



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**TİC/AA2024 KOMPOZİTLERİN MEKANİK
ALAŞIMLAMA YÖNTEMİYLE ÜRETİMİ VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ**

Abdullah YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Abdullah YILMAZ tarafından hazırlanan “TiC/AA2024 Kompozitlerin Mekanik Alaşımlama Yöntemiyle Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi” adlı tez çalışması 25/01/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Mesut UYANER

.....

Danışman

Prof. Dr. Ahmet AKDEMİR

.....

Üye

Prof. Dr. Recai KUŞ

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/.../20.. gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. S. Savaş DURDURAN
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Abdullah YILMAZ

Tarih: 25/01/2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TiC/AA2024 KOMPOZİTLERİN MEKANİK ALAŞIMLAMA YÖNTEMİYLE ÜRETİMİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Abdullah YILMAZ

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Ahmet AKDEMİR
Dr. Öğr. Üyesi Cihat NAZİK**

2021, 61 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Ahmet AKDEMİR
Prof. Dr. Mesut UYANER
Prof. Dr. Recai KUŞ**

Yapılan bu tez çalışmasında, toz boyutu ortalama 110 µm olan ve su atomizasyonu ile üretilen AA2024 metal tozu ve toz boyutu ortalama 5,2 µm olan TiC parçacık takviyesi kullanılmıştır. AA2024 metal matrisi içerisine ağırlıkça %10 oranında TiC parçacık takviyesi eklenip elde edilen karışım farklı sürelerde (1, 2, 5 ve 10 saat) mekanik alaşımlama metodu ile öğütülerek kompozit tozlar elde edilmiştir. Bu mekanik alaşımlama işlemi esnasında gezegen tipi mekanik alaşımlama cihazı kullanılmıştır. İşlem sonucu elde edilen tozlar ve takviyesiz AA2024 tozu sıcak presleme yöntemi ile 430 0C sıcaklık ve 350 MPa basınç altında kompozit malzeme haline getirilmiştir. Toz ve kompozit malzeme üretimi sonrası elde edilen numunelerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri X-ışınları kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM), çekme, yoğunluk ve sertlik deneyleri ile belirlenmiştir. Yapılan SEM incelemelerinde, 2 saat boyunca mekanik alaşımlamaya tabi tutulan kompozit malzemede TiC takviye parçacıklarının AA2024 matrisinin içerisinde homojen olarak dağıldığı gözlemlenmiştir. Diğer taraftan 1 saat öğütme sonrasında pulcuksu yapı oluşumundan dolayı ortalama toz boyutu artmış ve sonraki öğütme sürelerinde ise bu pulcuksu yapının kırılmasına bağlı olarak ortalama toz boyutu düşmüştür. Elde edilen kompozit malzemeler ile yapılan deneyler sonucunda çekme mukavemetinin 2 saate kadar arttığı, sonrasında öğütme süresi arttıkça tekrar düştüğü gözlemlenmiştir. Deneyler sonucu elde edilen en yüksek çekme dayanımı 2 saat alaşımlanmış kompozitte (265 MPa), elde edilen en yüksek sertlik ise 230 BSD olarak 10 saat mekanik alaşımlamaya tabi tutulmuş kompozitte meydana gelmiştir.

Anahtar Kelimeler: AA2024, Alüminyum, Mekanik Alaşımlama, Metal Matrisli Kompozitler, Sıcak Presleme Yöntemi, TiC, Toz Metalurjisi

ABSTRACT

MS THESIS

PRODUCTION OF TiC/AA2024 COMPOSITES BY MECHANICAL ALLOYING METHOD AND DETERMINATION OF MECHANICAL CHARACTERISTICS

Abdullah YILMAZ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING**

**Advisor: Prof. Dr. Ahmet AKDEMİR
Asst. Prof. Dr. Cihat NAZİK**

2021, 61 Pages

**Jury
Advisor Prof. Dr. Ahmet AKDEMİR
Prof. Dr. Mesut UYANER
Prof. Dr. Recai KUŞ**

In this thesis, AA2024 metal powder with an average powder size of 110 μm and produced by water atomization and TiC particle reinforcement with an average powder size of 5.2 μm were used. Composite powders were obtained by adding 10% TiC particle reinforcement into the AA2024 metal matrix and grinding the resulting mixture by mechanical alloying method at different times (1, 2, 5, and 10 hours). Planetary type mechanical alloying device was used during this mechanical alloying process. Powders obtained due to the process and AA2024 powder without reinforcement were made into composite material by the hot-pressing method under 430 $^{\circ}\text{C}$ temperature and 350 MPa pressure. Physical, chemical, and mechanical properties of the samples obtained after powder and composite material production were determined by X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), tensile, density, and hardness tests. In the SEM examinations, it was observed that the TiC reinforcement particles were homogeneously distributed in the AA2024 matrix in the composite material, which was mechanically alloyed for 2 hours. On the other hand, after 1 hour of grinding, the average powder size increased due to a flaky structure. The mean powder size decreased due to the breakage of this flaky structure in the subsequent grinding periods. As a result of the experiments made with the composite materials obtained, it was observed that the tensile strength increased up to 2 hours and then decreased again as the grinding time increased. The highest tensile strength obtained from the experiments occurred in the composite alloyed for 2 hours (265 MPa), the highest hardness obtained as 230 HB in the composite subjected to mechanical alloying for 10 hours.

Keywords: AA2024, Aluminium, Hot Pressing, Mechanical Alloying, Metal Matrix Composites, Powder Metallurgy, TiC

ÖNSÖZ

Günümüzde değişen ihtiyaçlara bağlı olarak yeni tür malzemelerin geliştirilmesine büyük ihtiyaç duyulmaktadır. Düşük yoğunluğu, yüksek şekillendirilebilme özellikleri, yüksek sertliği ve iyileştirilebilir termal şok direnci gibi özelliklerinden dolayı alüminyum matrisli metal kompozitlerin kullanımı otomotiv, havacılık ve savunma alanlarında her geçen gün artmaktadır.

Yapılan bu çalışmada AA2024 matrisine TiC takviye edilmiş metal matrisli kompozitler incelenmiştir. Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen AA2024 ve TiC tozları, mekanik alaşımlama işlemine tabi tutularak kompozit tozlar üretilmiş, üretilen tozların kristalografik karakterizasyonu XRD analizi ile, morfolojik karakterizasyonu ise SEM analizi ile yapılmıştır. Sonrasında sıcak presleme ile elde edilen kompozit numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

Yüksek lisans çalışmamın her aşamasında bana desteğini esirgemeyen ve deneyimleri ile bana yol gösteren değerli danışman hocam Prof. Dr. Ahmet AKDEMİR'e ve değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Cihad NAZİK'e teşekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi olarak beni sürekli destekleyen, akademik ve gerçek hayatta yol gösterici öğütleriyle bugüne gelmemi sağlayan anne ve babam; Ayser YILMAZ ve Osman YILMAZ'a, kardeşlerim Meryem KOZAK ve Zeynep ETİK'e, ayrıca bu süreçte sürekli desteğini gördüğüm eşim Neşe ÖZKAN YILMAZ'a ayrıca teşekkür ederim.

Abdullah YILMAZ
KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
2.1. Kompozit Malzemeler	2
2.1.1. Metal Matrisli Kompozitler	3
2.1.2. Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Metotları	5
2.2. Toz Metalurjisi Metodu	6
2.2.1. Metal Tozların Üretim Metotları	8
2.3. Mekanik Alaşımlama Yöntemi	10
2.3.1. Mekanik Alaşımlamada Kullanılan Öğütücü Ekipmanlar.....	12
2.3.2. Mekanik Alaşımlama İşlemindeki Parametreler.....	14
2.3.3. Mekanik Alaşımlama İşleminde Öğütme Mekanizmaları	16
2.3.4. Mekanik Alaşımlama İşleminde Öğütme Sistemleri	19
2.4. Sıcak Presleme İşlemi	20
2.5. Literatürde Yapılan Çalışmalar.....	22
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	25
3.1. Çalışmalarda Kullanılan Malzemelerin Özellikleri	26
3.2. Mekanik Alaşımlama İşlemleri.....	27
3.3. Parçacık Morfolojisi İncelemesi	28
3.4. X-Işınları Kırınımı (XRD)	28
3.5. Sertlik Ölçüm Deneyi	28
3.6. Sıcak Presleme	29
3.7. Yoğunluk Ölçüm Deneyi	30
3.8. Çekme Deneyi.....	30
3.9. Metalografik Deney Hazırlıkları.....	31
3.10. Optik Mikroskop Görüntülemeleri	31
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	32
4.1. Toz Karakterizasyonu	32
4.1.1. Takviyesiz AA2024 Tozlarının Başlangıç Haldeki Toz Morfolojisi.....	32
4.1.2. TiC/AA2024 Kompozit Tozlarının Öğütme Süresine Bağlı Olarak Toz Morfolojilerinin Değişimi.....	33

4.1.3. XRD Analizleri	41
4.2. Sıcak Presleme ile Üretilen Numunelerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	44
4.2.1. Numunelerin Yoğunluk Ölçümleri	44
4.2.2. Numunelerin Sertlik Ölçümleri	45
4.2.3. Numunelerin Çekme Mukavemeti Ölçümleri.....	45
4.3. Çekme Deneyi Sonrası Kırık Yüzeylerin SEM Analizi	47
4.4. Sıcak Presleme ile Üretilen TiC/AA2024 Numunelerin Mikro Yapısı	53
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	56
5.1 Sonuçlar	56
5.2 Öneriler	57
6. KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ	61



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Al	: Alüminyum
Al ₂ O ₃	: Alümina
B ₄ C	: Bor karbür
Bi	: Bizmut
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
Ge	: Germanyum
kV	: Kilovolt
mA	: Miliamper
Mg	: Magnezyum
MgO	: Magnezyum oksit
Mn	: Mangan
MoS ₂	: Molibden disülfid
Ni	: Nikel
rpm	: Dakikadaki devir sayısı
Si	: Silisyum
SiC	: Silisyum karbür
SiO ₂	: Silika
Ti	: Titanyum
TiB ₂	: Titanyum diborür
TiC	: Titanyum karbür
TiN	: Titanyum nitrür
WC	: Wolfram karbür
Zn	: Çinko
°C	: Derece Selsiyüs
µm	: Mikrometre

Kısaltmalar

AA2024	: 2024 alüminyum alaşımı
BSD	: Brinell sertlik değeri
BTO	: Bilye toz ağırlık oranı
GPa	: GigaPaskal
HV	: Vickers sertliği
HB	: Brinell sertliği
İKK	: İşlem kontrol katkısı
MA	: Mekanik alaşımlama
MMK	: Metal matrisli kompozit
MPa	: MegaPaskal
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
TM	: Toz metalurjisi
XRD	: X-ışınları kırınımı

1. GİRİŞ

Günümüzde teknoloji hızla gelişmekte ve bu gelişime bağlı olarak geleneksel malzemelerin yanı sıra yeni malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebepten dolayı farklı amaçlara uygun ve yeni özelliklere sahip malzemelerin geliştirilmesi bir gerekliliktir. Kompozit malzemeler, farklı alanlarda kullanımı ve iyileştirilmiş mekanik özelliklerinden dolayı günümüzde tercih edilmektedir. Bu konuda birçok bilim insanı çalışma yapmakta ve bu malzemeler üzerindeki çalışmaların önemi artmaktadır.

Takviye malzemesi ile güçlendirilmemiş geleneksel metal malzemelere göre daha üstün mekanik ve termal özellikler gösteren Metal Matrisli Kompozit (MMK) malzemeler her geçen gün daha çok önem teşkil etmektedir. Özgül mukavemet, aşınma direnci, yorulma direnci ve yüksek kararlılık bu üstün özelliklere en iyi örneklerdir. Bu ileri teknoloji ürünü malzemelerin havacılık, uzay, savunma sanayi ve otomotiv sanayinde kullanımı her geçen gün artmaktadır.

Metal Matrisli Kompozitlerin üretilmesinde plazma püskürtme (Zhang ve ark., 2018), metal infiltrasyon (Bouzegzi vd., 2018), döküm (Mousavi, 2018), toz metalürjisi (Trinh vd., 2018, ekstrüzyon (Pak vd., 2018) gibi birçok yöntem kullanılmaktadır. Homojen ve ince tanecikli bir mikro yapı elde etmek amacıyla toz metalürjisi yöntemi, son yıllarda kullanımı giderek artan bir metottur. Genellikle matris malzemesi olarak Mg, Al, Ti ve Cu alaşımları kullanılmaktadır. Bu alaşımlardan olan Al alaşımları, kolay ergitme, yüksek mukavemet, düşük seviyede yoğunluk ve iyi şekillendirilebilme gibi özelliklerinden dolayı tercih edilmektedir. Ayrıca bu tip kompozitlerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi için B_4C , Al_2O_3 , SiC ve TiC gibi seramikler kullanılmaktadır.

AA2024 otomotiv ve havacılıkta kullanılan hafif bir malzemedir. Ana alaşım elementi bakır olmakla birlikte yüksek mukavemet/ağırlık oranı, iyi işlenme kabiliyeti ve iyi yorulma direnci gibi özellikler AA2024 alaşımının öne çıkan avantajlarıdır (Varma ve ark. 2018). Bu çalışmada seçilen seramik malzeme olan TiC ise düşük termal iletkenlik, yüksek sertlik, yüksek gevreklik ve yarı iletkenlik gibi özellikleriyle öne çıkmaktadır.

Bu çalışmada; ilk aşamada AA2024 tozlarına TiC (ağ. %10) parçacık takviyesi yapılarak ve farklı sürelerde öğütülerek (1, 2, 5 ve 10 saat) kompozit tozlar üretilmiş, toz morfolojisi ve kristalografik yapısı incelenmiştir. Bir sonraki aşamada ise elde edilen $TiC/AA2024$ kompozit tozlar, sıcak preste sinterleme metodu ile numuneler üretilerek çekme mukavemeti, sertlik değeri, yoğunluğu ve mikro yapısı incelenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler, birbirlerinden farklı niteliklere sahip olan iki ya da daha fazla sayıdaki metal, polimer veya seramik malzemelerin makro boyut düzeyinde ya da mikro boyut düzeyinde birleşmesiyle elde edilen, kendisini oluşturan bileşen malzemelerden daha iyi özelliklere sahip olan malzemelerdir. Kompozit malzemeler, geleneksel malzemelere kıyasla yüksek mukavemet değerleri, yüksek rijitlik, iyi aşınma direnci, kolay şekillendirilebilme, titreşim sönümleme, yüksek yorulma dayanımı, elektrik ve ısı iletimi, düşük yoğunluk, korozyon ve kimyasal direnç gibi özelliklerinden dolayı sıklıkla tercih edilmektedir.

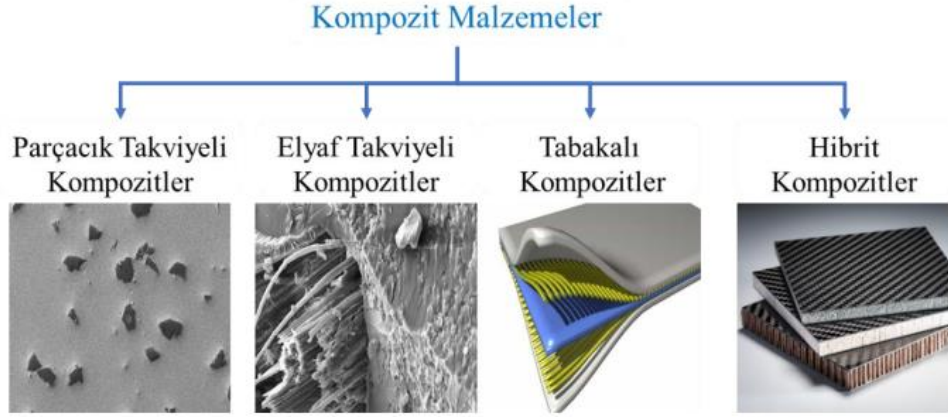
Kompozit malzemeler genel olarak üç ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlar;

- Matrisi oluşturan malzeme,
- Takviye elemanı,
- Bağlayıcı bileşenlerdir (Uluşen 2008).

Kompozit malzemeler, matrisi oluşturan malzemelere göre (Şekil 2.1) ya da matrise mukavemet sağlayan takviye elemanına göre (Şekil 2.2) sınıflandırılabilir.

Matris Malzemelerine Göre Kompozitler		
Metal Matrisli Kompozitler	Polimer Matrisli Kompozitler	Seramik Matrisli Kompozitler
• Elektriksel ve Termal İletkenlik • İyi Mukavemet • Yüksek Tokluk • Manyetiklik	• Yüksek süneklik • Kolay şekillendirme • Yüksek korozyon direnci	• Elektriksel ve Termal yalıtkanlık • Aşınma ve korozyon direnci yüksek • Düşük yoğunluk

Şekil 2.1. Matris Malzemelerine göre Kompozitler



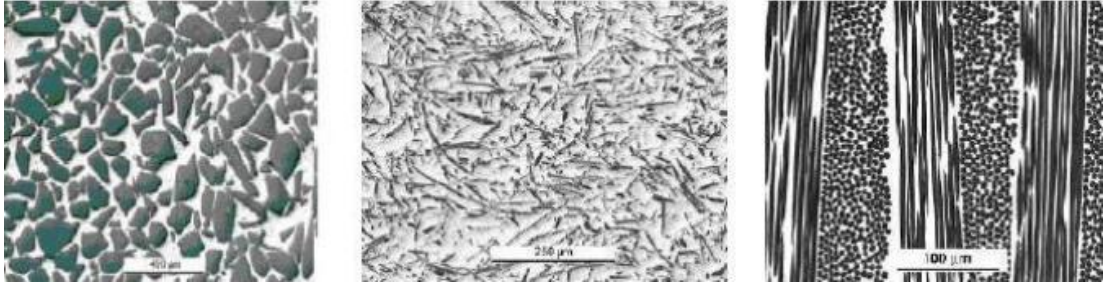
Şekil 2.2. Takviye Elemanlarına göre Kompozitler

Kompozit malzemelerin genellikle ana yapısı olarak da tanımlanan, görece daha düşük mukavemete sahip fakat sünekliği yüksek olan kısmına matris adı verilir. Matrisi oluşturan malzemenin; kompozit malzemenin tokluğunu artırmak, kompozit malzemenin mukavemetini artırmak, kırılan elyaflardan oluşan çatlakların ilerlemesini önlemek, takviye elemanlarını birbirine bağlama görevini yapmak, takviye elemanlarını ortamın etkilerinden korumak gibi önemli görevleri vardır. Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini matris ve takviye elemanlarının özellikleri, bunların hacim oranları, aralarındaki bağın özellikleri, takviye elemanlarının şekilleri, yapısı ve malzeme içerisindeki yönelimleri de etkili olmaktadır.

Kompozit malzemelerin tarif edildiği üzere matris ve takviye fazları birbirleri içerisinde çözünmemelidir. Buna rağmen çok az miktarda çözünmesi de aralarında güçlü bir bağ oluşmasına sebep olur. Ayrıca matris ve takviyelerin ara yüzeylerinin yapısı ve özellikleri malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini büyük oranda etkiler. Bunun başlıca sebebi, matrise tesir eden gerilmelerin takviye bileşenine aktarılması ara yüzeyler vasıtası ile olmasıdır (Hull, 1996; Nazik, 2013).

2.1.1. Metal Matrisli Kompozitler

Metal matrisli kompozit malzemeler, metal veya metal alaşımlarının ana matris malzemesini oluşturduğu, takviye bileşeni olarak da seramik ya da polimer esaslı malzemelerin kullanıldığı bir malzeme türüdür. Bu tip kompozitlerin otomotiv, havacılık ve denizcilik alanlarındaki kullanımları gün geçtikçe artmaktadır. Şekil 2.3'te takviye elemanının görünümüne göre metal matrisli kompozitlerin sınıflandırılması yer almaktadır.



a) Parçacık Eleman
Takviyeli

b) Kısa Fiber Eleman
Takviyeli

c) Sürekli Fiber Eleman
Takviyeli

Şekil 2.3. Takviye Elemanlarının Şekillerine Göre (Nazik, 2013)

Metal matrisli kompozitlerde genellikle Al, Ni, Fe, Mg ve Ti gibi metal ya da metal alaşımları kullanılır. Bu malzemeler arasından alüminyum ve alaşımlarının matris malzemesini oluşturduğu kompozitler, yüksek mukavemet, düşük ağırlıklı olması, yüksek aşınmaya karşı direnç, düşük termal genleşme katsayısı gibi niteliklerinden dolayı günümüzde araştırmalarda sıklıkla yer almaktadır. Bu araştırmaların artmasının sebepleri arasında bu kompozit malzemelerin toz metalürjisi, mekanik alaşımlama metodu, karıştırma döküm ve basınçlı döküm gibi yöntemlerle üretilmesi bulunmaktadır (Chandrashekar vd., 2018; Selvam vd., 2018).

Matris malzemesinin ana görevi malzemeye etki eden yükü bağlayıcı elemanlara transfer etmek ve yükü dağıtmaktır. Yükün transfer edilebilme kabiliyeti matris ve bağlayıcı elemanlar arasında bulunan ara yüzey bağına bağlı olarak değişir (Şahin, 2006). Uygulamalarda matris elemanı seçiminde; çekme dayanımı, süneklik, yoğunluk ve yüksek sıcaklık özelliği gibi faktörlerin yanında üretim metotları ve bunların arasındaki uyum da önemlidir.

Alüminyum bazlı matrislerden biri olan AA2024 bir Al-Cu-Cr-Fe alaşımıdır. AA2024 alaşımlarında birincil alaşım elementi bakır olmakla birlikte ısıtılma işleme uygundur. Yüksek mukavemet/ağırlık oranı, iyi yorulma dayanımı, termal şoklara karşı direnç, iyi işlenebilirlik ve yüzey kalitesi sebebiyle başta havacılıkta gövde ve kanatlarda olmak üzere otomotiv alanında, bilgisayar parçalarında ve savunma sanayinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu üstün özelliklerine rağmen AA2024 alaşımlarının mukavemet ve sertlik değerlerini artırmak amacıyla aşağıdaki çizelgede belirtilen karbürler, nitritler ya da oksitlerden oluşan takviye elemanları ile iyileştirilebilir. (Ghiotti vd., 2019; Wu vd., 2019).

Çizelge 2.1. Metal Matrisli Kompozitlerde Kullanılan Takviye Elemanlarının Özellikleri (Yıldırım, 2016)

Takviye Malzemesi	Yoğunluk (g/cm ³)	Elastiklik Modülü (GPa)	Sertlik	Ergime (°C)
TiC	4,93	440	2450	3160
B ₄ C	2,52	448	2800	2420
Al ₂ O ₃	3,98	379	2100	2100
SiO ₂	2,66	73	800	1710
SiC	3,21	324	2480	2750
WC	15,63	600	2100	2870
TiN	5,40	251	2000	2930

Sıklıkla tercih edilen karbür takviye elemanlarıyla karşılaştırıldığında, görece yüksek sertlik değeri, yüksek elastiklik modülü, yüksek ergime sıcaklığı ve düşük yoğunluk değerine sahip bir malzeme olan titanyum karbür (TiC) sıklıkla metal matrisli kompozitlerde takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. (Yang vd., 2011; Azimi vd., 2015a)

2.1.2. Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Metotları

Metal matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri katı faz ve sıvı faz üretim yöntemleri olmak üzere iki alt başlıkta incelenebilir.

