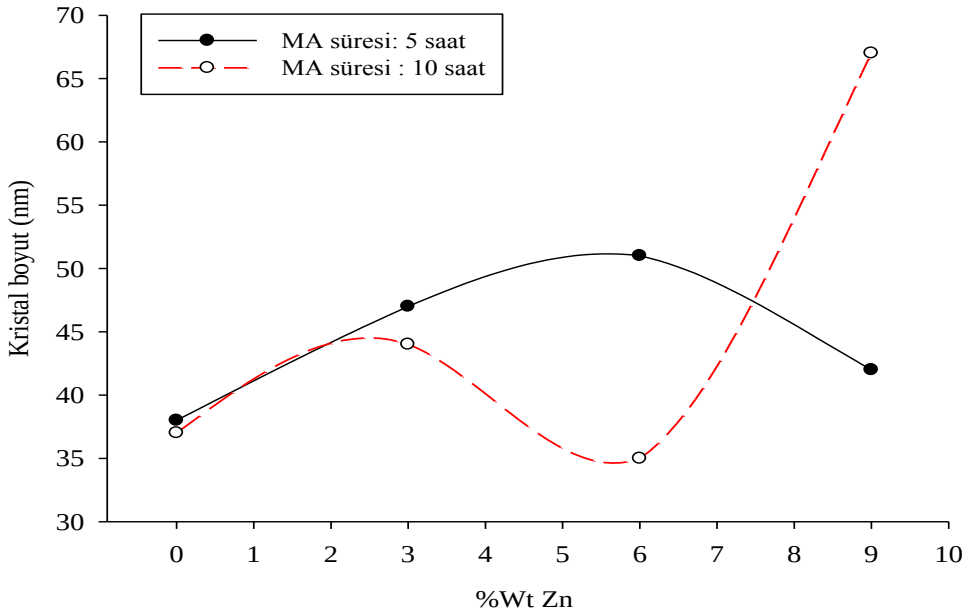
$$t = K\lambda/(B\cos\theta \tag{2.1}$$

Denklem 2.1.'de t; parçacık boyutuna eşit veya daha küçük olan kristal boyutu, k; 0 ile 1 arasında ve 1'e yakın bir değerde birimsiz şekil faktörünü, λ ; X-ışını kırınım dalga boyunu, B: maksimum yoğunluğun yarı noktasındaki dalga genişlemesini ve θ: Bragg açısını ifade etmektedir [31].

Yapılan MA işlemi sonrasında tozların XRD grafiklerinden elde edilen verilerle kristal boyut değerleri nm cinsinden hesaplanmıştır. Elde edilen sonuç Şekil 2.6.'da gösterildiği gibidir. MA süresinin kristal boyuta olan etkisi incelendiğinde ağırlıkça %9 Zn oranına sahip numune dışında MA süresi arttıkça kristal boyutta azalma vardır. En fazla fark ise %6 Zn oranına sahip numune oluşmuştur. Kristal boyut 51 nm'den 35 nm'ye düşerek 10 saatlik MA sürecinde ve ağırlıkça %6 Zn ilaveli numunede en ideal

kristal boyut elde edilmiştir. Zaten bu ibarenin bir diğer ispatı olarak Şekil 2.5.'te gösterildiği gibi Al piklerinin en küçük olduğu ve alaşımlamanın en çok olduğu alaşımda ağırlıkça %6 Zn içeren numunedir.

Zn'nin etkisi araştırıldığında ise Şekil 2.4. ve Şekil 2.5. ile bağlantılı olarak en ideal karışım 10 saatlik MA içerisinde üretilen ağırlıkça % 6 Zn oranına sahip karışımdır.