2.1.2.1. Katı Faz Üretim Metotları

Katı faz üretim metotları aşağıdaki gibidir;

- Toz Metalürjisi
- Difüzyonla Bağlama
- Haddeleme

Bu üretim yöntemlerinde, kompozit malzemeyi üretmek için ergime sıcaklığı, matrisi oluşturan malzemenin ergime sıcaklığından daha düşük seçilir.

Bu metotlardan toz metalürjisi metodu metal matrisli kompozitlerin üretiminde daha yaygın olarak kullanılan bir metottur.

2.1.2.2. Sıvı Faz Üretim Metotları

Sıvı faz üretim metotları aşağıdaki gibidir;

- Sıkıştırma Döküm
- Sıvı Metal İnfiltrasyonu
- Basıncsız İnfiltrasyon
- Basıncılı İnfiltrasyon
- Plazma Püskürtme
- Sıvı Metal Karıştırma

2.1.2.2. Diğer Üretim Metotları

- Vidalı Ekstrüzyon
- XD Tekniği
- In-Situ Metodu
- Compocasting ve Rheocasting Döküm Metotları

2.2. Toz Metalurjisi Metodu

Toz metalürjisi yöntemindeki esas amaç, mekanik ya da fiziko-kimyasal metotlarla metal ya da metal alaşımlarının tozlarını üretip, elde edilen bu tozları ergitmeden basınç ve sıcaklığın yardımı ile malzeme özellikleri iyileştirilmiş iş parçası ya da numune üretmektir. Genellikle toz metalürjisi metodu, takviye edilecek parçacıklara sahip matris malzemesinin tozlarının oluşturduğu karışımını, presleme işlemine tabi tutulmasını ve katı faz halinde sinterlemeye tabi tutulmasını içerir. Mikro yapının iyi olması için karışımdaki parçacıkların homojen olarak dağılması çok önemlidir. (Torralba vd., 2003)

Toz metalürjisi metodunda karmaşık şekillere ve düşük boyut toleranslarına sahip parçalar gelişen teknolojiyle birlikte ekonomik olarak üretilebilmeye başlanmıştır. Toz metalürjisi metodunun gelişmesi ile klasik üretim metotları da değişmektedir. Bu şekilde daha esnek üretim yapılabilecek ve yeni malzemelerin geliştirilmesi ve üretimi kolaylaşacaktır. (German, 1994)

Genel olarak toz metalürjisi metodunun avantajlarını ve metal matrisli kompozitli kompozitlerin üretiminde tercih edilmesini aşağıdaki sebepler ile açıklanabilir;

- Toz metalürjisi metodu ile üretilen MMK'lerin üretimi nispeten daha düşük sıcaklıklarda yapılmaktadır. Bu sebeple matris ve takviye

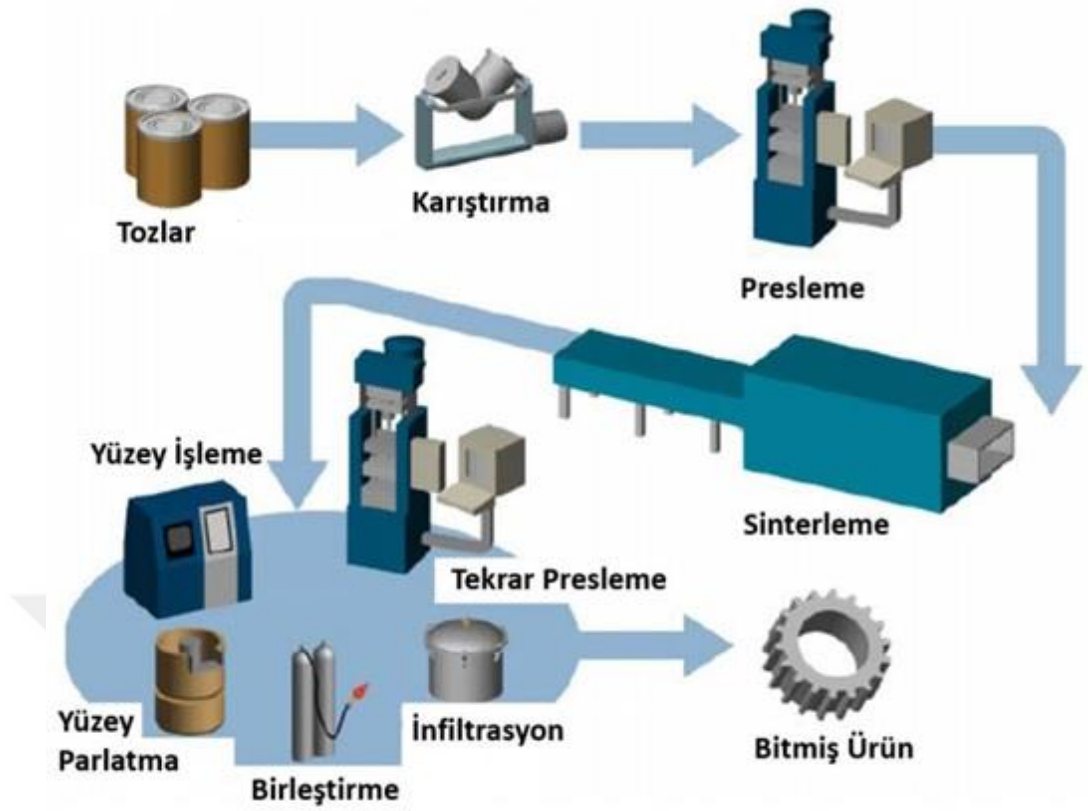
elemanları arasındaki etkileşim daha az olmaktadır. Bu şekilde mekanik özelliklerin iyileşmesine engel olan ve istenilmeyen ara reaksiyonların oluşması en aza indirgenmektedir.

- Döküm metotlarında tam homojen parçacık dağılımı elde edilmesi zordur. Bu sebeple matris elemanında takviye parçacıklarının homojen dağılımı daha iyi sağlanabildiği için toz metalürjisi tercih edilmektedir.
- Parçacık veya Whisker takviyeli kompozitlerin üretimi hem daha kolay gerçekleşmekte ve homojenliği daha iyi sağlanabilmektedir.
- Yüksek seviyede takviye hacim oranları elde edilmektedir. Bu sebeple yüksek elastisite modülü ve düşük termal genleşme katsayılı kompozit malzemeler üretilebilmektedir.

Toz metalürjisi metodunun üstün yönlerine rağmen birtakım dezavantajları da vardır. Bunlar;

- Tozları karıştırma işlemi yapılırken, kısa fiber takviyesi yapılan uygulamalarda bu kısa fiberler kırılabilir.
- Büyük geometrili parçaların üretimi için çok yüksek basınç gerektirmekte ve bu üretim maliyetlerini artırmaktadır. Sıcak presleme işleminden sonra genellikle parçayı son şekline getirmek için haddeme, ekstrüzyon veya dövme gibi ek işlemler yapmak gereklidir. Ayrıca toz kullanımı sırasında hassas bir temizlik gerektirir. Aksi takdirde tozların içerisine artıklar ya da yabancı maddeler girebilmekte ve malzemenin mekanik özelliklerine olumsuz etkiler yapabilmektedir (Şahin, 2006)

Toz metalürjisindeki prosesler Şekil 2.4'te görülmektedir. (Tekoğlu, 2015)



Şekil 2.4. Toz Metalurjisi Metodundaki Prosesler

2.2.1. Metal Tozların Üretim Metotları

Metal tozların birçok özelliğini, bu tozların imalinde kullanılan yöntemler belirler. Tozların ortalama tanecik boyutu ve şekilleri üretim yöntemlerine bağlı olarak küreselden daha karmaşık şekillere kadar değişebilmektedir (Ünal, 2018).

Yaygın olarak kullanılan üretim yöntemleri aşağıdadır;

- Mekanik alaşımlama metodu
- Kimyasal yöntemler
- Elektrolitik ayrıştırma metodu
- Atomizasyon yöntemi

2.2.1.1. Mekanik Alaşımlama Metodu

Mekanik alaşımlama metodu, yapılan bu yüksek lisans çalışmasında yer alan TiC/AA2024 tozunun üretilmesi için kullanılan metottur. Konu ile ilgili detayların daha iyi anlaşılabilmesi için ayrı bir başlık altında incelenecektir.

2.2.1.2. Kimyasal Metotlar

Bu üretim yöntemi, metal oksitlerin (demir, tungsten, molibden, bakır, kobalt ve nikel) öğütülerek, hidrojen veya karbon monoksit gibi indirgeyici gazlarla ve uygun sıcaklıklarda oksitlerinden kimyasal olarak indirgenmesinden oluşur.

2.2.1.3. Elektrolitik Ayrıştırma Metodu

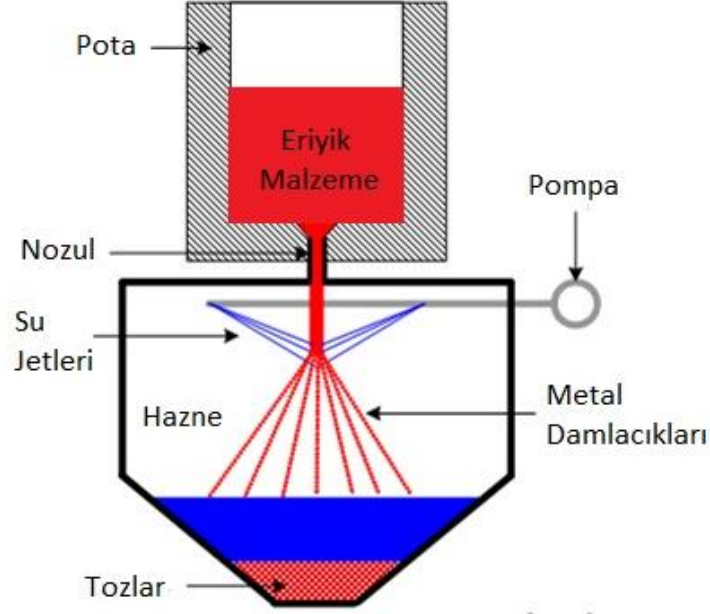
Bu üretim metodunda, oksitlerden oluşmuş metal tozları katoda akım verilerek elektrolitik banyoda çökertilir veya katotta toplanır. Elektrolitik malzeme olarak sülfürik asit ve bakır sülfat kullanılır. Anot bakır malzeme, katot ise antimuanlı kurşun malzemeden yapılır. Bu üretim metodunda genellikle yüksek saflıkta bakır tozları üretilir (Nazik, 2013).

2.2.1.4. Atomizasyon Metodu

Ergimiş haldeki sıvı metalin, damlacıklar halinde atomizasyon ünitesi içerisine gönderilerek, bu üniteye yüksek basınçlı su jetleri ile parçalandıktan sonra toz haline getirilmesi işlemine su atomizasyonu adı verilir. Bu işlem nozullardan çıkan gazlar vasıtasıyla yapılırsa da gaz atomizasyonu adını alır. Atomizasyon metodunda ortalama tanecik boyutu, tozların şekli, tane dağılımı da dahil olmak üzere mikro yapısı ve kimyasal bileşimi kontrol edilebilir.

Su atomizasyonu metodunda ana kontrol parametresi suyun basıncıdır. Yüksek su basıncı ile birlikte daha yüksek su hızı ve tane boyutu küçük tozlar elde edilir. Ayrıca su jetlerinin geometrileri tozların boyutu ve şekillerine etki eder. Su atomizasyon metodu ile üretilen tozların ortalama tanecik boyutu ve dağılımına; jetlerden gönderilen suyun hızı ve basıncı, sıvı metalin viskozitesi, yüzey gerilimi, yoğunluğu gibi parametreler etki eder. Su atomizasyonu ile üretilen tozların ortalama tane boyutu genellikle 30-1000 µm arasında olmaktadır.

Şematik su atomizasyon ünitesi ve eriyik haldeki metalin atomizasyon işlemi Şekil 2.5'te gösterilmiştir.

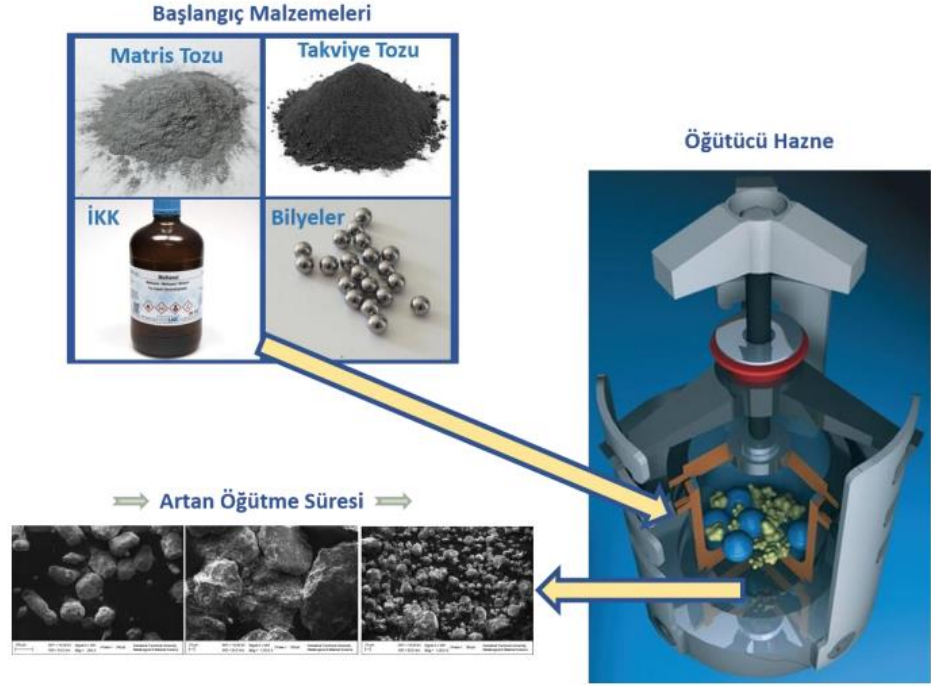


Şekil 2.5. Su Atomizasyon İşlemi

2.3. Mekanik Alaşımlama Yöntemi

Parçacık takviyeli kompozit malzemelerde ana yapının her yerinde sert takviye parçacıklarının homojen olarak dağılımını elde etmek zor bir işlemdir. Bu sebeple farklı öğütme teknikleri geliştirilerek bu zorluğun önüne geçilmesi istenmektedir. Mekanik alaşımlama işleminde dönen bir hazne içerisine konulan tozlar, haznenin içerisinde bulunan bilyalar ile birlikte öğütülür ve daha küçük boyutta birbirine alaşımlanmış tozlar elde edilir. Bu kompozit tozlar, mikro ölçekte oluşan ve tekrarlanarak devam eden çarpışma, kırılma ve soğuk kaynak olaylarından oluşan bir zincirleme döngüyle üretilir. (German, 1994, Suryanarayana, 2004, Newkirk, 2004)

Mekanik alaşımlama tekniği parçacık takviyeli metal matrisli kompozitleri üretmek için uygun bir yöntemdir. Bu şekilde takviye parçacıklarının matris içinde toplanması (aglomerasyonu) engellenir ve homojen şekilde dağılması sağlanır. Ayrıca, üretim sürecindeki sürekli deformasyon döngüsü ile takviye edilen parçacıklardaki hatalar elimine edilir (Suryanarayana, 2004).



Şekil 2.6. Mekanik Alaşımlama Süreçlerinin Şematik Görünümü (Arslan, 219)

Mekanik alaşımlama metodunda, istenilen özelliklere göre seçilen malzemelerin tozları karıştırılır. İstenilen özellikte kompozit toz elde edilmesi için matris ve takviye tozları iyi bir şekilde karıştırılmalı ve öğütülmelidir. Buradaki öğütme işlemi tozların partikül boyutlarının küçültülmesi, karıştırma ise kimyasal olarak farklı bileşime sahip tozların alaşımlanması işlemidir (German, 2007).

Mekanik alaşımlamanın avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Aglomerasyon ya da segregasyon ihtimallerinin azalması ile homojen bir mikroyapı elde edilmesi,
- Ergime noktalarındaki ya da yoğunlukları arasındaki büyük farklar nedeniyle üretimi çok zor ya da imkânsız olan alaşımların ya da kompozit malzemelerin üretimine imkân sağlaması,
- Ergitme zamanındaki kayıpları azaltıp, talaş ve çapak alma gibi ek işlemlere gerek duyulmaması,
- Üretimindeki işlem basamaklarının hassas bir şekilde kontrolü sebebiyle farklı özelliklerdeki malzemelerin imaline imkân sağlaması.

Mekanik alaşımlama işlemini sınırlayan sebepler;

- Üretim sürecindeki parametre sayısının fazla olması ve kontrolünde karşılaşılan zorluklar,
- Öğütme haznesinin, öğütülecek malzemeden daha sert ve dayanıklı olmasının gerekliliği,
- Kullanılan hazne malzemesinden, bilyalardan gelebilecek kirlilik,
- Kalıp içerisindeki toz akışının sınırlı olması (Gökçe, 2013, Nazik,2019).

2.3.1. Mekanik Alaşımlamada Kullanılan Öğütücü Ekipmanlar

Mekanik alaşımlama işlemi için farklı tiplerde yüksek enerjiye sahip bilyalı öğütme cihazları kullanılmaktadır. Bu öğütme cihazları farklı kapasitelerde, farklı verimlilik seviyelerinde olup ek ısıtma ve soğutma üniteleriyle farklılık gösterirler. Bu öğütücülerin, gezegen tipi, spex tipi ya da atritör tipi gibi çeşitleri vardır. Öğütücü cihazların endüstriyel tip olanları bu bahsedilen öğütücülerle karşılaştırıldığında çok daha büyük hacimlere sahiptir. Örneğin endüstriyel bir mekanik alaşımlama ile toz üretimi 1250 kg kapasiteli bilyalı öğütücülerle yapılabilmektedir (Suryanarayana, 2004)

2.3.1.1. Spex Tip Öğütücü

Bu tip öğütücü cihazlar genellikle laboratuvar çalışmalarında kullanılmakta olup, tek seferde yaklaşık olarak 10-30 gram arasında toz öğütebilir.

Bu tip cihazlar malzeme ve bilyaların içerisine konacağı bir hazneden ve bir kilit mekanizmasından oluşur. Cihazın haznesi yüksek bir hızla ileri-geri ya da sağ-sol hareketi yaparak hazneye konulan tozların öğütülmesini ve karıştırılmasını sağlar.

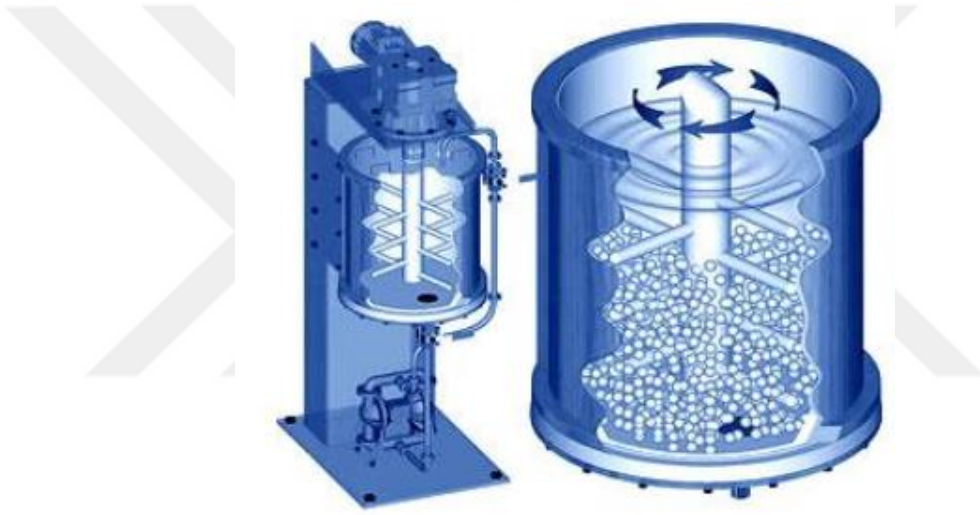


Şekil 2.7. Spex Tipi Öğütücü

Spex tipi öğütücülerde koruyucu atmosfer olmaması ve işlem esnasında oluşan ısı gibi birtakım dezavantajlar bulunmaktadır. Bu sebeple basınçlı soğutucu gibi ek donanımlara sahip modern öğütücüler kullanılmaktadır.

2.3.1.2. Atritör Tip Öğütücü

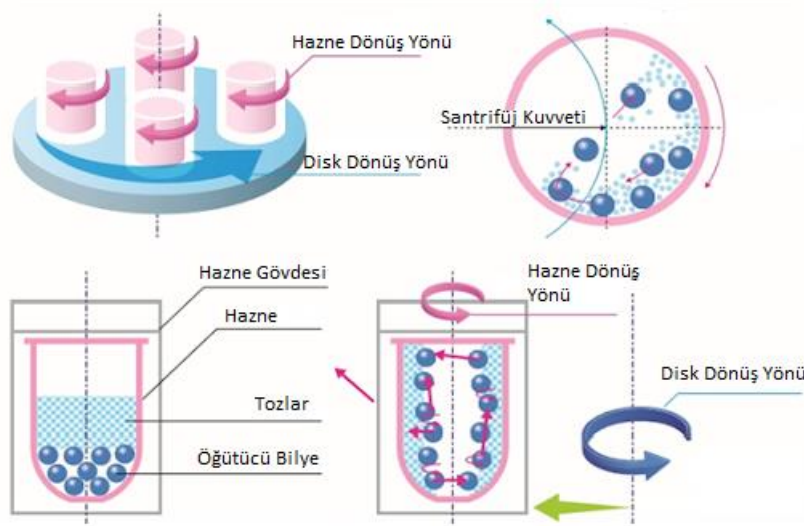
Bu tip öğütücüler, hazne ve üzerinde seri karıştırıcılar bulunan dik bir milden oluşur. Birbirlerine dik yerleştirilmiş karıştırıcılar, kazan içerisinde dönerek bilyeleri hazne duvarıyla, birbirleriyle ve karıştırıcı mile çarptırarak haznedeki tozların öğütme işlemini yapar. Bu tip öğütücüler tek seferde büyük miktarlarda tozun (0,1 – 50 kg) öğütülmesine imkân tanır.