Şekil 2.6. Kristal Boyutun Zn miktarına ve MA süresine göre değişimi

2.7. Sinterleme İşlemi

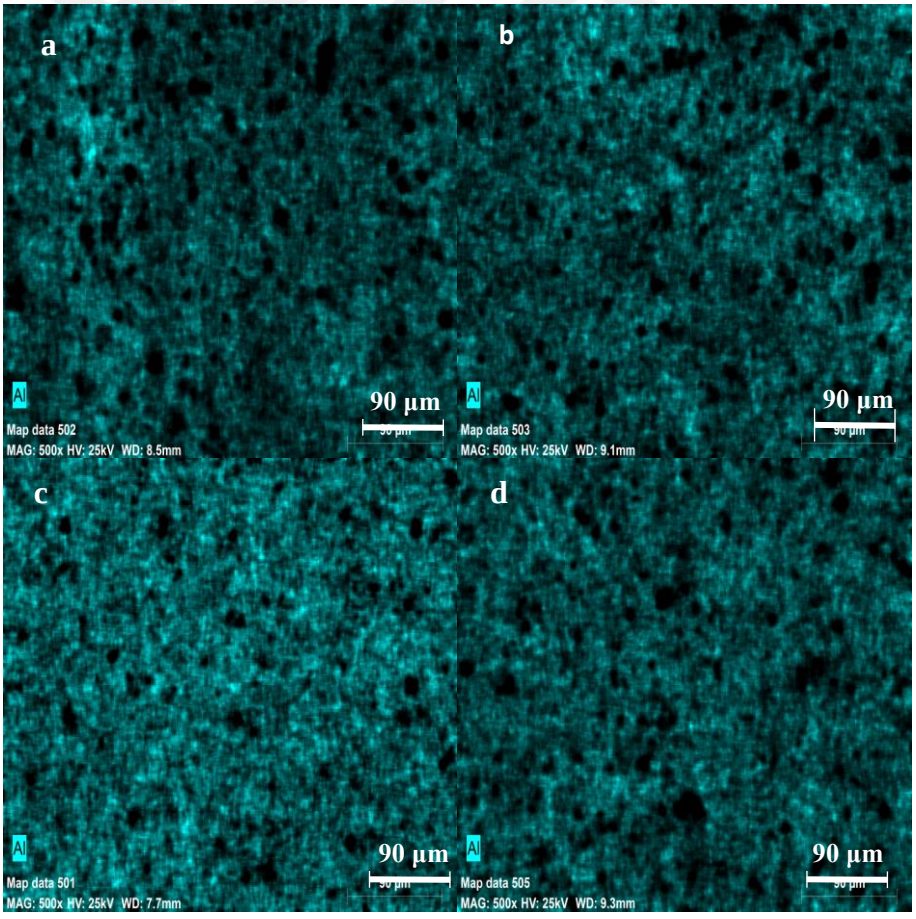
H13 çelik malzemesi kullanılarak Şekil 2.7.'de gösterilen 50 mm dış çeper çapı, 20 mm iç çeper çapı, 65 mm yüksekliğe sahip kovanla birlikte 19,8 mm çap ve sırasıyla 15 ve 25 mm'lik yüksekliklere sahip 2 adette kapakçık üretilmiştir. Sinterleme işlemi öncesinde kalıp iç ve yanal yüzeylerine toz ve kalıp arasında yapışma olmaması için yağlayıcı uygulanmıştır. 20 mm çapında ve yaklaşık 40 mm uzunluğa sahip alana MA işlemi sonrası elde edilen tozlar sırasıyla dökülerek Erciyes Üniversitesi Malzeme Mühendisliği Kompozit Malzeme Laboratuvarında mevcut bulunan 250 Tonluk hidrolik presle birlikte çalışma özelliğine sahip bir fırında sinterlenmiştir. Fırın içerisi argon ile beslenmektedir. Her bir numune için 600 °C sıcaklıkta 20 dakika süre boyunca 20 bar basınç uygulanmıştır.