Şekil 2.8. Atritör Tipi Öğütücü

2.3.1.3. Gezegen Tip Öğütücü

Gezegen (Planetary) tipi öğütücülerde hazne, dönen bir disk üzerinde merkezden kaçık şekilde konumlandırılmış olup kendi yörüngesi etrafında dönerek hareket etmektedir. Bu dönüş hareketi esnasında, haznenin içerisine konulmuş bilyeler ve haznenin iç yüzeyi arasında kalan tozlar sistemde oluşturulan merkezkaç kuvveti yardımıyla öğütülür. Bu tip öğütücülere haznelerinin gezegen gibi bir yörünge etrafında dönerek hareket ettikleri için bu isim verilmiştir. Bu tip öğütücülerde 100-200 g kadar toz öğütülebilmektedir. Gezegen tipi öğütücüler, genellikle araştırmacılar tarafından laboratuvar ortamında toz elde etmek amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil 2.9. Gezegen Tipi Cihazda Öğütme İşlemi

2.3.2. Mekanik Alaşımlama İşlemindeki Parametreler

Mekanik alaşımlama işlemindeki parametreler birbirleriyle ilişkilidir. Örneğin uygun öğütme hızı, öğütücü cihazın tipine, öğütme süresine, hazneye konulan bilyelerin boyutuna ya da bilye/toz ağırlık oranına bağlıdır. Bir parametreyi değiştirirken diğer parametrelerin de bu değişiklik için uygun olup olmadığına dikkat edilmelidir (Suryanarayana 2001, Nazik, 2019)

Bu parametreleri aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz;

- Öğütme hızı,
- Öğütme süresi,
- Bilye/toz ağırlık oranı,
- İşlem kontrol katkısı,
- Öğütme haznesinin ve bilyelerin malzemesi,
- Öğütme haznesinin doluluk oranı,
- Öğütme atmosferi

2.3.2.1. Öğütme Hızı

Hazne içerisindeki bilyelerin çarpışması sonucunda tozlar yüksek oranda deformasyona uğrar, birbirleriyle soğuk kaynaklanır ve kırılır. Bu işlem ancak uygun bir öğütme öğütme hızında gerçekleşebilir. Örneğin; çok yüksek öğütme hızlarında bilyeler öğütücü tipine göre hazne duvarına yapışarak yeteri kadar darbe uygulayamazlar ve öğütme işlemini gerçekleştiremezler. Bu sebeple maksimum öğütme hızı, sistemin kritik

hızından düşük olmalıdır. Diğer bir husus da artan hız sebebiyle çarpışma sayısı artmakta olup hazne sıcaklığı artmaktadır (Suryanarayana, 2001)

2.3.2.2. Öğütme Süresi

Öğütme süresinin belirlenmesi, haznedeki tozlardaki parçalanmanın (kırılmanın) ve soğuk kaynaklanmanın dengeli olmasını sağlamak için önemlidir. Öğütme süresi diğer parametrelerle de ilişkilidir. Süre arttıkça kirlilik seviyesi de yükselir.

Diğer taraftan öğütücünün enerjisinin artmasıyla öğütme süresi de azalmaktadır. Örneğin spex tipi bir öğütücü cihazda birkaç dakikada bitirilecek bir işlem atritör tipi bir öğütücüde saatler sürebilmekte olup aynı işlem endüstriyel öğütücülerde günler sürebilmektedir (German 2004, Gökçe 2013)

2.3.2.3. Hazne ve Bilyelerin Malzemesi

Kullanılan hazne ve bilye malzemelerinin önemi büyüktür. Bunun sebebi öğütme esnasında, hazne ve bilye malzemelerinin sertliği birbirine yakın değilse malzemelerde az da olsa aşınma meydana gelmektedir. Aşınmanın sonucunda kopan parçalar üretilmekte olan tozları kirletmekte ve tozun bileşimini değiştirebilmektedir. Bu yüzden sertliği birbirine yakın malzemelerin seçimi önemlidir (German, 2004, Suryanarayana, 2004)

2.3.2.4. Bilye/Toz Ağırlık Oranı

Bu parametre öğütme işleminde oldukça önemlidir. Hazne içerisine konulan bilyelerin ağırlığının, öğütülmesi için hazneye konulan tozların ağırlığına oranı olarak tanımlanır. Bu oran 1:1 den 220:1 e kadar değişebilmektedir. Yapılan çalışmalarda, Spex ve gezegen tip öğütücülerde genellikle 10:1 bilye/toz oranı (BTO) kullanılmaktadır (Martinez ve ark. 2013)

BTO oranının yüksek olması durumunda birim zamanda daha fazla çarpışma gerçekleşir. Bu sebeple öğütme süresi daha kısa sürmektedir. Diğer taraftan BTO'nun çok yüksek olması durumunda bilyelerin kendi aralarında çarpışma sayısı fazla olacak ve bilyelerin birbirlerini aşındırmasından dolayı kap içerisinde kirlilik meydana gelebilir (Nazik, 2019)

Bu bahsedilen sebeplerden dolayı BTO, istenilen süre içerisinde istenilen nitelikte bir öğütme işleminin yapılabilmesi için önemli bir parametredir.

2.3.2.5. İşlem Kontrol Katkısı

İşlem kontrol katkısı mekanik alaşımlamada bir diğer önemli parametredir. Genellikle sünek malzemeler işlem süresince oluşan yüksek plastik deformasyon sebebiyle birbirlerine soğuk olarak kaynarlar. Ancak, uygun alaşımlama ise bu soğuk kaynama ve kırılmanın dengeli bir şekilde olmasıyla gerçekleşir. Bu sebeple işlem kontrol katkıları eklenerek soğuk kaynamanın miktarı azaltılabilir. Bu katkılar katı, sıvı ya da gaz olabilir. Bu katkılar genellikle yüzey aktif bileşikler olup, malzemenin yüzeyinde bir film tabakası oluşumunu sağlayarak soğuk kaynama miktarını azaltmakta ve bunun yanında aglomerasyonu engellemektedir. Bu katkıların kademeli ya da direkt olarak katılması da üretilen tozların ortalama boyutunu ve nihai şeklini belirler. (Suryanarayana, 2001, Gökçe 2013).

2.3.2.6. Haznenin Doluluk Oranı

Öğütmenin düzgün bir şekilde yapılması için bilyeler tozlara çarpmalı ve enerjisini transfer etmesi gerekir. Eğer haznede yeteri kadar boş hacim yoksa bilyelerin hareket edeceği bir alan olmayacak ve öğütme işlemi gerçekleşmeyecektir. Bu nedenle haznenin doluluk oranı %50 veya daha az seçilmelidir (Suryanarayana, 2001)

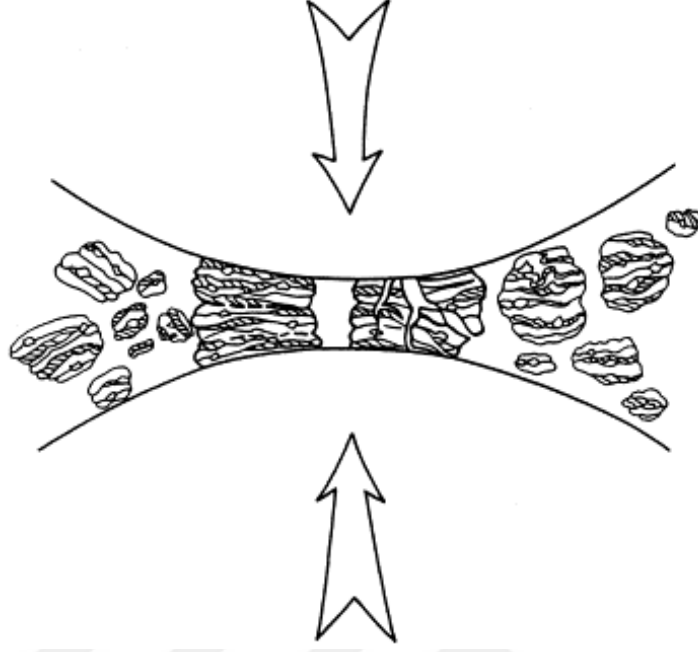
2.3.2.7. Öğütme Atmosferi

Öğütme atmosferi de mekanik alaşımlamada önemli bir parametredir. Bu parametrenin en büyük etkisi kirlenmedir. Ayrıca öğütme haznesinde bulunan oksijen tozların öğütülmesi esnasında oksit ya da nitrür oluşumuna sebep olabilir. Bu nedenle tozların öğütücü cihaza konulması ya da alınması işlemi vakum ya da koruyucu bir gaz atmosferi içerisinde yapılmalıdır (German,1994)

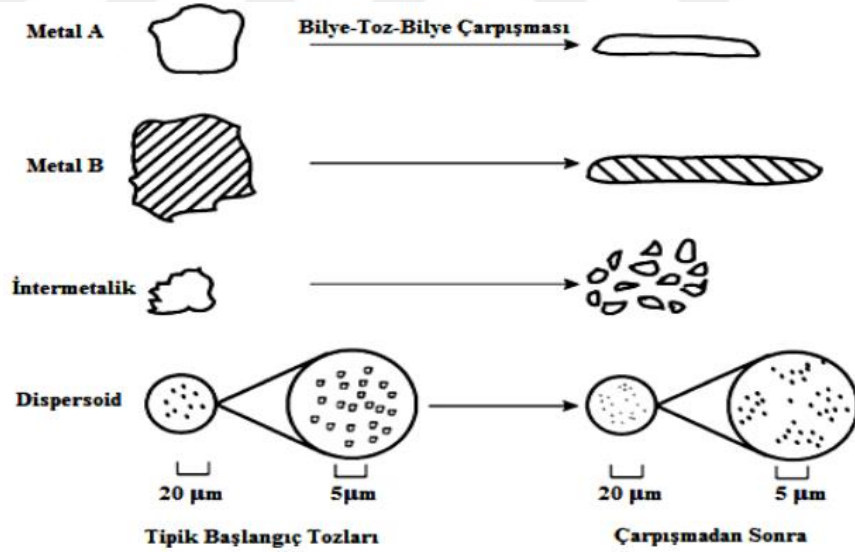
2.3.3. Mekanik Alaşımlama İşleminde Öğütme Mekanizmaları

Mekanik alaşımlama işlemi için karışmış ya da ön alaşımlı olan tozlar, hazne içerisine bilyeler ile birlikte konularak yüksek deformasyona maruz bırakılırlar. Bu süreçte parçacıklar önce pulcuksu bir yapı halini alır, daha sonra birbirine soğuk kaynaklanır, sonrasında tekrar kırılıp yine birbirlerine soğuk kaynaklanırlar. Bu süreçte deformasyon sertleşmesi oluşur ve toz büyüklüğü daha küçük parçacıklar elde edilir. Dislokasyonların yoğunluğu artarak tozlar gevrekleşir ve kırılgan bir hale gelir (Tekoğlu, 2015).

Mekanik alaşımlama işlemi esnasında meydana gelen bu fiziksel değişimi anlamak için bu işlemi birkaç aşamada incelemek daha uygun olacaktır.



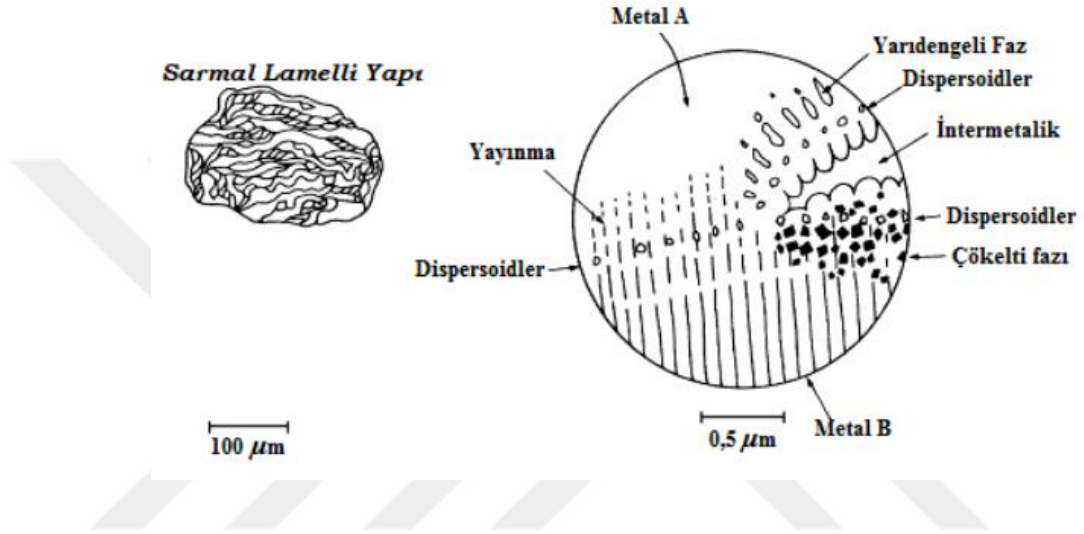
Şekil 2.10. Bilyelerin Tozlarla Etkileşimi (German, 1994)



Şekil 2.11. Tozların Öğütme Boyunca Deformasyon Karakteristiği (Nazik, 2019, Suryanarayana 2004)

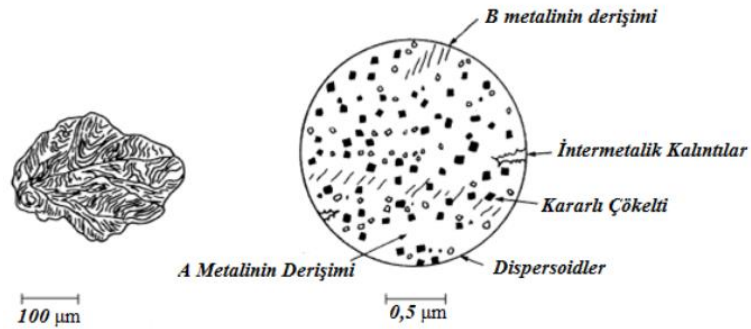
Mekanik alaşımlamanın ilk aşamasında hazne içerisinde iki bilye çarpıştığında arasında tozlar kalır ve çarpışmanın enerjisiyle birlikte deformasyona uğrar. Eğer tozlar sünek ise pulcuksu bir yapıya dönüşür ve soğuk kaynak olur. Eğer tozlar gevrek bir yapıda ise direkt kırılma eğiliminde bulunur. Yassılaşıp pulcuksu yapıya dönüşüp soğuk kaynaklanan malzemede taneciklerin boyutunda artış görülür (Suryanarayana, 2001)

Orta safhada ise öğütme işlemi devam ettikçe kırılma ve soğuk kaynak olayları sürekli şekilde tekrarlanır. Bunlar sonucunda parçacık boyutunda gerçekleşen azalma ile birlikte mikroyapıda karışma hızlanır. Bu safhada tozlar sarmal lamellere benzer bir yapıya sahiptir. Dönen ve birbirine çarpan bilyalar tarafından emilen kinetik enerjinin etkisi ile ve ısıнын artmasıyla metalik matriste çözünme meydana gelebilir. Bu aşamada difüzyonun artması neticesinde yeni fazlar oluşabilir (Keçeli,2007)



Şekil 2.12. Sürecin orta safhası (Nazik, 2019)

Son aşamada ise lameller daha fazla ince ve daha karmaşık bir yapıya dönüşmüştür. Düzenli bir yapı elde edilmiş, parçacık boyutunun artmasına neden olan soğuk kaynaklanma ile parçacık boyutunu düşürücü etkiye haiz olan kırılma olayları arasında bir dengeye ulaşılmıştır. Neticede küçük boyutlu parçacıklar ile büyük boyutlu parçacıklar birbirleri ile karışarak homojenleşmiş bir yapı oluştururlar. Aşağıda mekanik alaşımlamanın son aşamasında gerçekleşen yapı görülmektedir.



Şekil 2.13. Sürecin son safhasında oluşan kararlı hal (Goff, 2003)

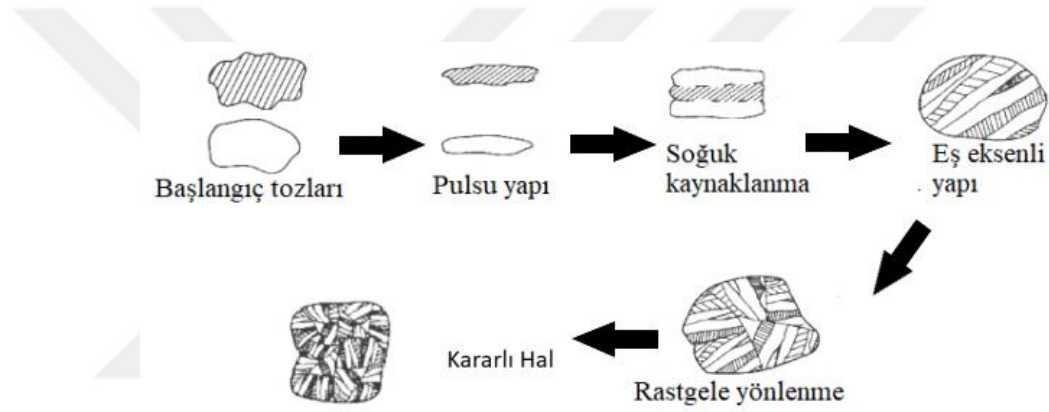
2.3.4. Mekanik Alaşımlama İşleminde Öğütme Sistemleri

Mekanik alaşımlama işleminde 3 tür öğütme sistemi vardır. Bunlar;

- Sünek-Sünek
- Gevrek-Sünek
- Gevrek-Gevrek'dir.

2.3.4.1. Sünek-Sünek Sistem

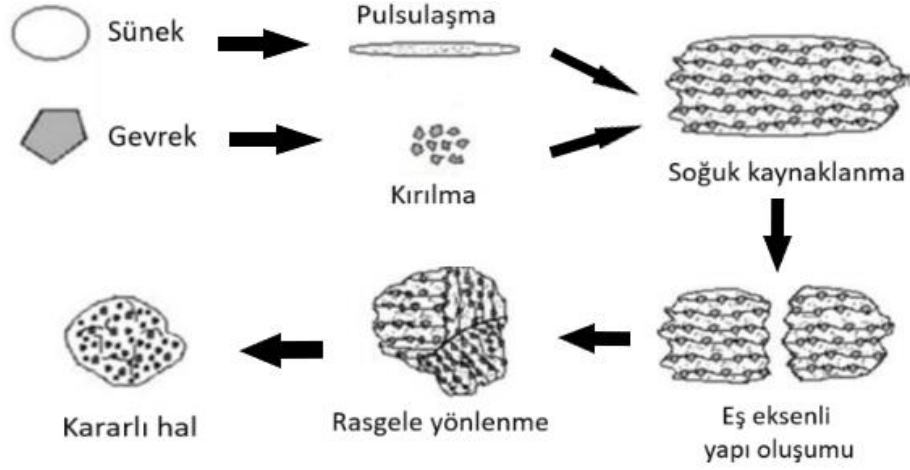
Mekanik alaşımlama işleminin gerçekleşmesi için karıştırılan tozlardan en az biri sünek olmalıdır. İkisi de sünek olan tozların mekanik alaşımlama işlemi süresince morfolojik değişimleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Sünek-Sünek sistem (Arslan, 2019)

2.3.4.2. Gevrek-Sünek Sistem

Gevrek-Sünek sistemde tozların bilyelerle çarpışması sonucu bir taraftan sünek tozlar pulcuksu hale gelirken diğer taraftan da gevrek tozlar kırılır. Devam eden süreçte kırılan gevrek partiküller sünek yapı içerisine gömülür. İlerleyen öğütme sürelerinde tozlar deformasyon sertleşmesine uğrar, katmanların sayısı artar ve tanecik boyutları daha da düşer.



Şekil 2.15. Gevrek-Sünek sistem (Nazik, 2013)

2.3.4.3. Gevrek-Gevrek Sistem

Gevrek tozlardan oluşan bir öğütmede mekanik alaşımlama gerçekleşmeyebilir. Bunun sebebi sünek bir bileşen olmaması ve gevrek tozların sürekli kırılarak tanecik boyutlarının düşmesidir.

Bunun yanı sıra yapılan çalışmalarda, Si-Ge ve Mn-Bi gibi birtakım gevrek-gevrek karışımlarda mekanik alaşımlama prosesinin gerçekleşebildiği belirlenmiştir. Öğütme işlemi esnasında boyutları gittikçe çok küçük hale gelen gevrek tozlar sünek davranış göstererek alaşımlamayı gerçekleştirir (Suryanarayana 2001, Nazik, 2019).

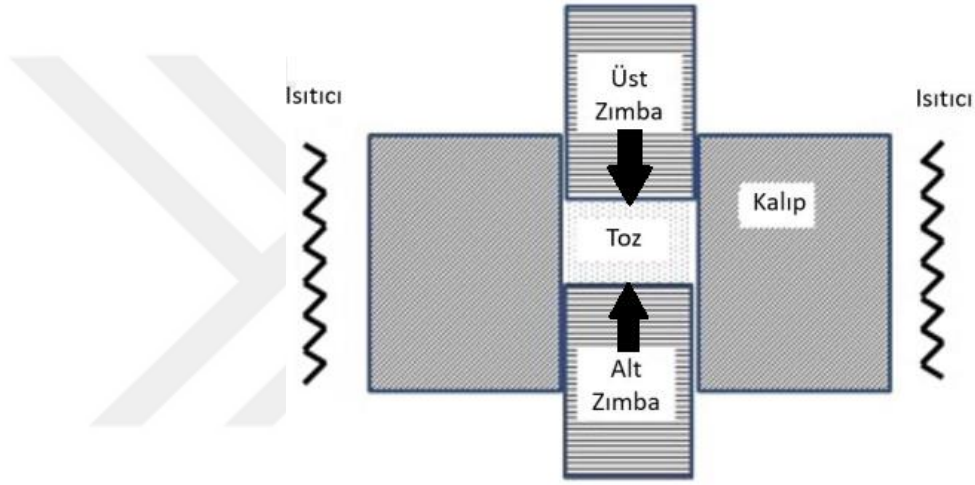
2.4. Sıcak Presleme İşlemi

Bu metot, kompozit tozların preslenip sonrasında sinterlenmesini tek bir aşamada gerçekleştirmektedir. Geleneksel sinterleme yönteminde, presleme ile arzu edilen şekil verilmiş tozlar yüksek sıcaklıklara ulaşabilen fırınlarda sinterlenir. Bu sinterleme işlemlerini 3 adımda inceleyebiliriz;

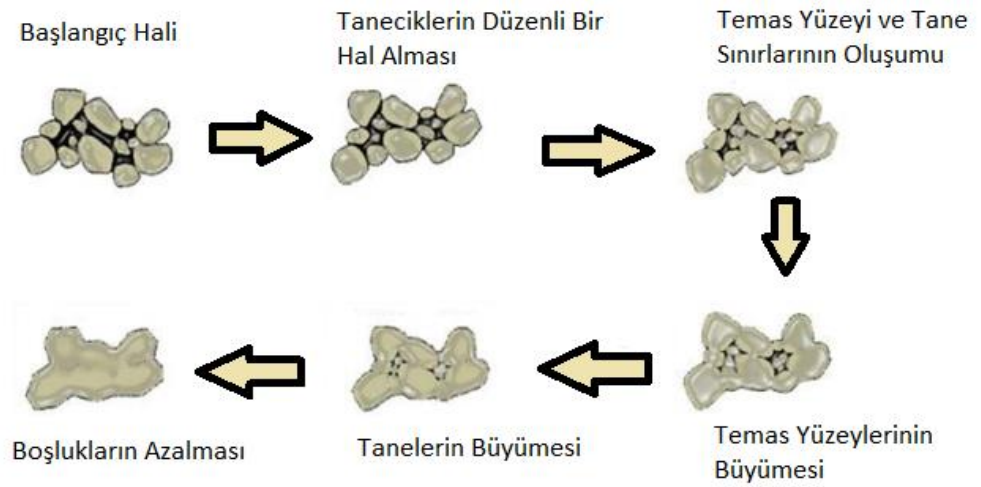
1. Öncelikle sıcaklığın yardımıyla atomlardaki titreşimler artar ve taneciklerin birbirlerine temas noktalarında boyun oluşumu gözlenir. Yüzey enerjisi fazla olan bu boyun bölgelerinin arasında kolay bir şekilde difüzyon gerçekleşmektedir.
2. Bu adımda difüzyonun artmasıyla birlikte tanecikler arasındaki boşluklar küresel bir hal alır ve tane büyümesiyle birlikte yoğunluk artışı meydana gelir.

3. Son aşamada ise boşluklar küçülerek ya tamamen yok olur ya da yapının içerisine sıkışarak hata olarak yerini alırlar. Aynı zamanda tanecikler de büyür. (Erdoğan, 2016)

Sıcak presleme işleminde mekanik alaşımlama ile elde edilen kompozit tozlar kalıp içerisine doldurulduktan sonra preslenirler (Şekil 2.16). Presleme için gerekli kuvvet uygulanırken, kalıp içerisine yerleştirilmiş fişek tip ısıtıcılarla malzeme ısıtılarak sinterleme işlemi yapılır. Şekil 2.17’de tozlarda meydana gelen değişimler gösterilmiştir. Sinterleme tamamen bitene kadar presleme kuvveti ve sıcaklık malzemeye uygulanır (Özdemir, 2018; Gökçe, 2018)



Şekil 2.16. Sıcak Presleme Metodu



Şekil 2.17. Sinterleme işleminde tozlardaki değişimler

Sıcak presleme ile yapılan sinterleme işlemi, geleneksel olarak uygulanan sinterlemeye göre birçok açıdan avantajlara sahiptir. Bunlar;

- Malzemeye etki eden basınç ve sıcaklıklar birlikte uygulanarak teorik yoğunluğa yaklaşan bir yoğunluk değeri elde edilmesi mümkündür.
- Enerji tüketimi ve daha yoğun malzemelerin üretilmesi açısından geleneksel sinterleme işlemine göre daha verimlidir.
- Yoğunluğun artmasıyla malzeme içindeki boşluklar azalmakta ve nihai mamulün mukavemeti artmaktadır.

2.5. Literatürde Yapılan Çalışmalar

Varma ve arkadaşları, AA2024 alaşımına TiC takviye ekleyerek karıştırmalı döküm yöntemiyle metal matrisli kompozitler üretmişlerdir. Takviye oranını %2 adımlarla, ağırlıkça %0 ve %6 arasındaki oranlarda değiştirmişlerdir. Ürettikleri kompozit malzemeleri ASTM standartlarında çekme, sertlik ve yoğunluk testlerine tabi tutmuşlardır. Deneysel verilere göre, ağırlıkça %6 TiC eklenmiş AA2024-TiC kompozit malzeme ve döküm yöntemiyle üretilmiş AA2024 karşılaştırıldığında kompozit malzemenin çekme dayanımı %8 ve sertlik değeri de %9 artmıştır. Ayrıca takviye malzemesi yüzde oranda arttıkça kompozit malzemenin sünekliğinde de bir azalma söz konusudur (Varma vd., 2018).

Muthusamy ve arkadaşları ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 oranında TiC ve B₄C (eşit miktarlarda) takviyeli AA2024-B₄C-TiC kompozitlerini üretmiş, mekanik ve korozyon özelliklerini incelemişlerdir. AA2024 Matriste B₄C ve TiC oranları arttıkça kompozitin sertliği, akma mukavemeti ve nihai mukavemeti artmış ayrıca sünekliği azalmıştır. Bunun yanı sıra homojen olarak dağılmış takviye elemanlarının ilaveleri AA2024- B₄C-TiC kompozitlerinin korozyon direncini de artırmıştır (Muthusamy vd., 2018)

Nazik (2013), B₄C takviye edilmiş, AA7075 matrisli kompozit tozları mekanik alaşımlama yöntemi ile üretmiş ve sinterleme işlemi ile ürettiği kompozit numunelerin çekme dayanımını, sertliğini ve yoğunluğunu incelemiştir. Yaptığı deneylerde ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 oranlarında B₄C takviyesi ve %3 metanol işlem kontrol katkısı kullanmıştır. Tozları gezegen tipi bir öğütücüde, 400 rpm öğütme hızında, 10:1 BTO ve 10 mm yapı çaplı tungsten karbür bilyelerle öğütmüştür. Sıcak presleme işleminde ise 650 MPa ön presleme basıncı uyguladıktan sonra 500 MPa basınç ve 550 °C sıcaklık altında kompozit numuneler üretmiştir. Yaptığı SEM incelemelerinde takviye

malzemesinin matris içerisinde homojen olarak dağıldığını gözlemlemiştir. Ağ. %10 takviye içeren ve 1 saat boyunca mekanik alaşımlama yapılmış kompozit numunede 325 MPa çekme mukavemeti elde edilmiştir. Ayrıca ağ. %20 takviye malzemesi içeren ve 8 saat boyunca mekanik alaşımlamaya tabi tutulmuş tozlardan elde edilen kompozit numunede 350 Brinell sertlik değerine ulaşılmıştır.

Cunzhu ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, Al2024 matrisine B₄C takviyesi yapılarak kompozit malzemeler mekanik alaşımlama ve sıcak ekstrüzyon ile üretilmiştir. Yapılan SEM incelemelerinde takviye elemanının matris içerisinde homojen bir şekilde dağıldığı görülmüştür. Malzemede 400nm'nin altında bir mikroyapı elde edilmiştir. Kullanılan deney parametreleri; takviye oranı ağ. %10, gezegen tipi öğütücü, BTO: 20:1, bilye çapı ve malzemesi olarak 10 mm çap paslanmaz çelik bilye, Öğütme hızı 420 rpm, işlem kontrol katkısı olarak ağırlıkça %2 stearik asit, presleme basıncı 400 MPa ve sıcak presleme işlemi sinterleme sıcaklığı 570 °C belirlenmiştir. Sıcak şekillendirme esnasında B₂O₃ ve Mg tepkimesi sonucunda MgO oluşmuş ve takviye ile matris arasındaki ıslatma iyileşmiştir (Cunzhu vd. 2008)

Cabeza ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, 20 nm ortalama toz boyutlu TiC takviye edilmiş AA7075 matrisli kompozit tozlar mekanik alaşımlama ile üretilip bu tozların SEM görüntülerini ve sertliklerini incelemişlerdir. Deney parametreleri; ağırlıkça %2 oranında TiC takviyesi, 1000 rpm öğütme hızı, 10:1 BTO, ağırlıkça %0.5 Licowax C işlem kontrol katkısı olarak seçilmiştir. SEM incelemesinde öğütme süresinin artmasıyla beraber aglomerasyon azalmış olup soğuk kaynak ve kırılma oranının arttığı gözlemlenmiştir. 960 dakika öğütme süresinin sonunda tozların sertliği 100 HV'den 293 HV'ye yükselmiştir (Cabeza vd. 2012)

Azimi ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ortalama toz boyutu 20 nm belirtilmiş TiC takviyeli ve AA7075 matrisli kompozit tozlar mekanik alaşımlama ile üretilmiştir. Bu üretilen kompozit tozların sertliği ve SEM görüntüleri incelenmiştir. Deney parametreleri; ağırlıkça %5 TiC takviyesi, gezegen tipinde öğütücü, 500 rpm öğütme hızı, 15:1 BTO, işlem katkısı olarak ağırlıkça %1 oranında işlem kontrol katkısı, presleme parametreleri olarak 400, 500 ve 600 MPa basınç ve sıcaklık olarak da 350, 400 ve 450 °C belirlenmiştir. Yapılan SEM incelemelerinde öğütme süresi arttıkça takviye malzemesinin matris içerisinde homojen olarak dağıldığı, sinterleme sıcaklığı arttıkça da tane büyümesinin arttığı gözlemlenmiştir. 50 saat öğütülmüş, 400 °C ve 600 MPa basınç altında sinterlenmiş kompozit malzemelerde en yüksek sertlik değeri olan 245 HV'e ulaşılmıştır (Azimi vd. 2015)

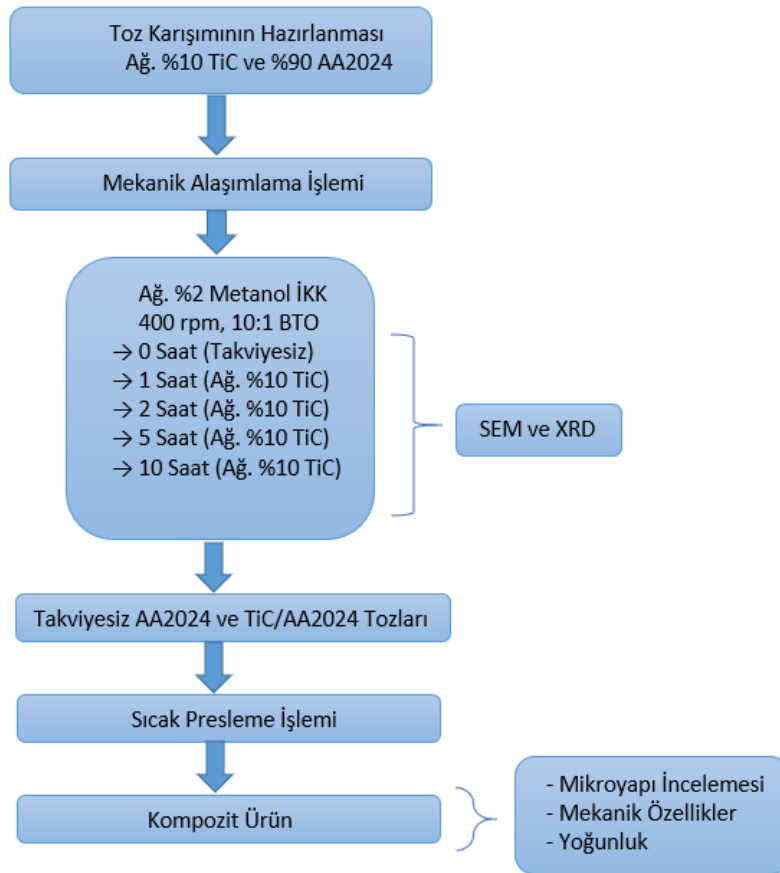
Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, mekanik alaşımlama yöntemiyle üretilmiş olan TiC takviyeli AA2024 matrisli kompozitler üzerine çok az çalışma olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan bu tez çalışmasında TiC takviye edilmiş AA2024 matrisli kompozit tozlar mekanik alaşımlama yöntemiyle üretildikten sonra SEM ve XRD incelemeleri yapılmış, sonrasında sıcak presleme yöntemiyle kompozit mamuller üretilmiş ve mekanik özellikleri incelenmiştir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında mekanik alaşımlama yöntemi ile TiC/AA2024 kompozit tozları üretilmiştir. Sonrasında bu tozlar sıcak presleme yöntemiyle kompozit numuneler haline getirilerek, mekanik alaşımlamada kullanılan parametrelerin üretilen kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine olan etkileri yapılan deneylerle incelenmiştir. Başlangıçta AA2024 alaşımına ait tozlar TiC takviyesiyle birlikte farklı öğütme sürelerinde mekanik alaşımlama işlemine tabi tutulmuştur. Takviye malzemesi oranı ağırlıkça %10 TiC olarak belirlenmiştir (Şekil 3.1). İlk olarak üretilen tozların SEM ve XRD incelemeleri yapılmıştır. Tozların karakterizasyon işlemlerinden sonra kompozit tozların ideal sıcak presleme parametrelerinin bulunması için deneyler yapılmıştır. Literatürdeki çalışmalar ışığında ve yapılan deneyler sonucunda sinterleme sıcaklığı 430 °C, sinterleme süresi 30 dakika ve presleme basıncı ise 350 MPa belirlenmiştir. Bu parametrelere uygun olarak üretilen numunelerin çekme dayanımları, sertlikleri, yoğunlukları ve mikroyapı özellikleri incelenmiştir.



Şekil 3.1. Deneysel çalışmalardaki iş akış planı

3.1. Çalışmalarda Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

Üretilecek kompozit malzemelerde, matris malzemesi olarak yoğunluğu $2,78 \text{ g/cm}^3$, ortalama tanecik boyutu $110 \mu\text{m}$ olan AA2024 tozları kullanılmıştır. Bu tozlar su atomizasyon yöntemiyle üretilmiştir. AA2024 alaşım tozlarının kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’ de belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. AA2024 alaşım tozlarının ağırlıkça (%) Bileşimi

AA2024	Bileşim Oranı (%)
Al	90,7 – 94,7
Cr	Max 0,1
Cu	3,8 – 4,9
Fe	Max 0,5
Mg	1,2 – 1,8
Mn	0,3 – 0,9
Si	Max 0,5
Ti	Max 0,15
Zn	Max 0,25

Çizelge 3.2. AA2024 alaşımının mekanik ve fiziksel özellikleri

AA2024	Değerler
Teorik Yoğunluk (g/cm^3)	2,78
Çekme Mukavemeti (MPa)	186 MPa
Akma Mukavemeti (MPa)	75,8 MPa
Elastiklik Modülü (GPa)	73,1 GPa
Kopma Uzaması (%)	20
Sertlik (BSD)	47

Takviye malzemesi olarak seçilen TiC’nin teorik yoğunluğu $4,9 \text{ g/cm}^3$ ve ortalama parçacık boyutu $5,2 \mu\text{m}$ ’dir. TiC tozlarının fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.3’te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. TiC tozlarının fiziksel ve mekanik özellikleri

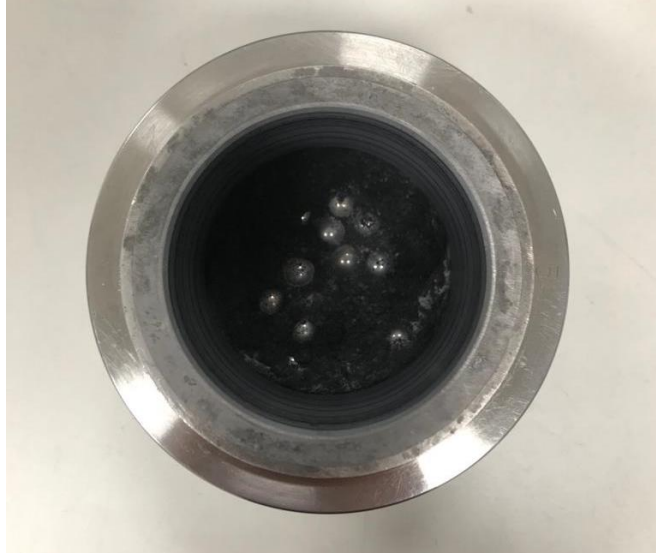
TiC	Değerler
Teorik Yoğunluk (g/cm^3)	4,9
Çekme Mukavemeti (MPa)	55 MPa
Elastiklik Modülü (GPa)	460 GPa
Erime Noktası $^{\circ}\text{C}$	3067
Sertlik (VSD)	3200



Şekil 3.2. Su atomizasyonu ile üretilmiş AA2024 alaşım tozu

3.2. Mekanik Alaşımlama İşlemleri

Mekanik alaşımlama işleminde Topcu vd. (2009), Nazik (2013) çalışmaları referans alınmıştır. TiC ve AA2024 alaşımlarına ait tozlar Retsch marka PM100 model gezegen tipi öğütücüde, 400 rpm hızda öğütülme işlemine tabi tutulmuştur. Öğütme işlem süresi 0, 1, 2, 5 ve 10 saat olarak seçilmiştir. Öğütücü cihazın haznesi 250 ml hacminde olup, hazne ve kullanılan bilyeler tungsten karbür (WC) malzemesinden yapılmıştır. Kullanılan bilyelerin çapı 10 mm'dir. Bilye/toz oranı 10:1 seçilmiştir. İşlem kontrol katkısı (İKK) olarak ağırlıkça %2 metanol kullanılmıştır. Haznede tek seferde 30 gr toz öğütülmüştür. Öğütme haznesi ve bilyeler Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Tungsten karbür hazne ve bilyeler

3.3. Parçacık Morfolojisi İncelemesi

Mekanik alaşımlama yöntemi ile üretilmiş olan kompozit tozların; farklı öğütme zamanlarındaki morfolojik değişim ve mikroyapılarında meydana gelen farklılıklar, Hitachi SU1510 taramalı elektron mikroskobunda (SEM) görüntülenmiştir.

3.4. X-Işınlari Kırınımı (XRD)

Farklı sürelerde öğütme işlemine tabi tutulmuş toz karışımlarının, öğütme sonrasında faz bileşimlerindeki değişiklikleri tespit etmek amacıyla X-Işını kırınım analizi yapılmıştır. X-Işınlari numune ile etkileşimi sonucunda saçılma desenine göre malzemenin yapısal analizi yapılmaktadır. Cihazın ölçüm değerleri 40,1 kV, 30 mA ve radyasyon dalgaboyu $\lambda=1,541874$ nm'dir. Kompozit tozlar $2\theta = 15-95$ aralığında 0,01 adımlarla taranmıştır. Bütün tozlar aynı parametrelerle taranmıştır. XRD analizleri Panalytical Empyrean marka ve model cihazda yapılmıştır.

3.5. Sertlik Ölçüm Deneyi

Sıcak presleme yöntemi ile üretilen numunelerin sertlik ölçümleri Digirock marka cihaz ile yapılmıştır. Kompozit numuneler üzerinden farklı noktalardan ve her bir yüzde 6 adet olmak üzere ölçüm yapılmış ve ölçümlerinin ortalamaları alınarak Brinell sertlik değerleri belirlenmiştir. Deneyde 2,5 mm çapında bilye kullanılmış olup 62,5 kg yük uygulanmıştır.



Şekil 3.4. Brinell sertlik ölçümü

3.6. Sıcak Presleme

Farklı sürelerde öğütme işlemine tabi tutulmuş TiC/AA2024 kompozit tozlar 350 MPa presleme basıncı ve 430 °C sıcaklık altında 30 dakika boyunca sıcak preslenerek kompozit numuneler üretilmiştir. Kalıpların yüzeyleri presleme işleminden önce grafit ile yağlanmıştır. Şekil 3.5’de kullanılan pres, kalıp, ısıtıcı rezistanslar ve sıcaklık ölçüm sensörleri gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Sıcak presleme işleminde kullanılan ekipmanlar

3.7. Yoğunluk Ölçüm Deneyi

Üretilen kompozit numunelerin teorik yoğunlukları hesaplandıktan sonra deneysel olarak gerçek yoğunlukları Precisa marka XB 220A model cihazda ölçülmüştür. Şekil 3.6’da yoğunluk ölçüm cihazı ve ölçüm yapılan numune gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Yoğunluk ölçümü

3.8. Çekme Deneyi

Üretilen kompozit numunelerin çekme deneyleri Şekil 3.7’da gösterilen Shimadzu marka cihazda ASTM E8M standardına uygun olarak yapılmıştır.

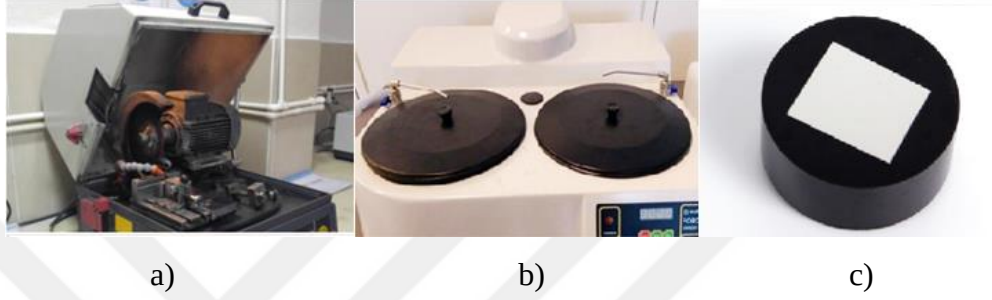


Şekil 3.7. Çekme deneyi

3.9. Metalografik Deney Hazırlıkları

İmal edilen kompozit numunelerin, optik mikroskop incelemeleri ve sertlik ölçümleri için Metkon marka Forcipol V2 model zımpara ve parlatma cihazında metalografik muayene hazırlama işlemleri yapılmıştır. Bu numuneler Metacut M250 cihazında kesilerek bakalite alınmıştır (Şekil 3.8)

Numuneler daha sonra Keller çözeltisi ile dağlanarak optik mikroskopta incelenmeye hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.8. Metalografik muayene hazırlığında kullanılan ekipmanlar; a) Kesme cihazı, b) Zımparalama cihazı, c) Hazırlanan numune

3.10. Optik Mikroskop Görüntülemeleri

Yüzeyleri parlatılarak hazırlanan kompozit numuneler, Nikon Eclipse L150 optik mikroskop ile incelenmiştir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Toz Karakterizasyonu

4.1.1. Takviyesiz AA2024 Tozlarının Başlangıç Haldeki Toz Morfolojisi

AA2024 tozlarının başlangıçtaki morfolojik yapılarını görmek için SEM incelemesi yapılmıştır. Takviyesiz AA2024 tozları genellikle yumru şekline benzer ve düzensiz bir morfolojik yapıya sahiptir. Şekil 4.1’de takviyesiz AA2024 tozlarının 100x büyütme oranı ile elde edilmiş SEM görüntüsü yer almaktadır.

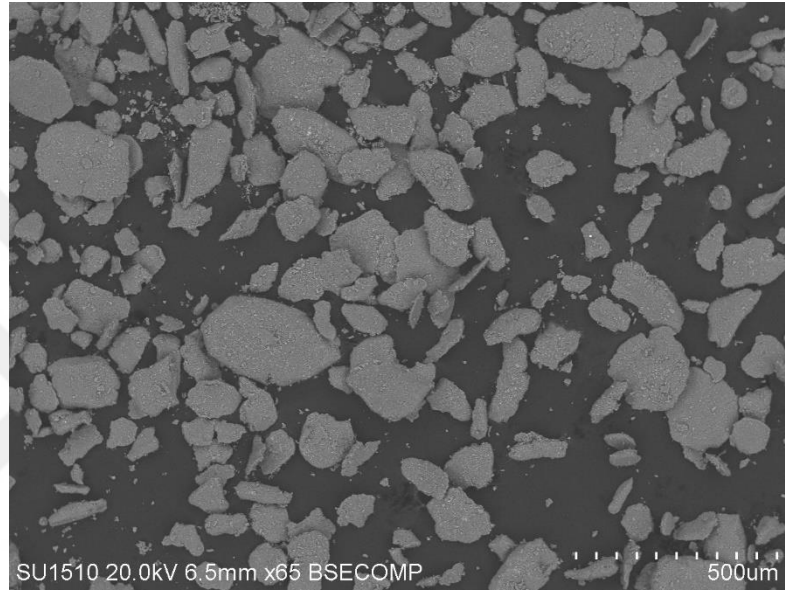


Şekil 4.1. Takviyesiz AA2024 tozlarının şekilsel yapıları; 100x (BSE) büyütme

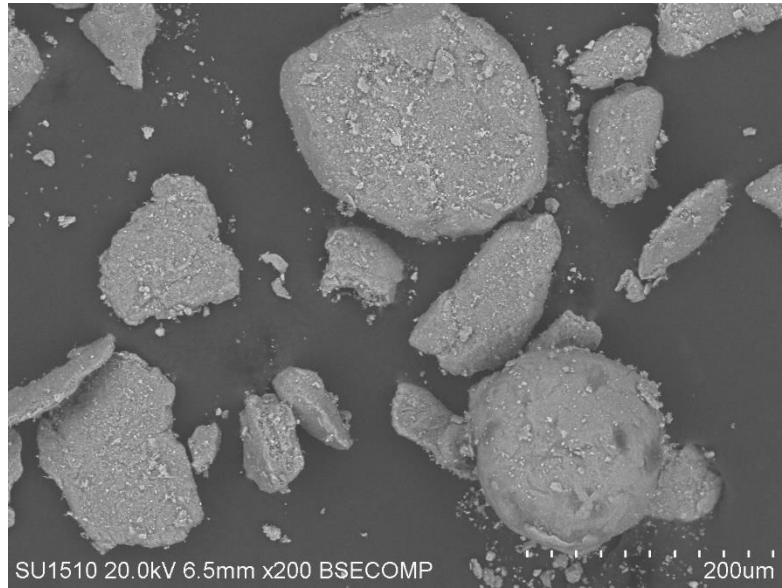
4.1.2. TiC/AA2024 Kompozit Tozlarının Öğütme Süresine Bağlı Olarak Toz Morfolojilerinin Değişimi

4.1.2.1. 1 Saat Öğütülmüş Tozlar

Bir saat öğütme işlemine tabi tutulan toz karışımı, bu süre sonunda plastik deformasyonun da etkisi ile uzayıp ve yassılaşıp büyük oranda pulcuksu bir yapı haline gelmiştir. Pulcuksu yapıdaki bu tozların yanı sıra yapının içerisinde küresel yapıda olan tozlar da bulunmaktadır. Bu yapılar Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te görülmektedir.