Şekil 2.7. H13 çelik malzemeden yapılmış sinterleme kalıpları

2.8. Sinterleme Sonrası Mikro Yapının İncelenmesi

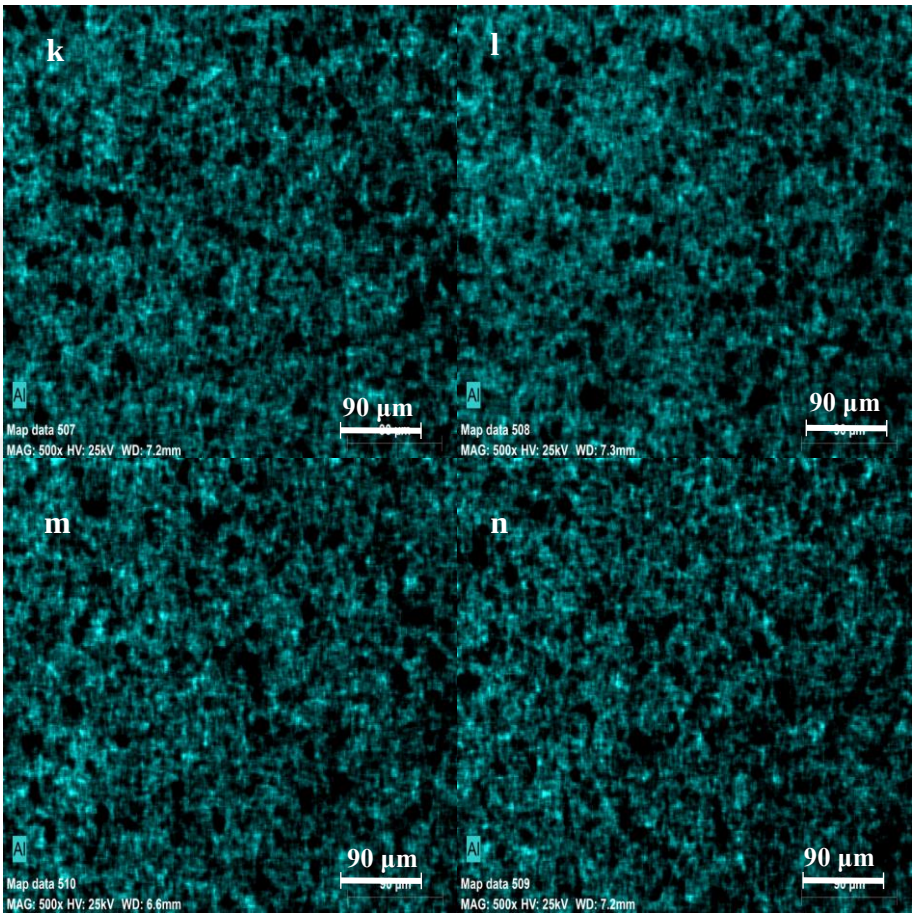
Elde edilen her bir billetin sem görüntüleri alınmak için tek taraflı yüzeyleri parlatılmış ve parlatılan yüzeylerin SEM cihazında görüntüleri alınmıştır. Aynı zamanda mapping işlemi sayesinde başlangıçta katılan tozların billet içerisindeki dağılım şekilleri elde edilmiştir.