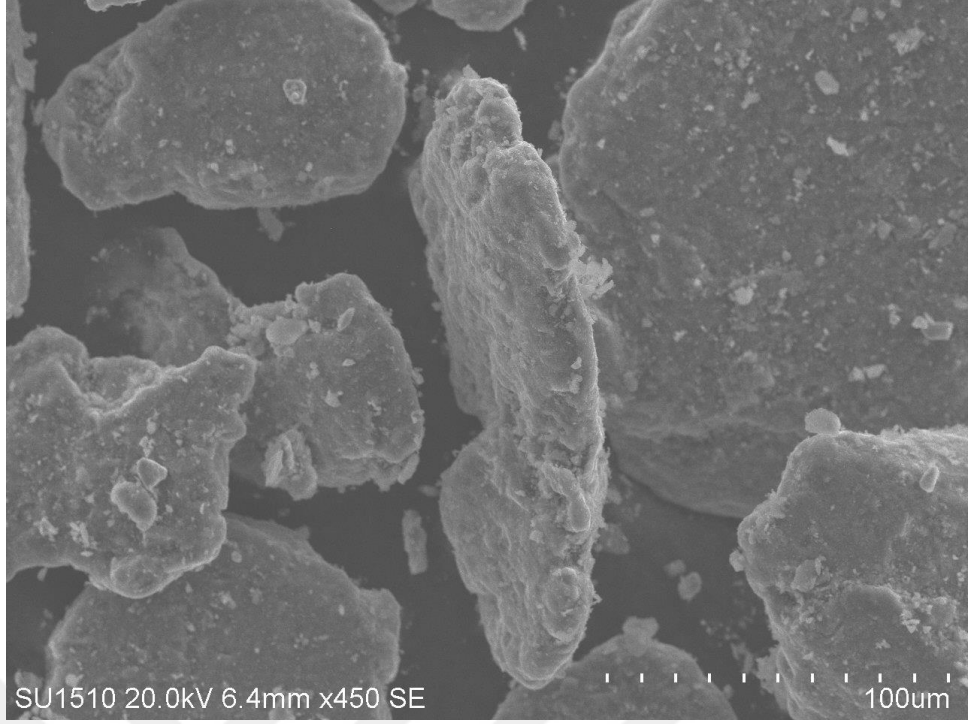


a)

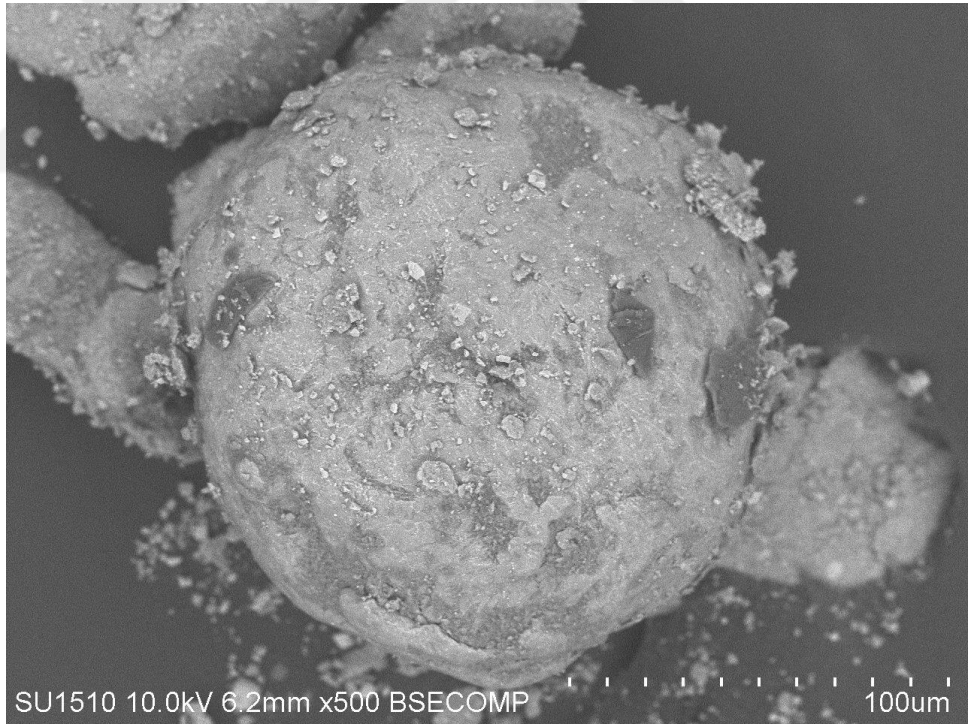


b)

Şekil 4.2. 1 saat öğütme sonucu tozların SEM görüntüleri; a) 65x (BSE) büyütme, b) 200x (BSE) büyütme



a)

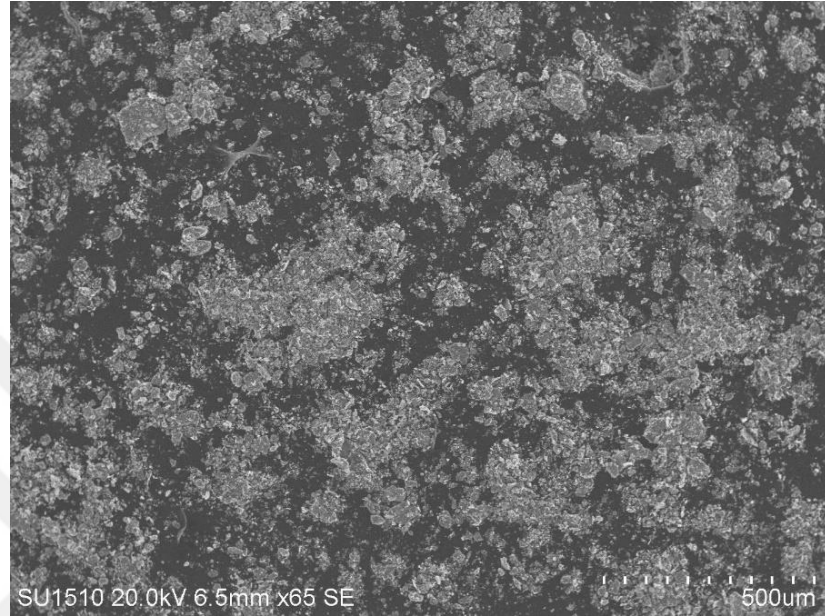


b)

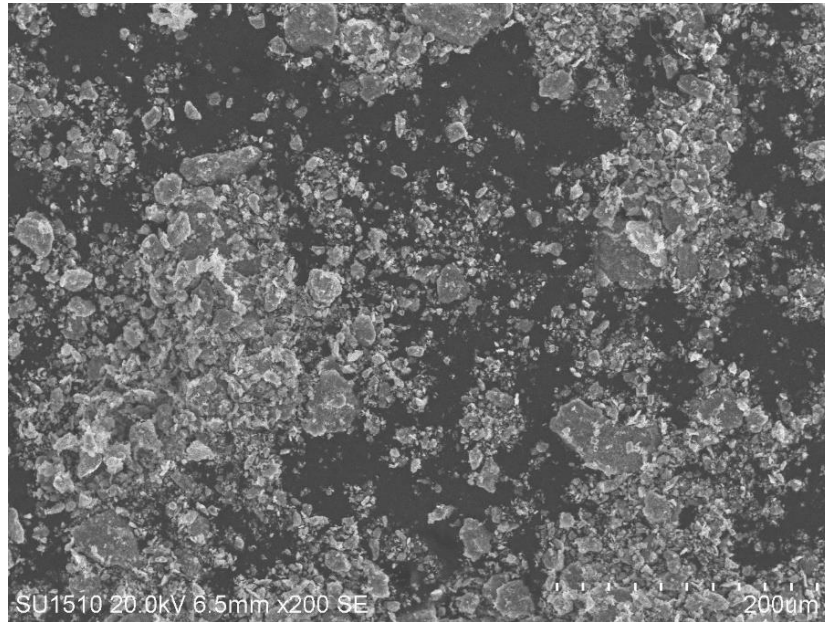
Şekil 4.3. 1 saat öğütme sonucu tozlardaki pulcuksu ve küresel şekilsel yapılar; a) 450x büyütme, b) 500x büyütme (BSE)

4.1.2.2. 2 Saat Öğütülmüş Tozlar

2 saat öğütme işlemi sonunda toz boyutu bir miktar daha küçülmüştür. Şekil 4.5'te de görüldüğü üzere yassı yapıdaki tanecikler ile kırılarak küçülen tanecikler bir karışım oluşturmuştur.

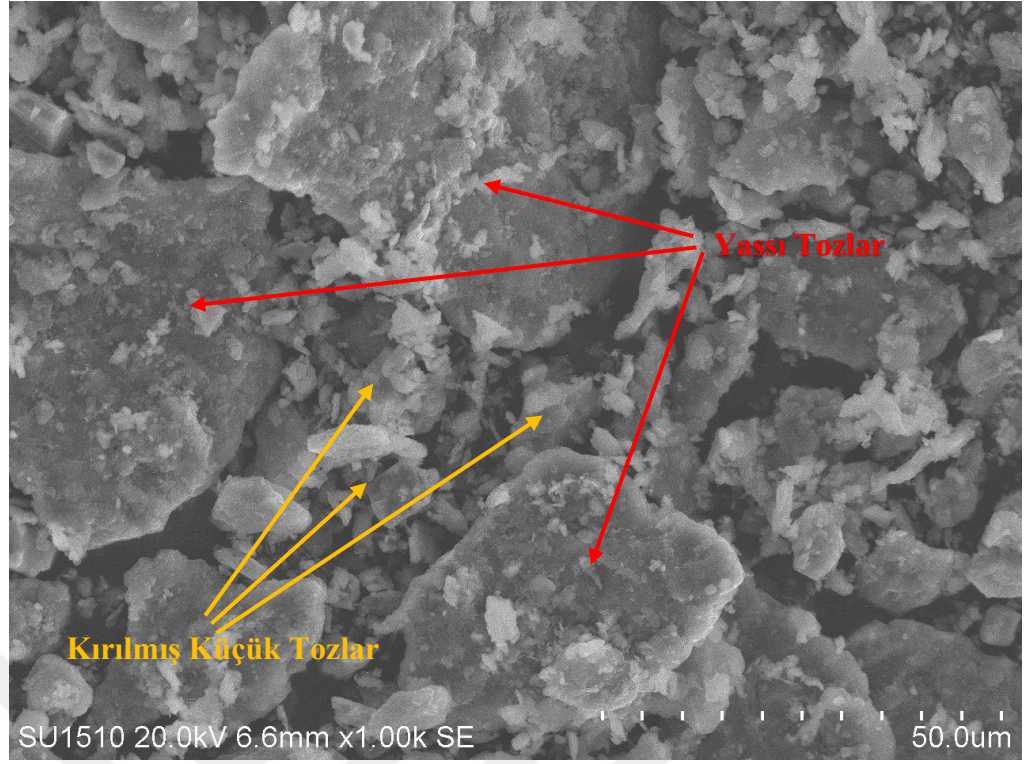


a)

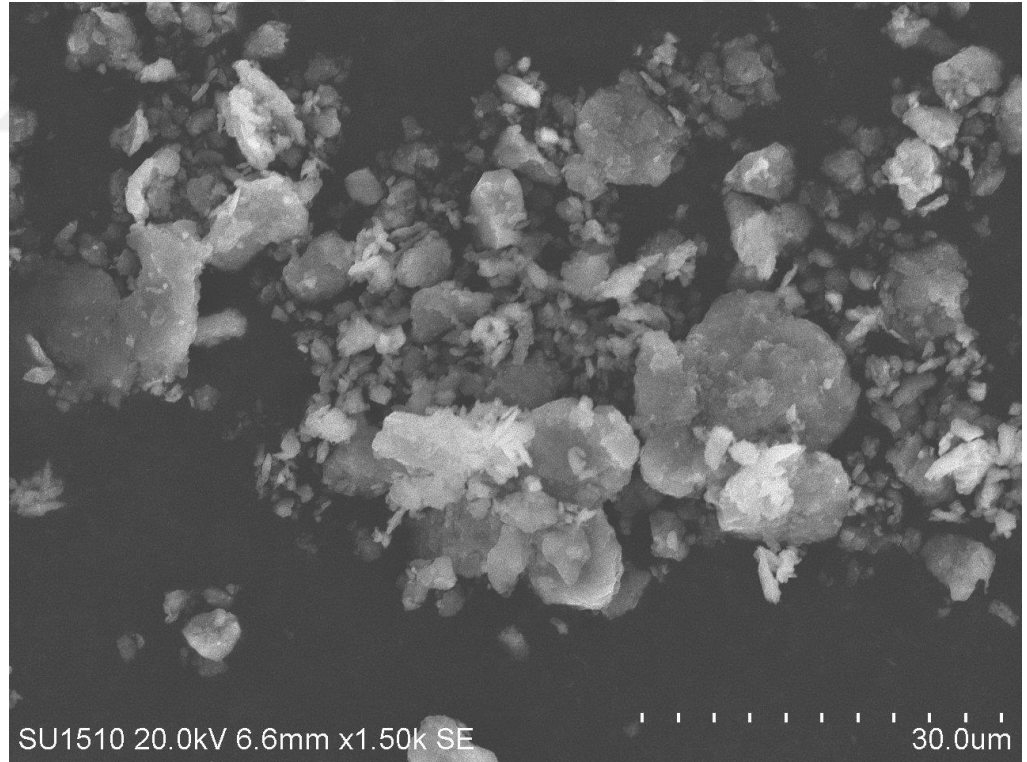


b)

Şekil 4.4. 2 saat öğütme sonucu tozlardaki şekilsel yapılar; a) 65x büyütme, b) 200x büyütme



a)

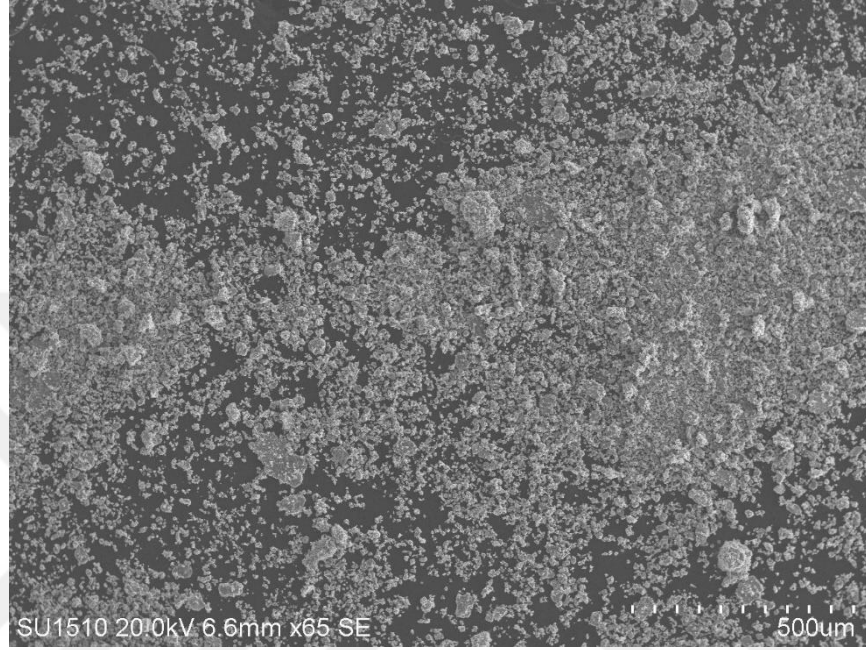


b)

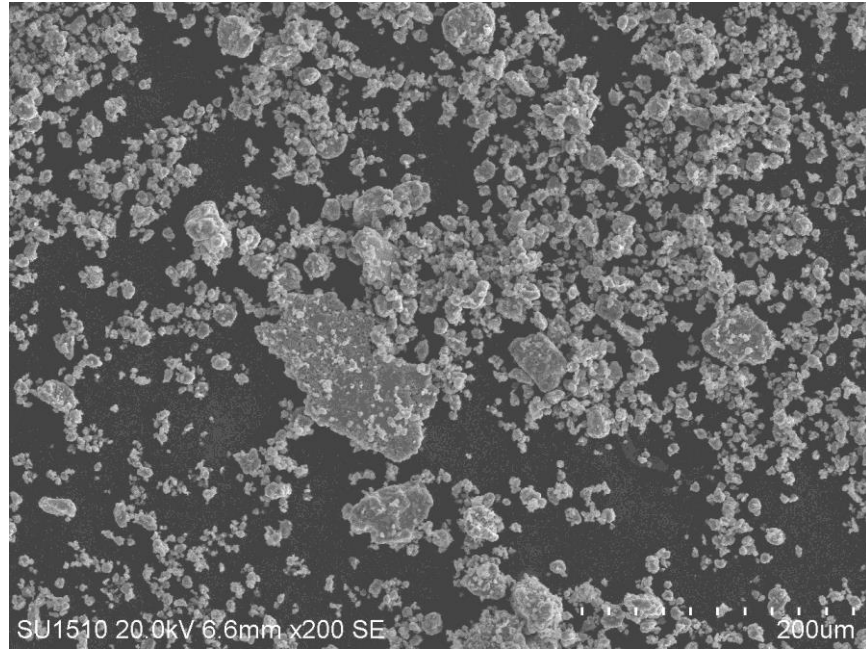
Şekil 4.5. 2 saat öğütme sonucu tozlardaki şekilsel yapılar; a) 1000x büyütme, b) 1500x büyütme

4.1.2.3. 5 Saat Öğütülmüş Tozlar

5 saat öğütme işlemine tabi tutulmuş toz karışımı incelendiğinde, tanecik boyutu TiC parçacıklarının kesme etkisiyle (cutting effect) daha da küçülmüş ve tozlar genel olarak düzensiz bir yapıya geçmiştir. Bu düzensiz morfolojik yapı Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de görülmektedir.

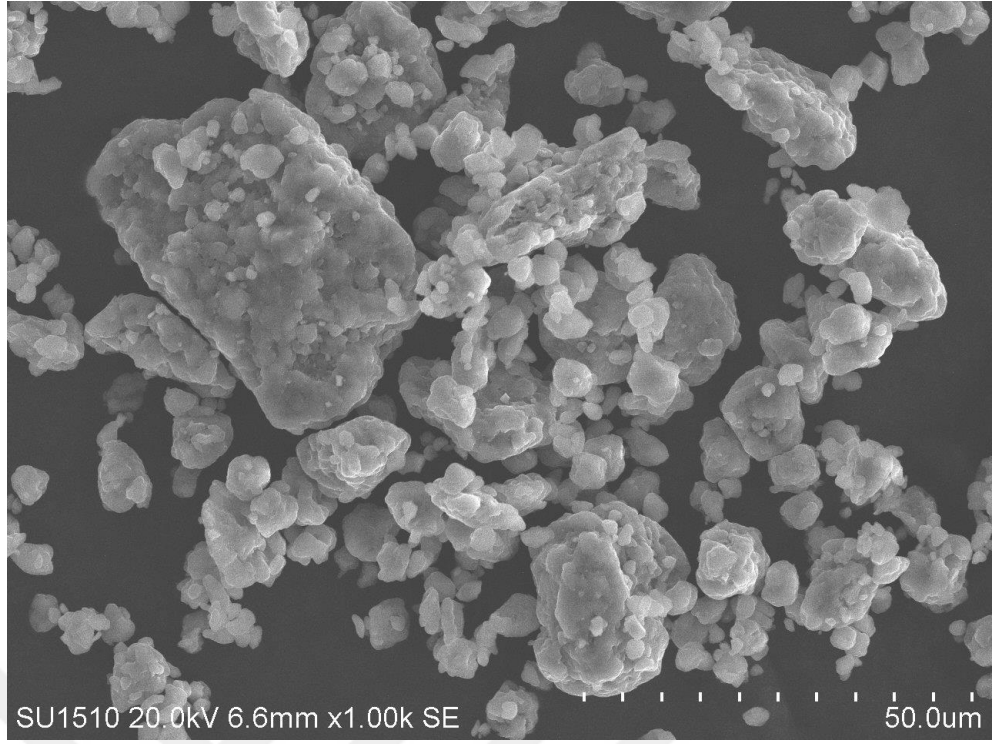


a)

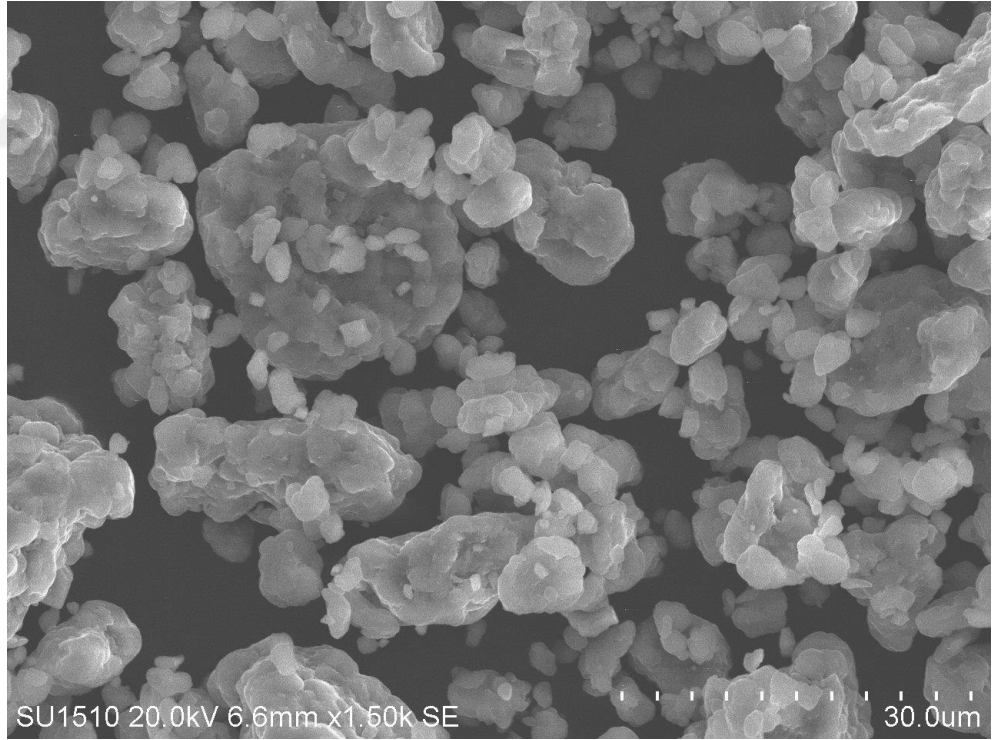


b)

Şekil 4.6. 5 saat öğütme sonucu tozlardaki şekilsel yapılar; a) 65x büyütme, b) 200x büyütme



a)