Şekil 2.8. Al tozlarının MA süresi 5 saatte mapping görüntüleri

a) %0 Zn b) %3 Zn c) %6 Zn d) %9 Zn

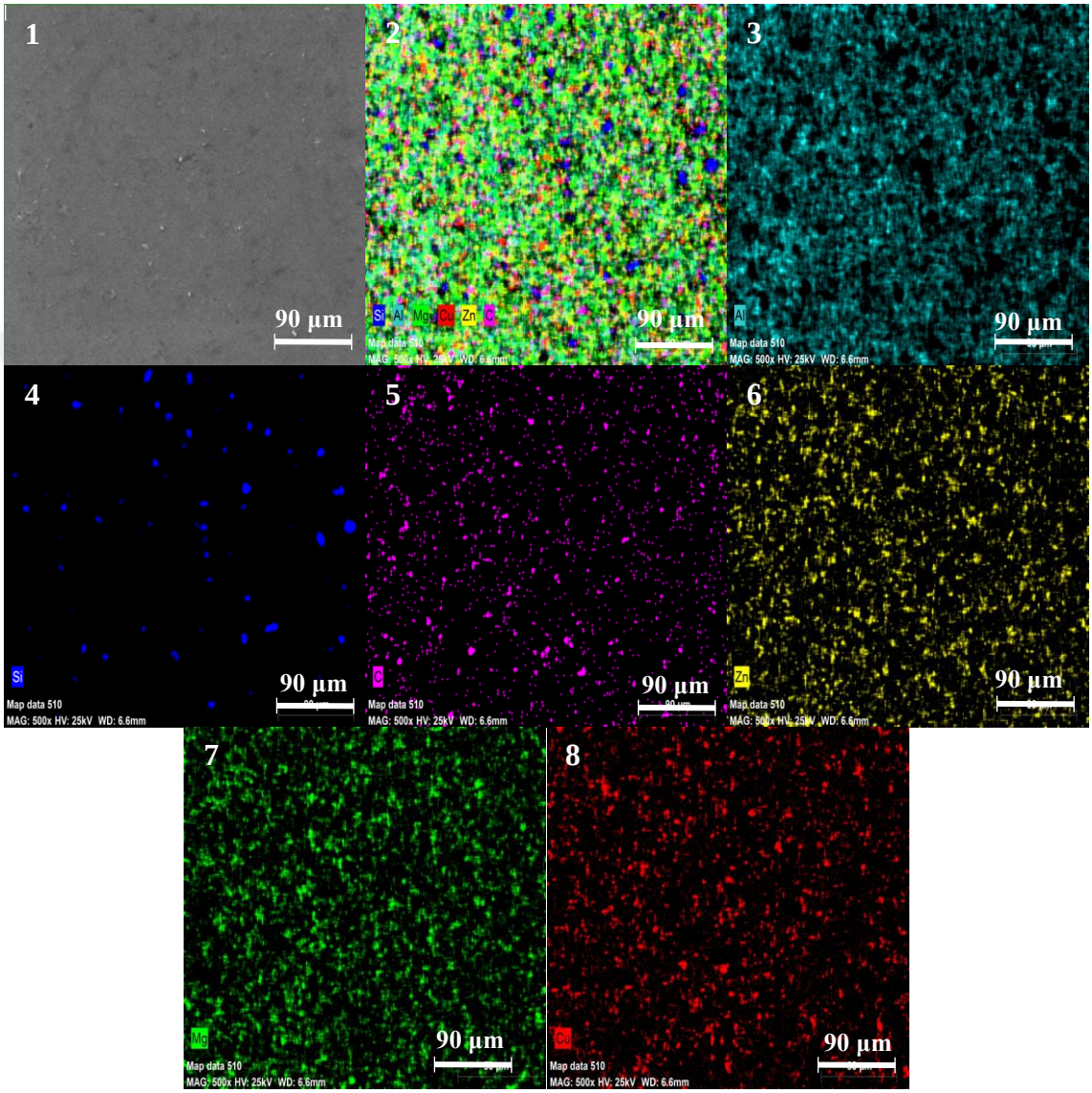
Şekil 2.8.'de billetlerdeki Al tozlarının görüntüleri verilmiştir. Buna göre Zn miktarı %0'dan %6 'ya kadarlık artışında Al tozlarının Zn miktarıyla ters orantılı olarak alaşım oluşturma eğiliminin azaldığı ve %9 değerinde Al tozlarının Zn tozlarına bağlı olarak alaşım oluşturma yönünde artış gösterdiği görülmüştür. Ancak sonuç olarak bakıldığında 5 saatlik MA işleminde Zn tozları; Al tozlarının alaşım oluşturmasına olumsuz yönde etki ettiği görülmüştür. Şekil 2.4.'teki pik boyutlarına bakıldığında da alınan mapping görüntüleriyle XRD sonuçlarının aynı sonucu verdiği görülmektedir.



Şekil 2.9. Al tozlarının MA süresi 10 saatken mapping görüntüleri
k) %0 Zn l) %3 Zn m) %6 Zn n) %9 Zn

Şekil 2.9.'a göre billetlerdeki Al tozlarının görüntüleri verilmiştir. Bu görüntülere göre Zn miktarı %0 dan %3'e geldiğinde Al miktarında artış olmuş % 6 da azalma % 9 da tekrar artış olmuştur. Ancak Şekil 2.9.k. ve Şekil 2.9.m. karşılaştırıldığında % 6 oranında Zn katılmasına rağmen hiç Zn olmayan numunedeki Al miktarından daha fazla Al alaşım oluşturmuştur.

Şekil 2.5.'teki XRD sonuçlarında da bu açıkça görünmektedir ki 10 saatlik alaşımlama süresinde ve % 6 Zn miktarında, 8 ayrı numune içinde en fazla Al tozunun alaşıma katıldığı numune elde edilmiştir.



Şekil 2.10. Wt. % 6 Zn içeren numunenin SEM ve Mapping görüntüleri

1) Sem görüntüsü 2) Tüm elementler 3) Al partikülü 4) Si partikülü 5) C partikülü 6)Zn partikülü 7) Mg partikülü 8) Cu partikülü

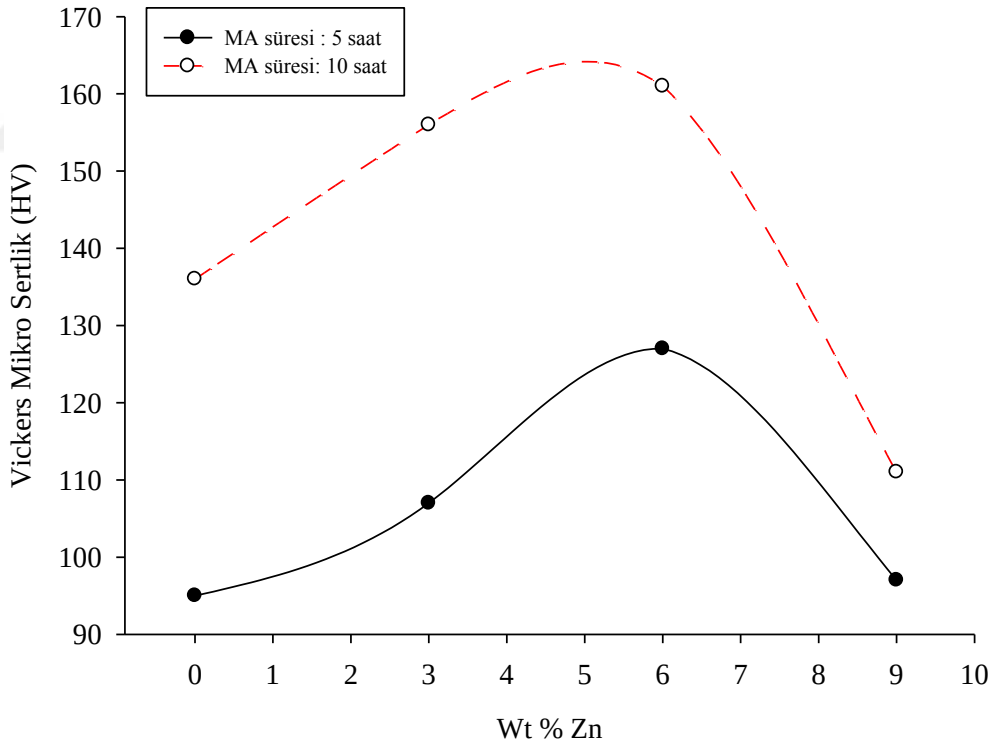
Şekil 2.10.'da Wt. % 6 Zn içeren numunenin partikül dağılımı verilmektedir. Bu numune diğer numunelere göre en homojen dağılımın ve en yüksek alaşımlamanın olduğu karışımdır. Buna hem MA süresinin 5 saatten 10 saate çıkması hem de bu süreli karıştırmada %6 Zn oranında Al tozlarının artık diğer tozlarla alaşım oluşturma eğiliminin en yüksek oluşu neden olmuştur.

2.9. Numunelerin Vickers Mikro Sertlik Testleri

Numuneler sinterlendikten sonra parlatılarak Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezindeki Emco Test Duroscan cihazında sertlik testi yapılmıştır [28]. Yükleme olarak 500 gram yük uygulanmıştır. MA süresi ve Zn oranında farklılıklar olan 8 numunenin sertlik sonuçları Şekil 2.11.'deki gibidir.

Elde edilen sonuçlara göre sertlik değeri her iki sürede yapılan numunelerde %6 Zn'ye kadar artış göstermektedir. Fakat %9 Zn katıldığında birden Zn'nin sertliğe olan etkisi değişmiş sertlik değeri Zn artışına rağmen azalmıştır.