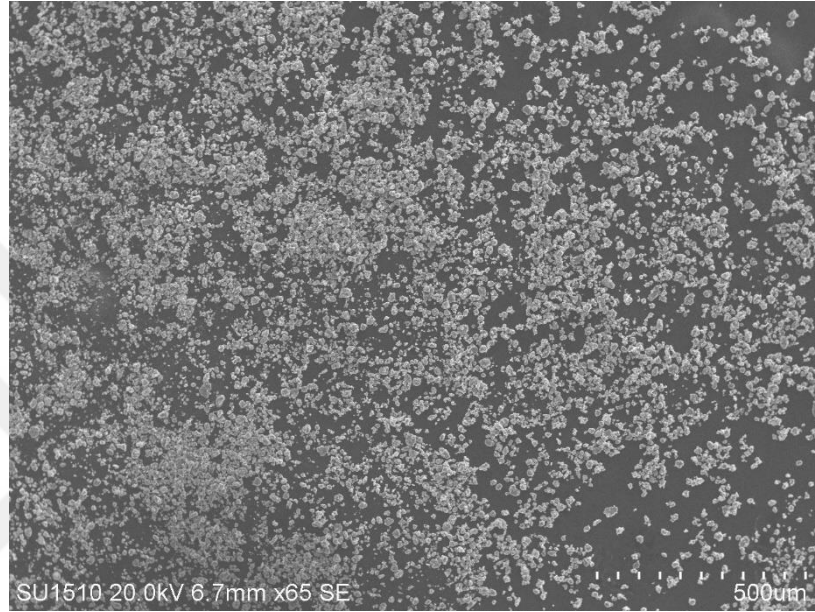


b)

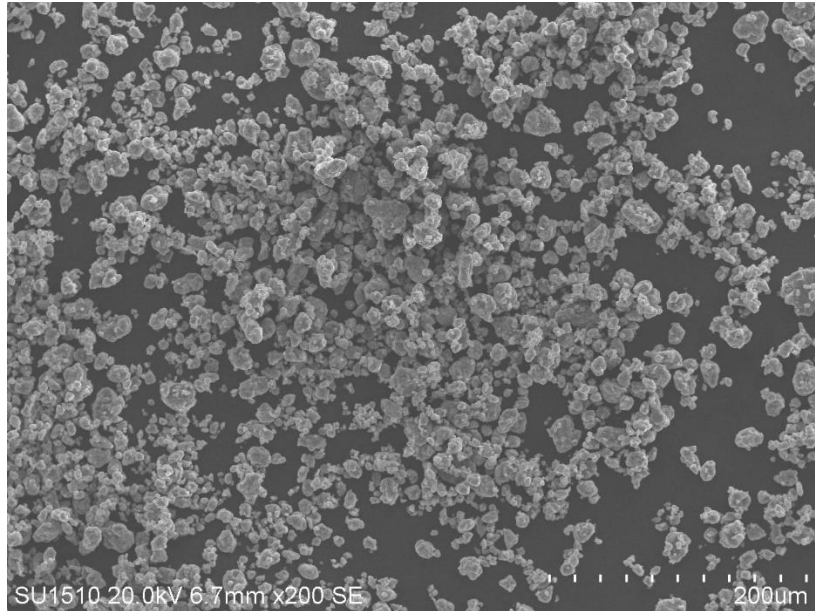
Şekil 4.7. 5 saat öğütme sonucu tozlardaki şekilsel yapılar; a) 1000x büyütme, b) 1500x büyütme

4.1.2.4. 10 Saat Öğütülmüş Tozlar

10 saat öğütme işleminden sonra yapılan incelemelerde, tozların parçacık boyutunun daha da azaldığı, morfolojik yapısının daha kararlı bir hale geldiği (Şekil 4.8) ve eş eksenli bir yapı olduğu buna karşı tozlardaki soğuk kaynaklanma ve aglomerasyon (topaklanma) eğiliminin arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.9). Soğuk olarak birbirine kaynamış tozlar tekrar küre şeklini almıştır.

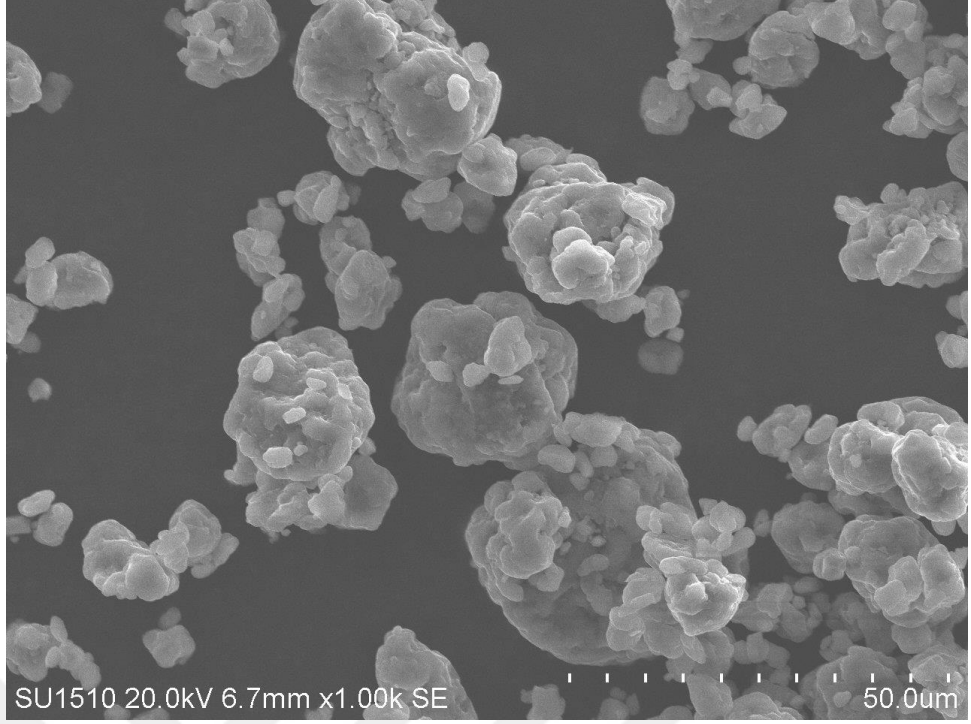


a)

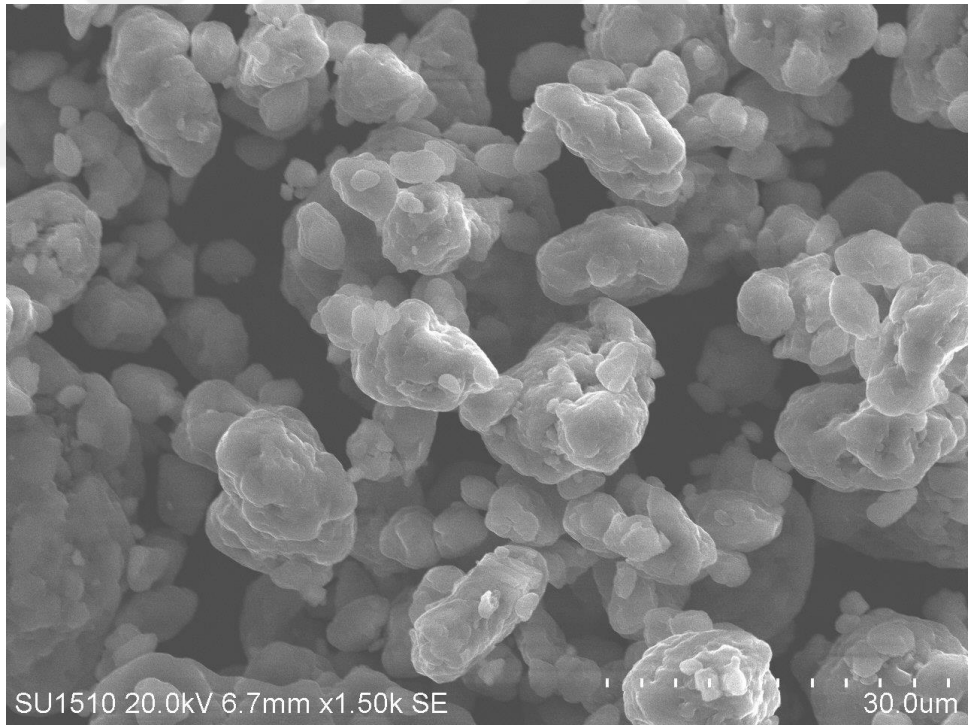


b)

Şekil 4.8. 10 saat öğütme sonucu tozlardaki şekilsel yapılar; a) 65x büyütme, b) 200x büyütme



a)



b)

Şekil 4.9. 10 saat öğütme sonucu tozlardaki şekilsel yapılar; a) 1000x büyütme, b) 1500x büyütme

4.1.3. XRD Analizleri

Bu kısımda mekanik alaşımlama yöntemiyle elde edilen tozların kristalografik özellikleri incelenmiş olup, takviye malzemesinin ve öğütme süresinin etkisini incelemek amacıyla takviyesiz AA2024 ve TiC takviyeli ve farklı sürelerde öğütülmüş tozların XRD analizleri yapılmıştır.

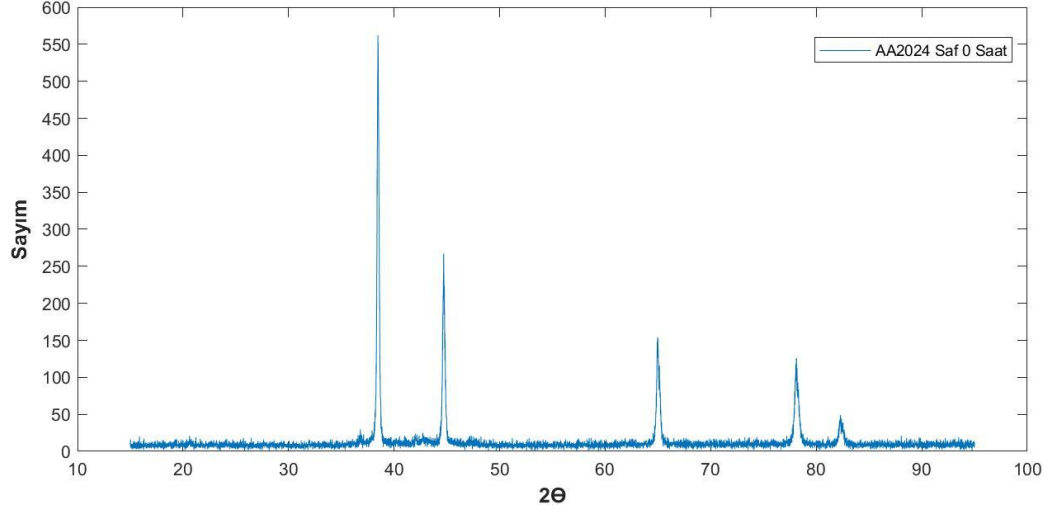
XRD analizine tabi tutulan kompozit tozların bileşiminin anlaşılması amacıyla Çizelge 4.1’de başlangıç tozlarına ait referans kartlar ve pik yaptığı listeleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. Al ve TiC malzemelerine ait referans kartlar

	No	h	k	l	d (Å)	2θ (derece)	Sayım (%)	Referans Kart
Al	1	1	1	1	2,33827	38,469	100,0	ICDD: 98-004-4321
	2	0	0	2	2,02500	44,716	47,7	
	3	0	2	2	1,43189	65,090	28,7	
	4	1	1	3	1,22112	78,220	32,0	
	5	2	2	2	1,16913	82,426	9,1	
TiC	1	1	1	1	2,50801	35,773	88,9	ICDD:98-009-3504
	2	0	0	2	2,17200	41,544	100,0	
	3	0	2	2	1,53584	60,205	54,4	
	4	1	1	3	1,30977	72,047	28,4	
	5	2	2	2	1,25400	75,798	16,1	

4.1.3.1. Takviyesiz AA2024 tozlarının kristalografik özellikleri

Şekil 4.10’da takviyesiz ve 0 saat öğütülmüş AA2024 tozlarına ait XRD görüntüsü verilmiştir. XRD örgü deseninde AA2024 tozlarının kırınım açıları görülmektedir. Bu desenler ağ. %10 TiC takviye edilmiş ve farklı saatlerde öğütülmüş kompozit tozlarda meydana gelen değişimlerin incelenmesi açısından son derece değerlidir. Pik değerleri referans karta uygun olarak malzemenin karakteristiğini göstermektedir.

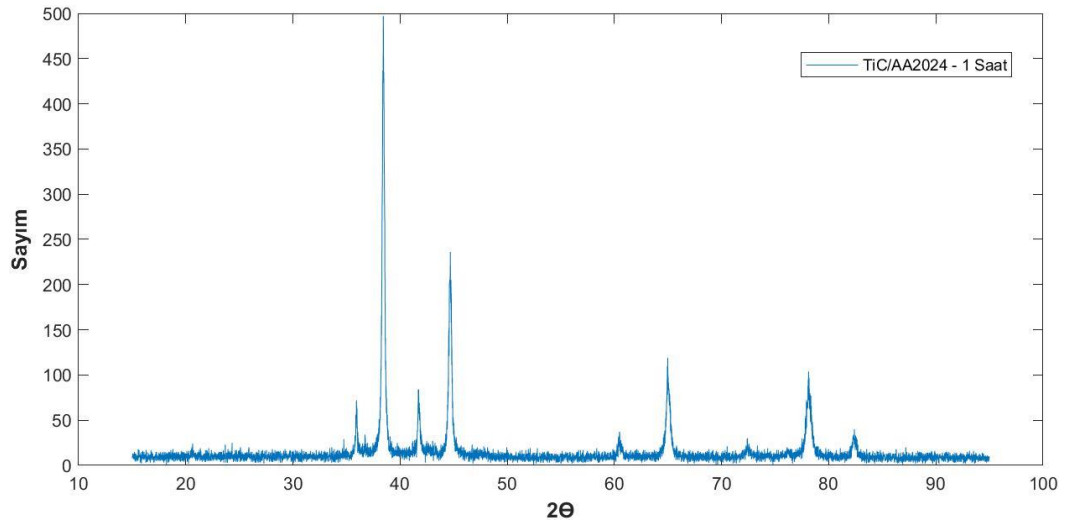


Şekil 4.10. Takviyesiz AA2024 tozlarına ait kırınım desenleri

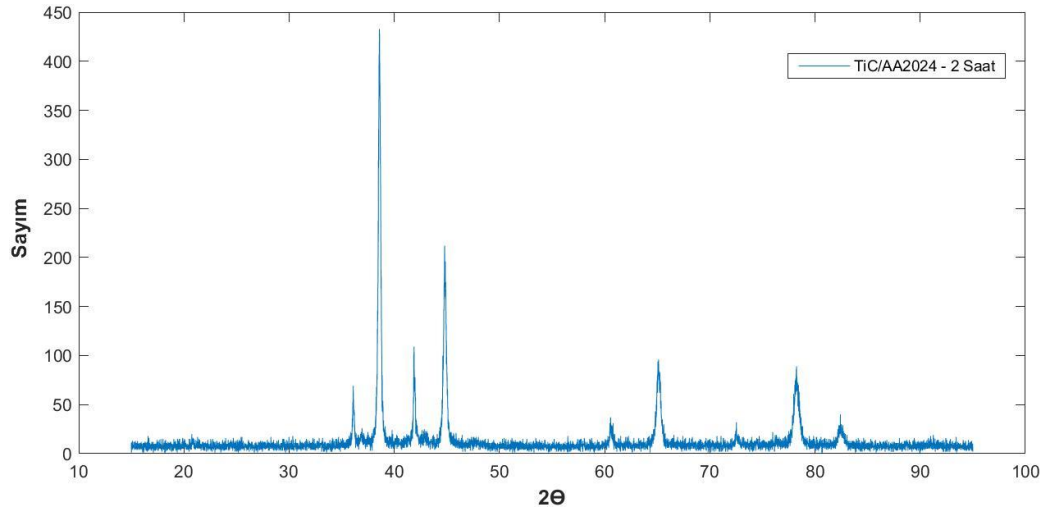
4.1.3.2. %10 TiC takviye edilmiş tozların kristalografik özellikleri

Bu kısımda ağ. %10 TiC takviye edilmiş ve farklı sürelerde öğütülmüş kompozit tozların XRD analizleri yapılmıştır. Yapılan ağ. %10 TiC takviyesi referans karta uygun olarak $35,78^\circ - 41,54^\circ - 60,25^\circ - 72,045^\circ$ açılarında görülmektedir (Şekil 4.11). XRD analizlerinde tozların öğütme süresi arttıkça;

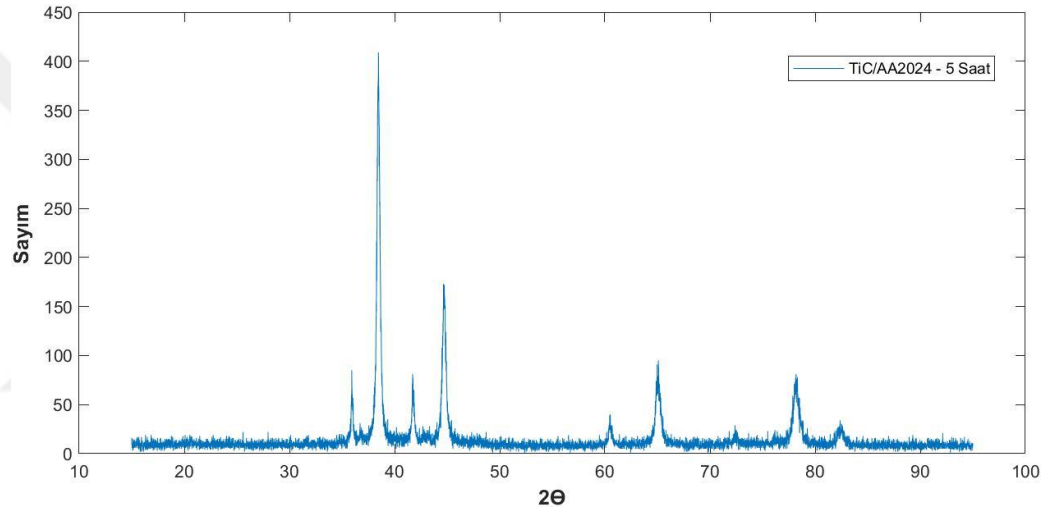
- Pik sayım değerleri (şiddeti) azalmış,
- Pik genişliği öğütme süresi arttıkça genişlemiştir.



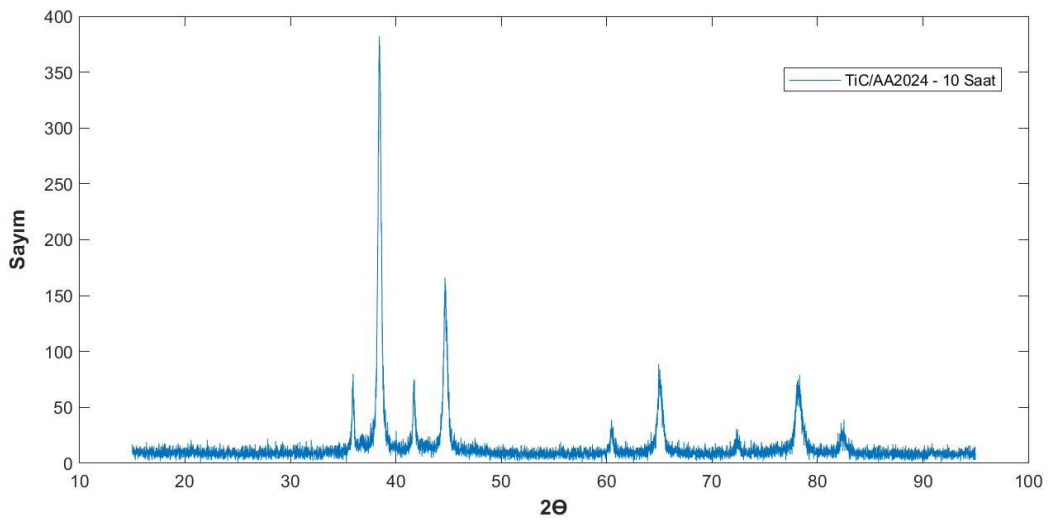
Şekil 4.11. Ağ. %10 TiC takviyeli kompozit tozlarının öğütme süresine bağlı olarak X-ışını kırınım desenleri



a)



b)



c)

Şekil 4.12. Ağ. %10 TiC takviyeli kompozit tozlarının öğütme süresine bağlı olarak X-ışını kırınım desenleri; a) 2 saat MA, b) 5 saat MA, c) 10 saat MA

4.2. Sıcak Presleme ile Üretilen Numunelerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

4.2.1. Numunelerin Yoğunluk Ölçümleri

Malzemelerin yoğunluğu, toz metalürjisinde büyük bir önem arz etmektedir. Malzemenin yoğunluğu, mekanik özelliklerine doğrudan etki eden önemli bir parametredir. Sıcak presleme yönteminde, kalıp içerisinde tozları preslemeye tabi tutmanın tozlar üzerindeki etkileri;

- Birinci safhada tozlar, kalıp içerisindeki boş hacimleri doldurur
- İkinci safhada basıncın etkisiyle tozlar arasında mekanik bir birleşim olur. Bu aşamada elastik ve plastik deformasyon mekanizmaları etkindir
- Üçüncü safhada ise tozlar kırılır ve plastik deformasyon artar. Boyutu küçülmüş tozlar boşlukları doldurarak porozite miktarını azaltır.

Üretilen numunelerin yoğunluğuna etki eden önemli bir faktör de kullanılan tozların sertliğidir. Çizelge 4.2’de görüldüğü üzere 5 saat mekanik alaşımlama işlemi uygulanarak tane boyutu küçülmüş ve deformasyon sertleşmesine maruz kalarak tozların sertliği artmıştır. Gevrekleşen tozların sıkıştırılması daha zor olmasından dolayı üretilen numunelerin yoğunluğu düşmektedir. 10 saat mekanik alaşımlama işlemi uygulanan tozlarda ise tozlarda soğuk kaynaklanma meydana gelerek tozlar tekrar küresel bir hale gelmeye başlamış ve neticesinde yoğunluk bir miktar artmıştır.

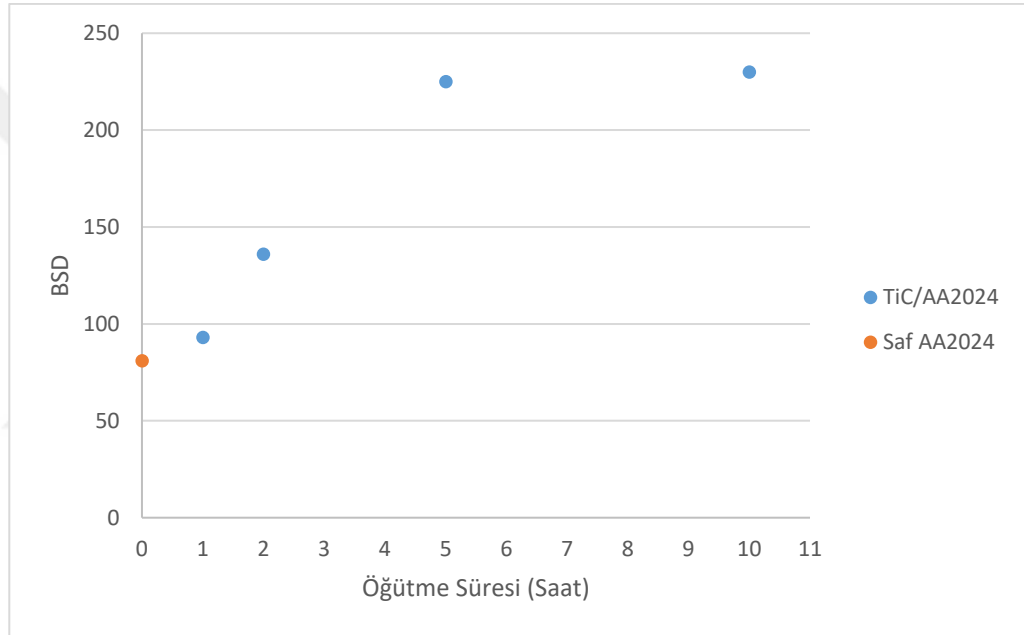
Çizelge 4.2. Üretilen numunelerin yoğunluk değerleri

Numune	MA Süresi (saat)	Teorik Yoğunluk (g/cc)	DeneySEL Yoğunluk (g/cc)	Bağıl Yoğunluk (%)
AA2024	0	2,78	2,77	99,5
TiC/AA2024	1	2,995	2,85	95,16
TiC/AA2024	2	2,995	2,89	96,5
TiC/AA2024	5	2,995	2,75	91,8
TiC/AA2024	10	2,995	2,81	93,8

4.2.2. Numunelerin Sertlik Ölçümleri

Sıcak presleme yöntemi ile üretilmiş takviyesiz AA2024 ve ağ. %10 TiC içeren TiC/AA2024 tozlarına ait numunelerin yapılan sertlik ölçümleri Şekil 4.13’de verilmiştir. TiC takviyesi ve artan öğütme süresine bağlı olarak numunelerde sertlik değerleri artmıştır. Numunelerdeki sertlik değerlerinin artmasının nedenleri;

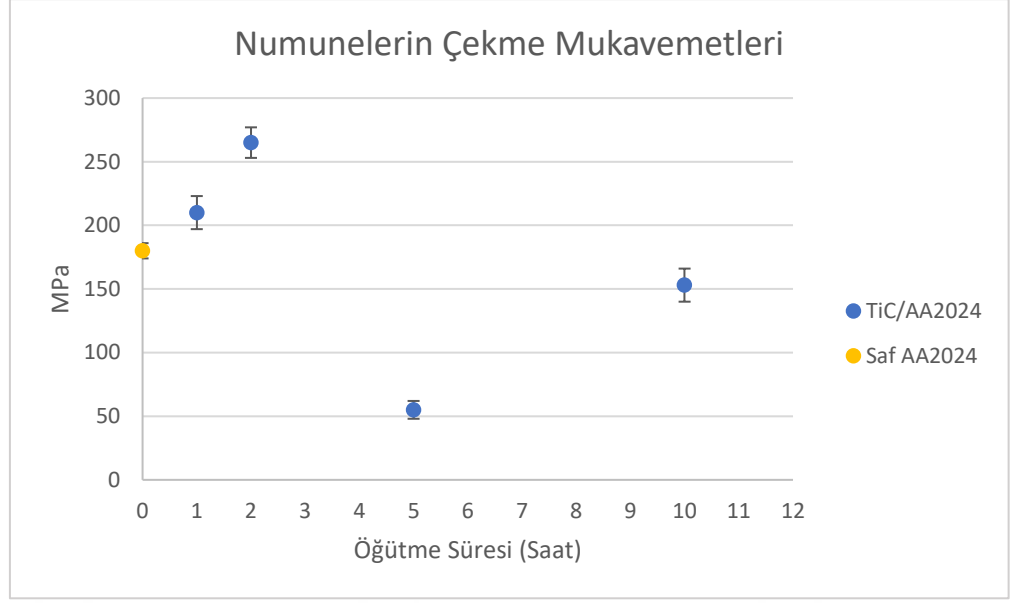
- Öğütme süresinin artması ile birlikte dislokasyon yoğunluğu artarak malzemede deformasyon sertleşmesinin meydana gelmesi,
- Sertlik değeri yüksek bir malzeme olan TiC’nin yapı içerisinde kırılarak homojen bir şekilde dağılmasıdır.



Şekil 4.13. Takviyesiz AA2024 ve TiC/AA2024 kompozitlerin Brinell sertlik değerleri

4.2.3. Numunelerin Çekme Mukavemeti Ölçümleri

Şekil 4.14’de görüldüğü üzere ağ. %10 TiC takviyeli TiC/AA2024 kompozitlerinin çekme dayanımları 2 saatlik öğütmeye kadar artmış olup 5 saatlik öğütme sonrasında düşmüştür. Sonrasında öğütme devam ettikçe çekme mukavemeti bir miktar daha artmıştır. En yüksek çekme dayanımı 2 saat öğütülmüş kompozit numunede elde edilmiştir.

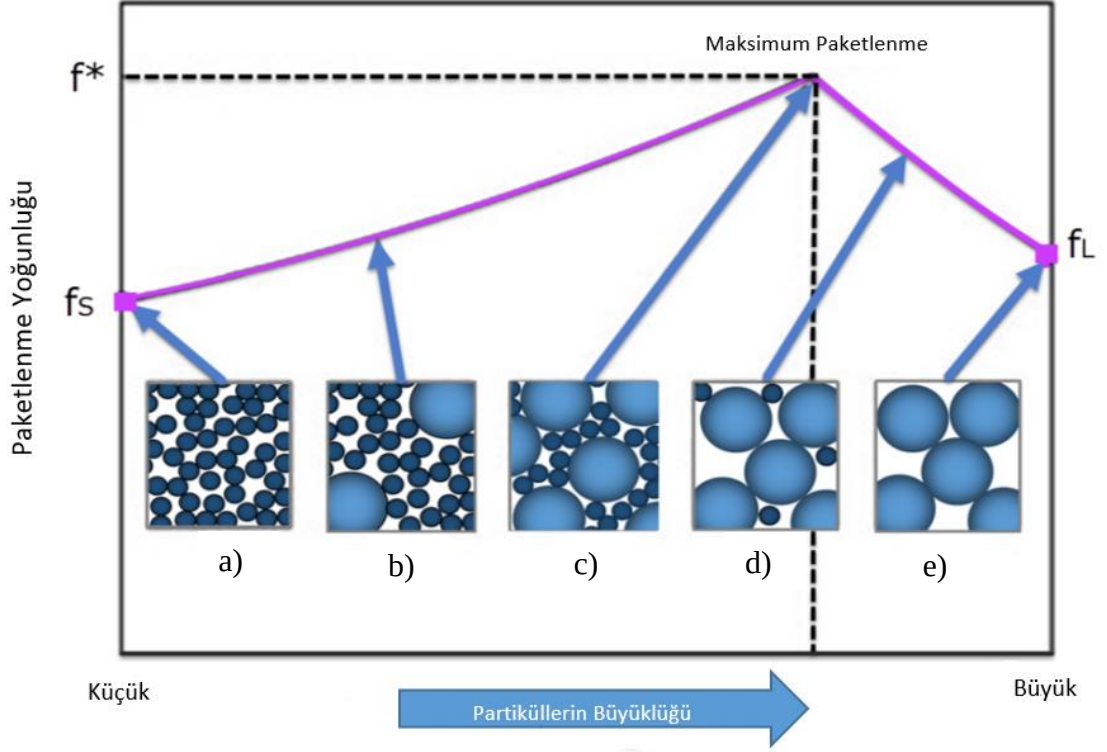


Şekil 4.14. Takviyesiz AA2024 ve TiC/AA2024 numunelerin çekme mukavemet değerleri

Çekme dayanımı testlerinden, numunelerin yoğunluklarından ve tozların SEM görüntülerinden aşağıdaki çıkarımlar yapılabilir;

- 1 saat mekanik alaşımlama işlemine tabi tutulan tozlar büyük oranda pulcuksu yapıya ulaşmıştır.
- 2 saat mekanik alaşımlamaya tabi tutulan tozlarda, oluşan pulcuksu yapı ve kırılarak boşlukları doldurmuş küçük taneciklerin bir araya gelmesiyle birlikte numunenin yoğunluğu ve buna istinaden çekme dayanımı artmıştır. Bu numunenin paketlenme yoğunluğu yüksektir.
- 5 saat mekanik alaşımlama sonrasında toz partikülleri küçük ve düzensiz bir hale gelmiştir. Plastik deformasyonun etkisi ve toz taneciklerinin sertleşmesi sebebiyle tozların sıkıştırılması zorlaşmış ve porozite artarak yoğunluk düşmüştür. Azalan yoğunluğa ve gevrekleşen tozlara bağlı olarak numunenin çekme mukavemeti düşmüştür.
- 10 saat mekanik alaşımlama işlemi yapılmış numunenin yapısında soğuk kaynaklanma meydana gelmiş ve tozlar birbiri üstüne yığılarak küresel bir yapıya dönüşerek büyümüştür. Bu tozların arada boşluk olmadan sıkı bir şekilde yapıştığı anlaşılmaktadır. Toz metalürjisinde en yüksek paketlenme yoğunluğunun küresel toz şeklinde olduğu bilinmektedir. Tozlar tekrar küresel bir hale gelmesine rağmen malzemenin daha da

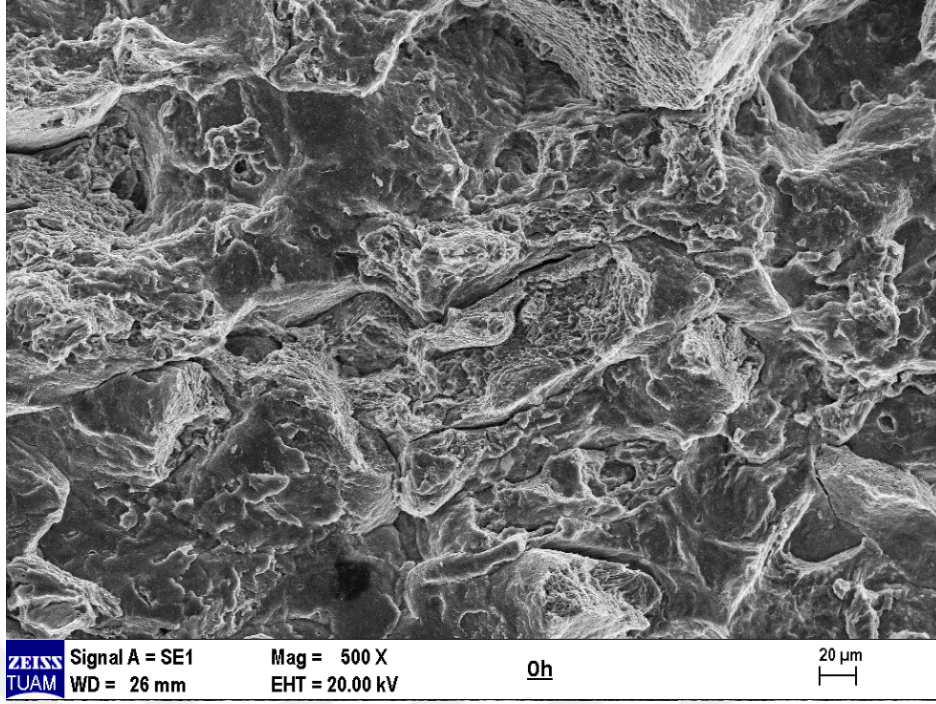
sertleşmesi sonucu paketleme yoğunluğu düşmüştür. Bu sebeple malzemenin yoğunluğu bir miktar artmış ve çekme dayanımı da 5 saatlik mekanik alaşımlama işlemi uygulanmış numuneye göre yükselmiştir.



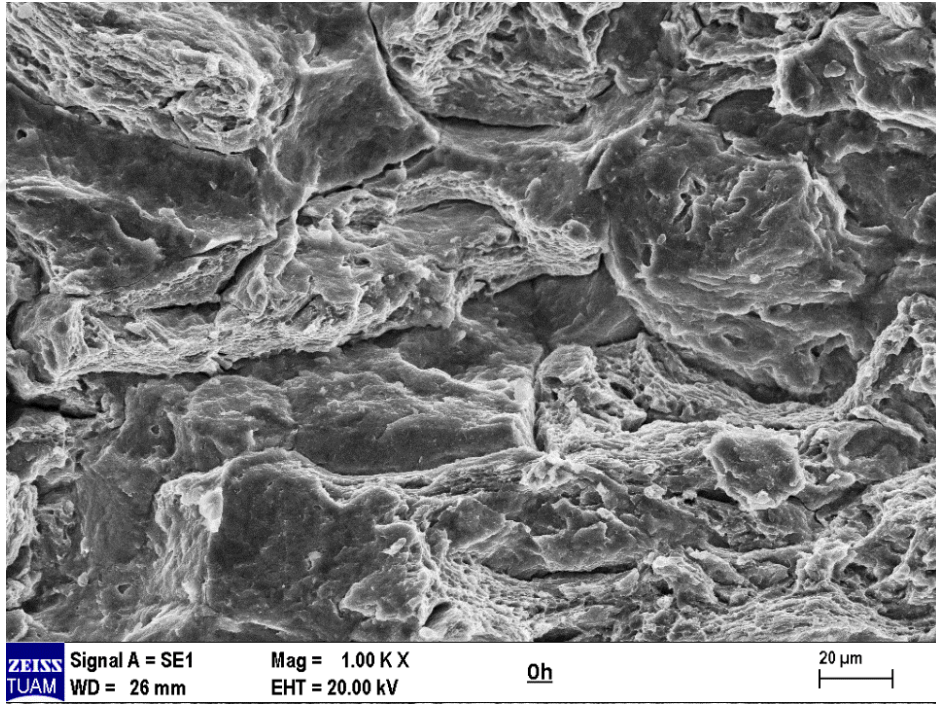
Şekil 4.15. Partikül yapısının paketlenme yoğunluğu ile ilişkisi (German, 2007)

4.3. Çekme Deneyi Sonrası Kırık Yüzeylerin SEM Analizi

Çekme deneyi sonrasında kırık yüzeyler SEM’de incelenmiştir. Şekil 4.16’da 0 saat MA işlemi yapılmış takviyesiz AA2024’e ait kırık yüzeylerin SEM görüntüleri verilmiştir. Yüzeyler incelendiğinde yüksek oranda plastik deformasyon olduğu, petekli ve çukurluklu bir yüzey olduğu görülmektedir. Bu şekilde numunede sünek bir kırılma gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Şekil 4.16’daki SEM görüntüleri plastik deformasyonun yüksek olduğu kesitin kenar kısımlarından alınmıştır.



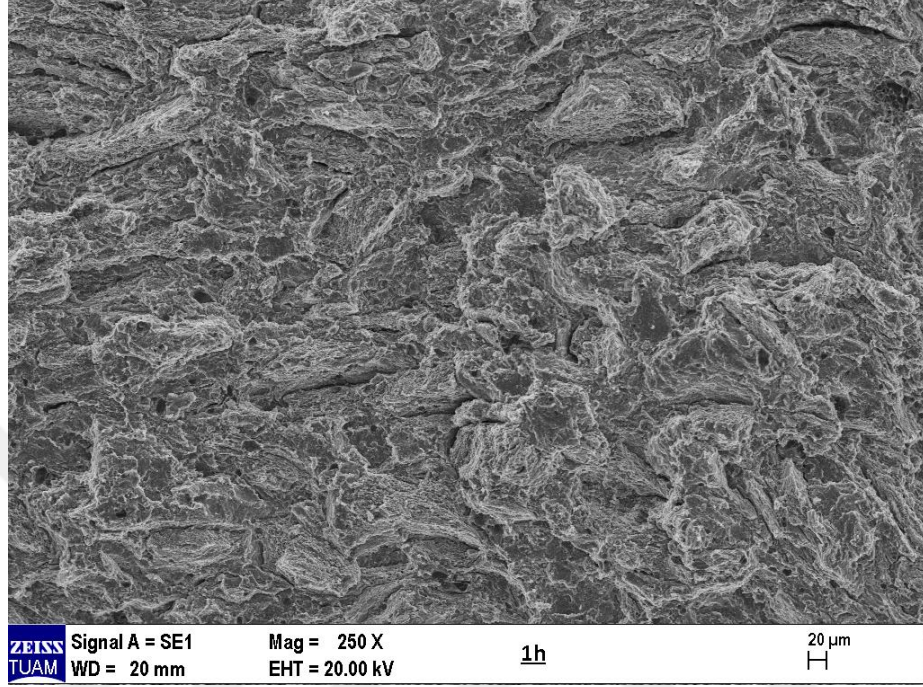
a)



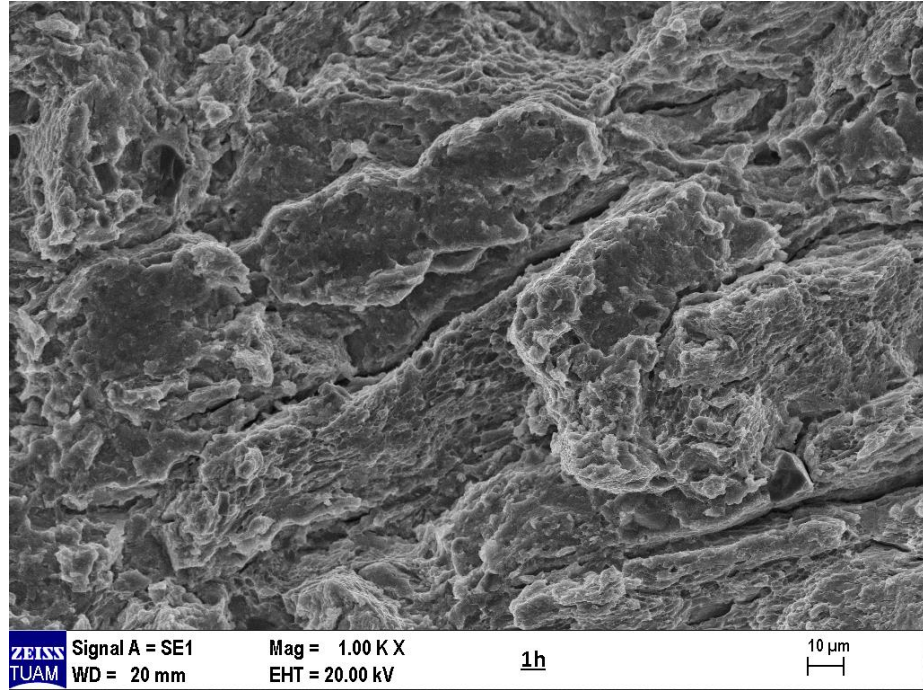
b)

Şekil 4.16. Takviyesiz AA2024 numunesinin kırık yüzeylerinin SEM görüntüleri; a) 500x büyütme, b)1000x büyütme

1 saat mekanik alaşımlama süresine sahip TiC/AA2024 numunelerin yüzeylerinde de benzer şekilde yüksek deformasyon ve yüzeylerde çukurlukların olduğu görülmüştür (Şekil 4.17). Numune sünek bir kopma davranışı göstermiştir.



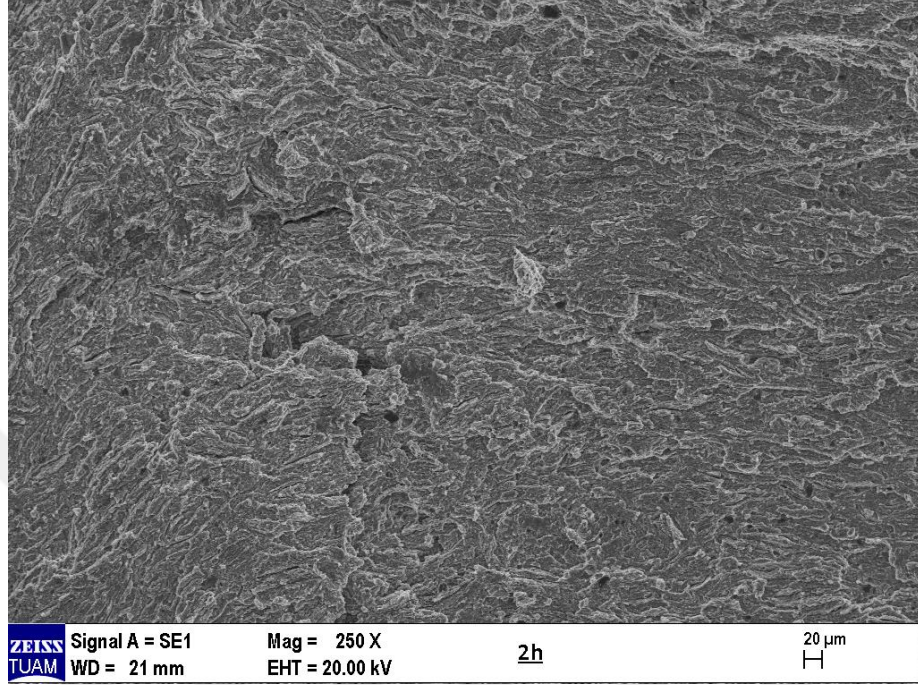
a)



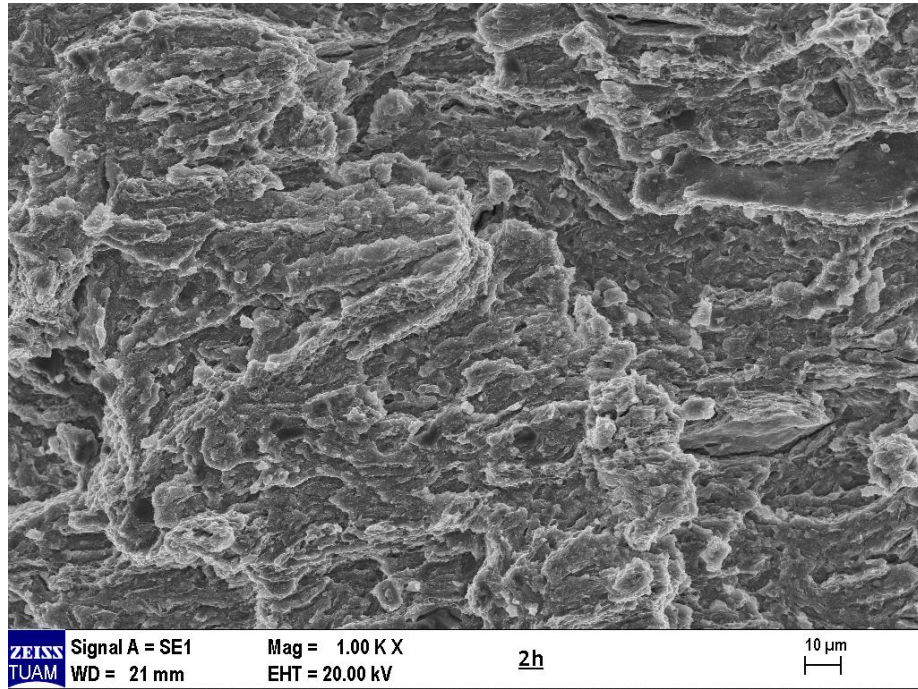
b)

Şekil 4.17. 1 saat MA yapılmış TiC/AA2024 numunesinin kırık yüzeylerinin SEM görüntüleri; a) 250x büyütme, b) 1000x büyütme

2 saat mekanik alaşımlama sonrasında ise yapı büyük oranda sünek kopma davranışı sergilemektedir. Kopan yüzeylerde boşluklu bir yapı gözlenmemiştir (Şekil 4.18).