Mekanik alaşımlama süresi 5 saatten 10 saate çıkmasıyla birlikte doğrudan sertlik değerleri artış göstermiştir. Bunun sebebi ise alaşımlama esnasında Zn ve SiC tozlarının alaşımlama sürecinin artmasıyla birlikte daha homojen bir dağılım göstermesidir. Buna göre en ideal oranın %6 oranında Zn kullanımı ve MA sürecinin artırılmasıdır.



Şekil 2.11. Wt %Zn- vickers mikro sertlik grafiği

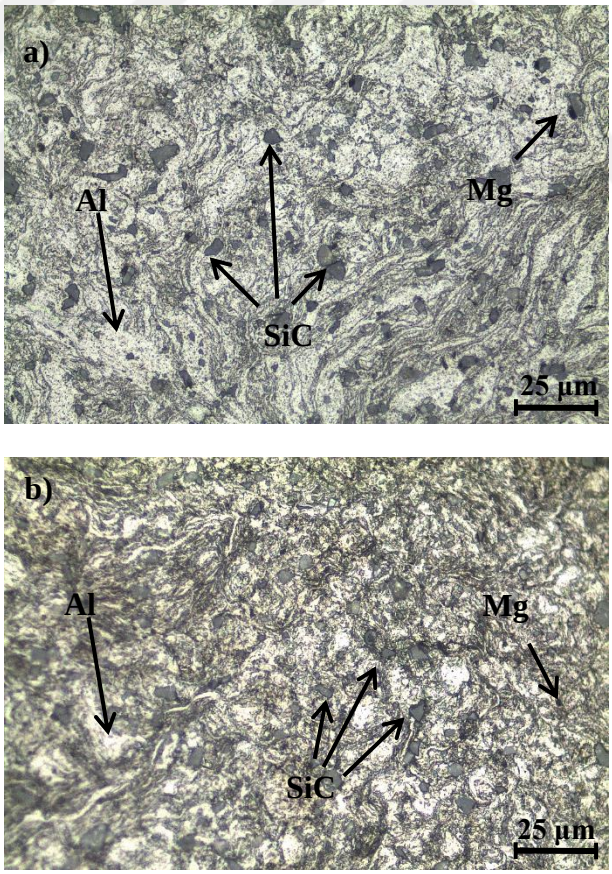
2.10. Numunelerin Optik Mikroskoptaki Görüntüleri

Parlatılan numuneler keller ayıracı ile dağlandıktan sonra Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezindeki Leica Lmd metal mikroskobunda görüntüleri incelenmiştir. Keller ayıracına ait içerik Tablo 2.3.'de gösterilmiştir [28].

Tablo 2.3. Keller ayıracının içeriği

HF	HCI	HNO_3	H_2O
%1	%1.5	%2.5	%95

Elde edilen optik mikroskop görüntülerine göre (Şekil 2.12.) MA süresi arttıkça daha homojen bir dağılım olduğu görünmektedir. 5 saatlik alaşımlama yapılan numunede 10 saatlik alaşımlama yapılan numuneye göre daha az Al tozu alaşımlanmışken MA süresi 10 saat olan numunede Al tozları daha fazla alaşımlanma işlemine dahil olmuştur. Alaşımlama süresi arttıkça SiC tozları ufalanarak malzeme içerisinde homojen dağılım sergilemiştir. Bundan dolayı aynı miktarlardaki tozlardan oluşan bu iki alaşımda MA süresi 5 saat olan numunenin sertlik değeri 127 HV iken MA süresi 10 saat olan numunenin sertlik değeri 161 HV çıkmıştır (Şekil 2.11.).



Şekil 2.12. %6 Zn oranına sahip numunelerin optik mikroskop görüntüsü

a) MA süresi:5saat b) MA süresi:10 saat

3. BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

3.1. Sonuçlar

Yapılan bu tez çalışmasında başta havacılık alanında olmak üzere birçok alanda kullanılan Al tozlarıyla birlikte Zn, Cu ve Mg kullanılarak normal alaşımlama devirlerinden daha düşük bir devire sahip öğütücüde bu tozları karıştırıp alaşımlama ve SiC tozunu da ilave ederek kompozit malzeme üretimi hedeflenmiştir. Sonrasında Zn'nin ağırlıkça yüzdesini ve alaşımlama sürelerini değiştirip 8 ayrı numune elde ederek bu değişikliklerin kompozit malzeme üzerindeki etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

Elde edilen sonuçlar şu şekildedir;

- Vickers mikro sertlik testi sonuçlarına göre MA süresi arttıkça sertlik artmaktadır.
- Ağırlıkça %6'ya kadar Zn miktarı arttıkça sertlik artmış fakat %6'dan sonra sertlik miktarı Zn artışına rağmen azalmaktadır. Bu yüzden bu kompozit malzeme için en ideal sertlik değeri için, en ideal Zn oranı ağırlıkça %6'dır.
- XRD grafikleri incelendiğinde 5 saatlik MA işleminde içerisinde ağırlıkça %0 Zn olan numunede, farklı oranlarda Zn kullanılarak yapılan numunelere göre çok daha fazla Al tozunun alaşım oluşturduğu gözlenmiştir. Yani Zn kullanımı sertlik artışında yardımcı olurken Al tozlarının MA sayesinde alaşım oluşturmasını kısıtlamıştır.
- XRD grafikleri incelendiğinde 10 saatlik MA sonrasında sadece ağırlıkça %6 Zn içeren numunede Zn'siz oluşturulan numuneye göre daha çok Al tozlarının alaşımlandığı görülmüştür.
- Kristal boyut hesaplarına göre MA süresi arttıkça kristal boyut azalmıştır.

- En küçük kristal boyut, en yüksek sertlik değeri, en fazla Al tozlarının alaşımlanmaya dahil olması ve SiC tozlarının en homojen dağılım gösterdiği numune ağırlıkça %6 Zn oranına sahip 10 saat MA süresi ile üretilmiş olan numunedir.
- Sinterleme işlemi sonrasında alınan mapping görüntülerine göre MA süresi arttıkça tozların numune içerisinde daha homojen dağıldıkları görülmüştür.

3.2. Öneriler

- Tozların karıştırıcı hazne içerisine konulurken ve sinterleme işlemi için elde edilen alaşımlanmış tozları kalıp içerisine dökerken oksijenden arındırılmış bir gloove box ortamında bu işlemler yapılmalıdır. Böylece oksitlenme ve alev alma gibi olumsuzlukların önüne geçilebilir.
- Parlatma işlemi esnasında parlatılan yüzeyin olabildiğince pürüzsüz ve düz olması, optik mikroskoptan elde edilen görüntülerin net olmasını sağlamaktadır. Bu yüzden numuneyi sabit şekilde hareketli parlatıcı yüzey üzerinde tutacak düzenek kullanılmalı ve numune yüzeyi pürüzsüz bir şekilde parlatılmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Şahin, Y., 2006. Kompozit Malzemelere Giriş. Seçkin Yayıncılık, Ankara, 424 s.

2. Miracle D., Donaldson S., 2001. ASM Handbook of Composites. ASM International, 1201 pp.

3. Suryanarayana C., 2001. Mechanical alloying and milling. **Progress in Materials Science**, **1**:1-184.

4. German, R., 1994. Powder Metallurgy. Metal Powder Industries Federation, New Jersey, 472 pp.

5. Çiftçi, İ., 2003. Alüminyum Esaslı Kompozitlerde Takviye Oranı ve Boyutunun Mekanik Özellikler ve İşlenebilirlik Üzerine Etkisinin Araştırılması. Gazi Üniversitesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 91 s.

6. Canakci, Aykut., Varol, Temel., 2014. Microstructure and properties of AA7075/Al–SiC composites fabricated using powder metallurgy and hot pressing. **Powder Technology**, **268**: 72-79.

7. Subaşı, E., 2005. Mekanik Alaşımlama Yöntemiyle Volfram Esaslı Toz Malzemelerin Sentezlenmesi ve Sinterleme. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 97 s.

8. Taya, M., Arsenault, R.J., 1989. Metal Matrix Composites: Thermomechanical Behavior. Pergamon Press, New York, 263 pp.

9. Surappa, M., 2003. Aluminium Matrix Composites: Challenges and Opportunities. Indian Institude of Science, Sadhana, 319pp.

10. Ekmen, E Seramik ders notları, MÜ,2005, pp. 1-92.

11. Aeberli K., Pratt P., 1985. The effect of explosive loading on the microstructure of some metals and alloys. **Journal Mater Science**, **20**:16–30.

12. German R., 2005. Powder Metallurgy & Particulate Materials Processing, Metal Powder Industries Federation, Princeton, 528 pp.

13. Diemeter, G., 1988. Mechanical Metallurgy, SI Metric ed., Mc Graw Hill Book Company, Singapore,774pp.

14. Mazundar S., 2002. Composites Manufacturing, Materials, **Product and Process Engineering**, CRC Press, New York, 416 pp.

15. **https://www.epma.com** (Erişim Tarihi: Ekim 2017)

16. Reed, J., 1995. Principles of Ceremics Processing, Second Education, 688 pp.

17. **http://rahmiunal.net** (Erişim Tarihi: Ekim 2017)

18. Sümer, M., 2003. Mekanik Alaşımlama ile Üretilen Fe-Fe3C Kompozit Malzemede Mekanik Özelliklerin Araştırılması. Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 87 s.

19. Ekmen, E., ,2005. Seramik ders notları, MÜ, pp. 1-92.

20. Aktaş, H., 2007. Alüminyum Matrisli Al2O3 Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Alaşımlama Yöntemiyle Üretimi ve Kuru Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

21. Rahimian, M., Parvin, N., Ehsani, N., 2010. Investigation of particle size and amount of alumina on microstructure and mechanical properties of Al matrix composite made by powder metallurgy. **Materials Science and Engineering, 527:** 1031–1038.

22**. http://ats-scientific.com** (Erişim Tarihi: Ekim 2017)

23. Upadhyaya, G.S., 2000. Sintered Metallic and Ceramic Materials: Preparation, Properties, and Applications, Wiley, New York.

24. Kang J., 2005. Sintering: Densification, Grain Growth and Microstructure. **Elsevier, 30:**72-81.

25. Chen, I.W. and Wang, X.H., 2000. Sintering dense nanocrystalline ceramics without final-stage grain growth. **Nature, 404:** 168-171.

26. Brevel, E., Cheng, J., 2004. Comparison between microwave and convenrinal sintering od WC/Co composites. **Materials Science and Engineering**, **312:** 1-11.

27. Zhigang, Z.F., Oladapo O.E., 2005. Liquid phase sintering of functionally graded WC-Co composites. **Scripta Materialia, 52:**785- 791.

28. **http://www.kuark.org/** (Erişim Tarihi: Ekim 2017)

29. **http://ernam.erciyes.edu.tr** (Erişim Tarihi: Ekim 2017)

30. **http://taum.erciyes.edu.tr** (Erişim Tarihi: Ekim 2017)

31. Suryanaryana, C., Norton, M.G., 1998. X-Ray Diffraction A Practical Approach. Plenum Press, New York, 273 pp.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Sezer ÇETİN
Uyruğu: Türkiye
Doğum Tarihi ve Yeri: 06.01.1991 – Kocasinan
Medeni Durumu: Evli
Tel: +90 531 882 53 75
E-mail: sezercetin@thy.com
Yazışma adresi: Kayabaşı Mah. Kayaşehir Bulv. 6. Bölge Yakut Sitesi Blok No: 38 Daire No: 21 Başakşehir/İSTANBUL

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	ERÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Sivil Havacılık ABD	Devam ediyor
Lisans	ERÜ Sivil Havacılık Y.O. Uçak Gövde Motor	2015
Lise	Sema Yazar Anadolu Lisesi	2010
İlkokul	Keykubat İlköğretim Okulu	2005
	Mahzemin İlköğretim Okulu	2002

DENEYİM

Kurum	Unvan	Çalışma Aralığı
Thy Teknik A.Ş.	Uçak Teknisyeni	2015- Halen

YABANCI DİL

İngilizce