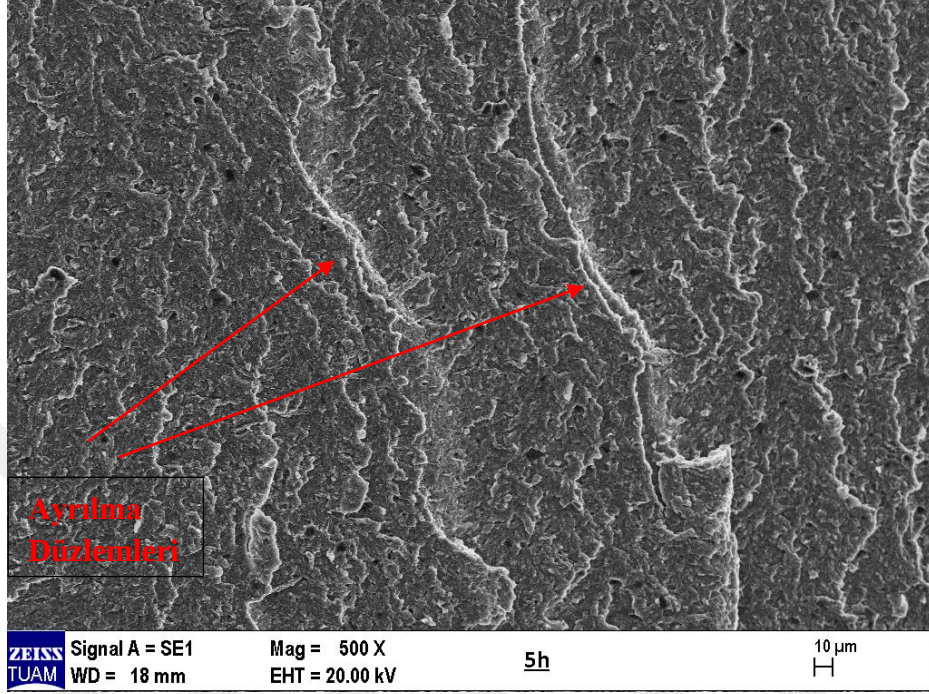
a)



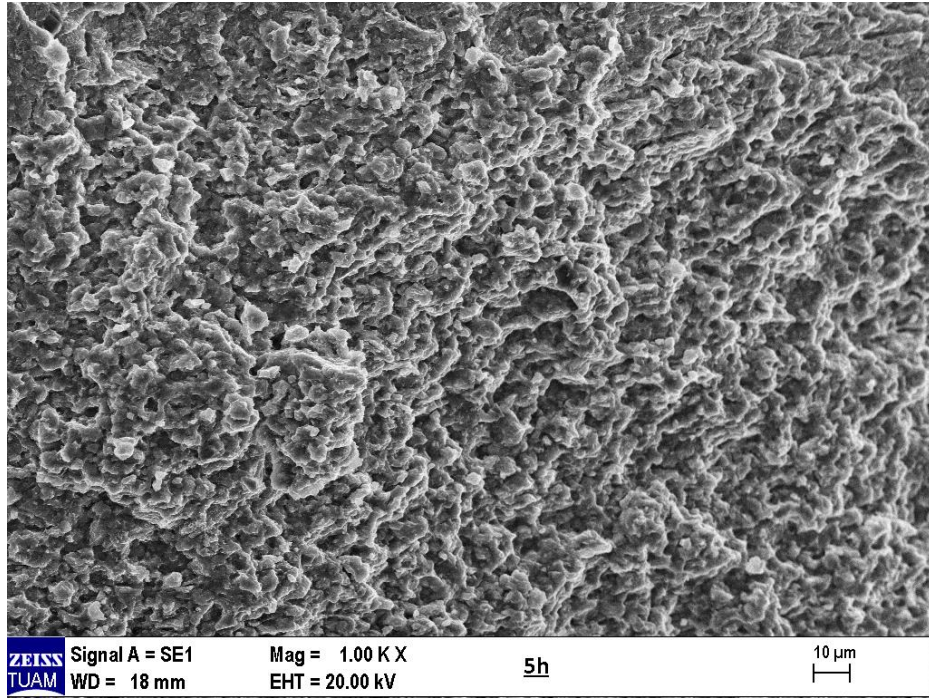
b)

Şekil 4.18. 2 saat MA yapılmış TiC/AA2024 numunesinin kırık yüzeylerinin SEM görüntüleri; a) 250x büyütme, b) 1000x büyütme

5 saat mekanik alaşımlama sonrasında tanecik boyutu küçülmüş, poroziteler artmıştır. Yüzeylerde ayrılma düzlemleri net bir şekilde görülmekte olup yapı gevrek bir şekilde kopmuştur (Şekil 4.19).



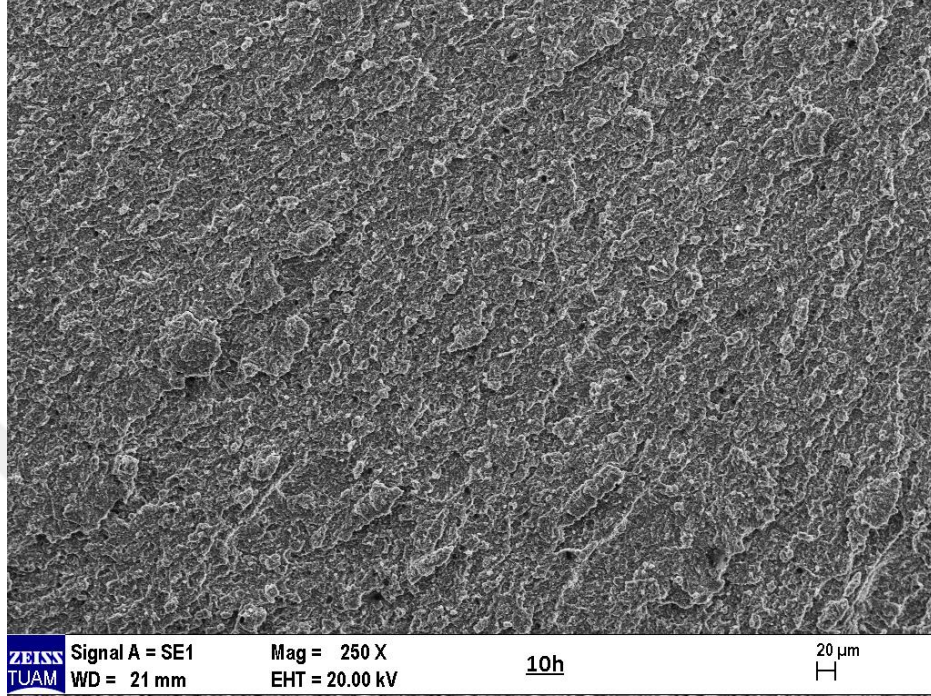
a)



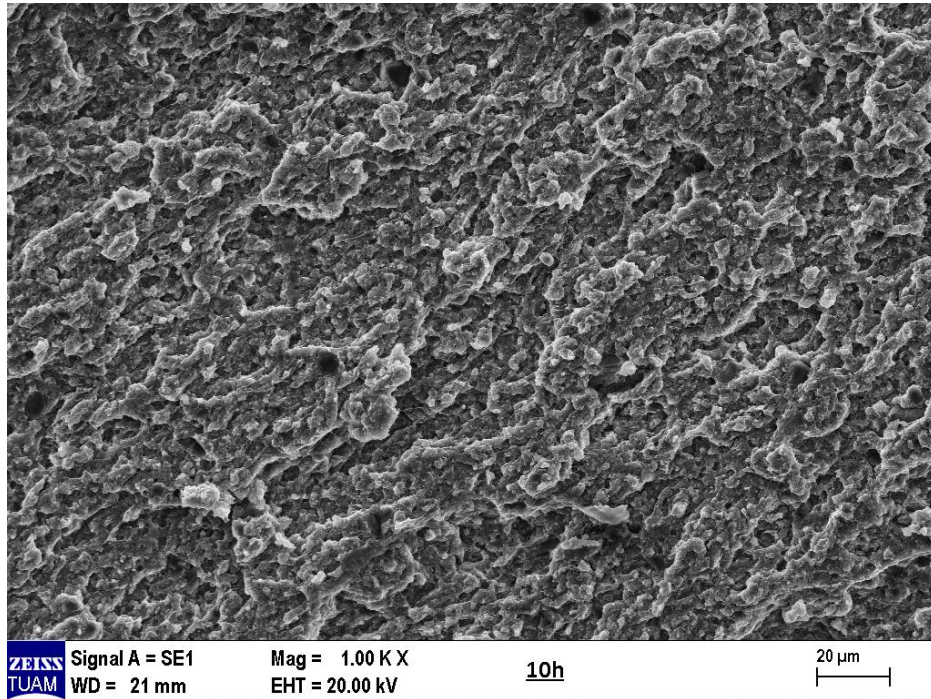
b)

Şekil 4.19. 5 saat MA yapılmış TiC/AA2024 numunesinin kırık yüzeylerinin SEM görüntüleri; a) 500x büyütme, b) 1000x büyütme

10 saat MA sonrasında malzeme gevrek kopma davranışı sergilemektedir. 5 saatlik numuneye göre ise yapıdaki aglomerasyonun artmış olduğu ve yüzeylerdeki porozitelerin azaldığı gözlenmiştir (Şekil 4.20).



a)



b)

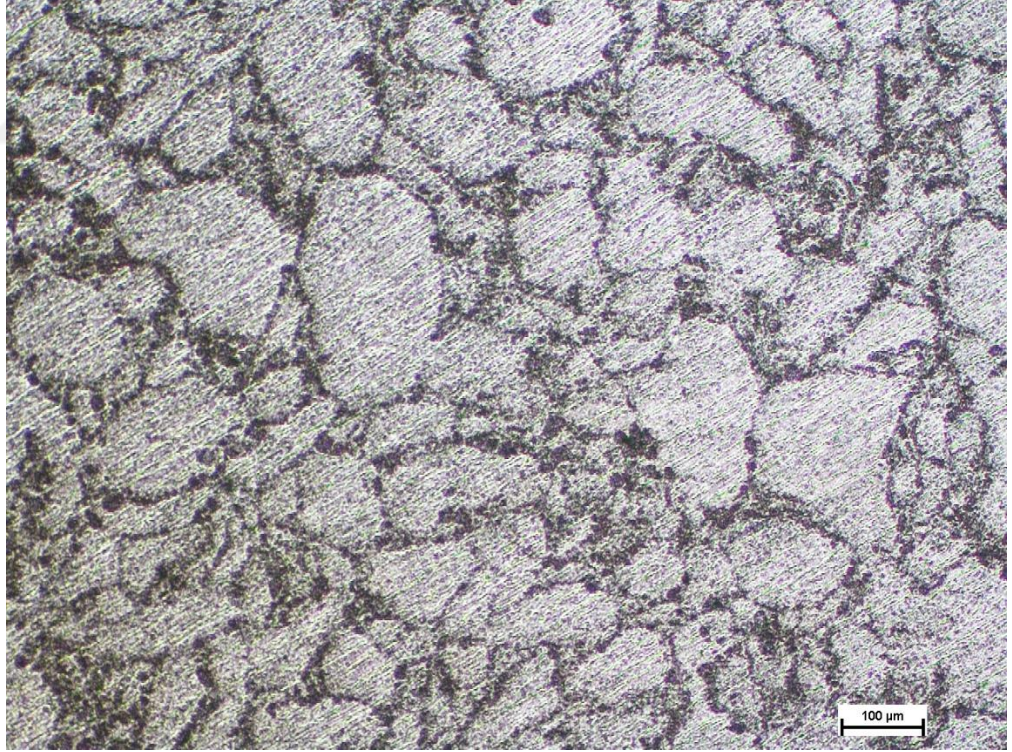
Şekil 4.20. 10 saat MA yapılmış TiC/AA2024 numunesinin kırık yüzeylerinin SEM görüntüleri; a) 250x büyütme, b) 1000x büyütme

4.4. Sıcak Presleme ile Üretilen TiC/AA2024 Numunelerin Mikro Yapısı

Üretilen TiC/AA2024 kompozit numuneleri optik mikroskop altında incelendiğinde;

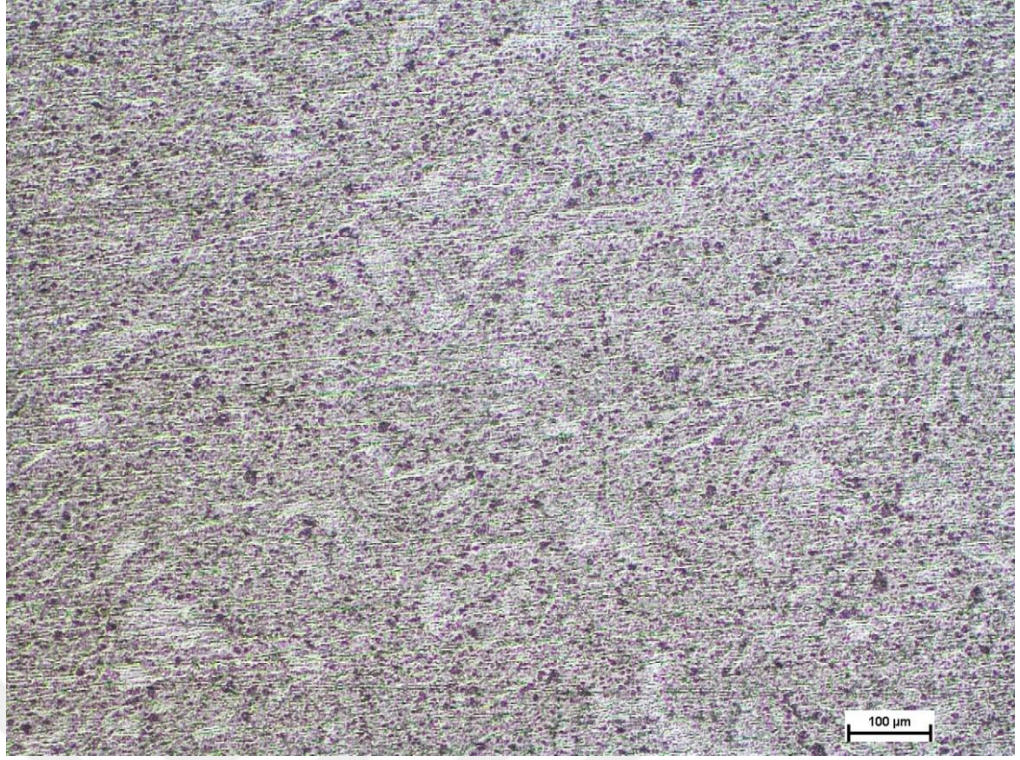
- 1 saat mekanik alaşımlama işlemi uygulanmış kompozit numunede TiC takviyesinin yeteri kadar dağılmadığı, genellikle tanecik sınırlarında biriktiği ve az miktarda AA2024 matrisine gömüldüğü görülmüştür.
- 2 saat sonunda pulcuksu yapılar kırılarak ve TiC takviyesi homojen olarak matris içerisine dağıldığı görülmektedir.
- 5 saat MA sonrasında deformasyon yoğunluğunun artmasıyla birlikte kırılarak tane boyutu küçülmüştür. TiC takviyesi homojen olarak dağılmıştır. Yapıda azalan paketlenme yoğunluğu ile birlikte poroziteler artmıştır (Şekil 4.22 b).
- 10 saat MA sonrasında takviye elemanının homojen bir şekilde dağıldığı ve porozitelerin 5 saate kıyasla azaldığı görülmektedir.

1 saat



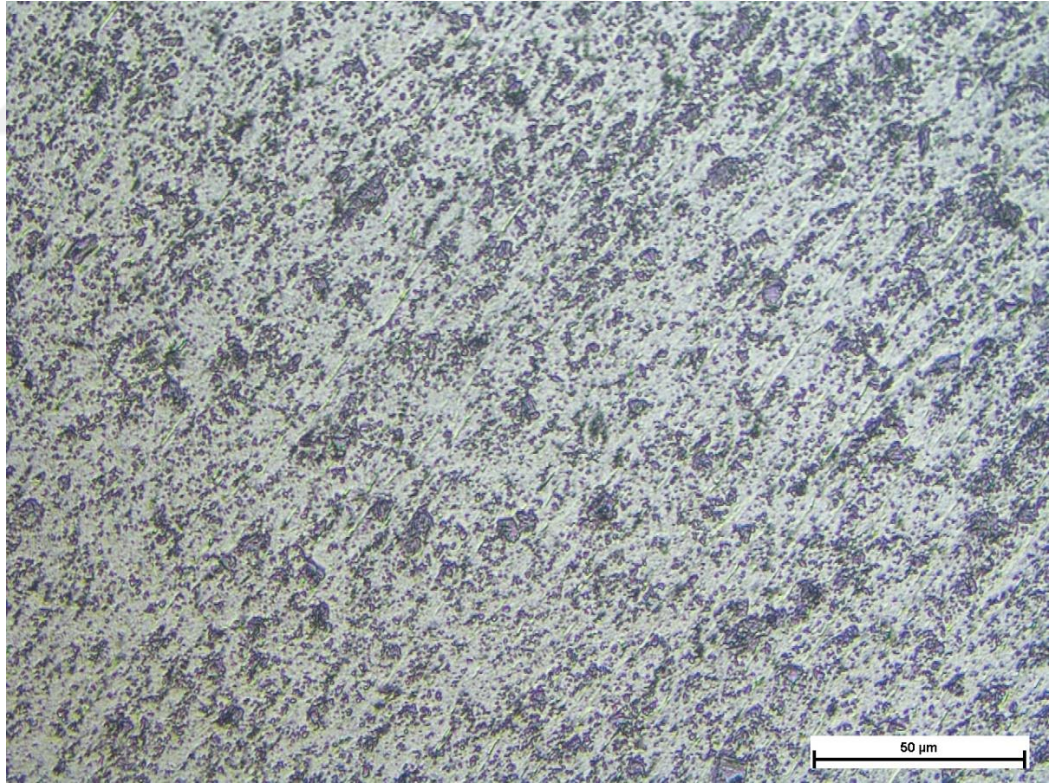
Şekil 4.21. TiC/AA2024 numunelerin mikro yapıları

2 saat



a)

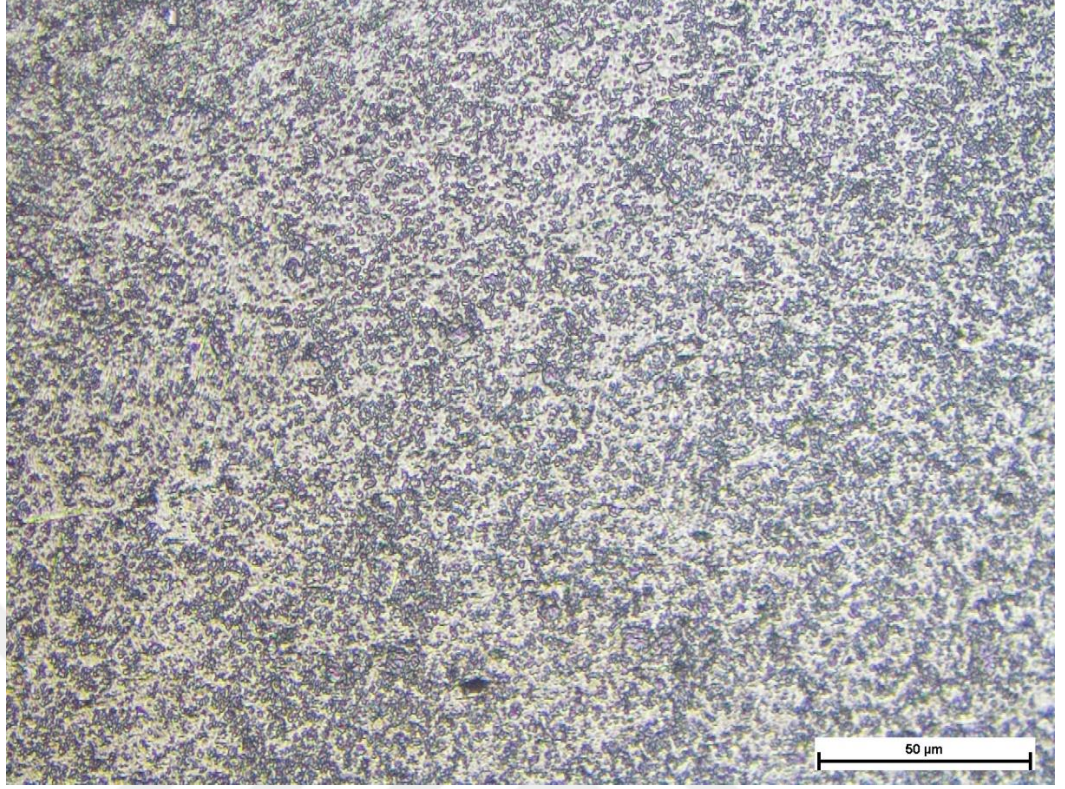
5 saat



b)

Şekil 4.22. TiC/AA2024 numunelerin mikro yapıları; a) 2 saat MA, b) 5 saat MA

10 saat



Şekil 4.23. TiC/AA2024 numunelerin mikro yapıları

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Yapılan bu tez çalışmasında takviyesiz AA2024 ve ağırlıkça %10 TiC takviyeli ve AA2024 matrisli kompozit tozlar 0, 1, 2, 5 ve 10 saatleri arasında mekanik alaşımlama yöntemi ile üretilmiştir. Üretilen tozlardan sıcak presleme yöntemi ile kompozit numuneler elde edilmiştir. Elde edilen tozlar ve numunelere uygulanan deneysel çalışmalardan aşağıdaki çıkarımlar yapılmıştır;

1. 0-10 Saat arası öğütme süresi arttıkça TiC takviye malzemesi, AA2024 matrisinin içerisine homojen olarak dağılmıştır ve TiC/AA2024 kompozitleri başarı ile üretilmiştir.
2. XRD analiz sonuçları incelendiğinde, mekanik alaşımlama işlemi neticesinde yeni bir faz oluşumu gözlemlenmemiştir.
3. Öğütme süresi arttıkça tozların kırılması artmış, 5 saatlik mekanik alaşımlama sonrası tozların ortalama boyutu düşmüştür. 10 saatlik mekanik alaşımlama sonrasında ise soğuk kaynaklanma ve topaklanmanın meydana gelmesiyle ortalama boyut tekrar artmıştır.
4. 0-10 Saat arası öğütme süresi arttıkça tozlarda deformasyon sertleşmesi artmış ve bununla birlikte sıcak presleme ile üretilen numunelerin sertlik değerleri artmıştır.
5. Sıcak presleme yöntemiyle üretim esnasında malzemeye basınç uygulanarak sinterleme yapılması sebebiyle kompozit numunede boşluklar minimuma indirilmiştir.
6. 2 saat mekanik alaşımlama işlemi sonrasında oluşan pulcuksu yapı ve kırılarak boşlukları dolduran küçük taneciklerin sebebiyle numunenin yoğunluğu 2.89 g/cm^3 olmuş ve çekme dayanımı artarak 265 MPa değerine ulaşmıştır. 5 saat MA sonrasında ise toz partikülleri küçük ve çok düzensiz bir hal almıştır. Plastik deformasyon miktarının artması, toz taneciklerinin sertleşmesi ve malzeme içinde boşlukların artmasıyla birlikte yoğunluk 2.75 g/cm^3 değerine azalmıştır. Bu sebeple çekme mukavemeti 55 MPa değerine düşmüştür. 10 saat MA sonrasında ise soğuk kaynaklanma artarak yapı küresel bir hale gelmiştir. Her ne kadar malzemedeki paketlenme yoğunluğu tekrar artsa da malzemenin daha da sertleşmesi sonucunda yoğunluk ve çekme dayanımı 5 saat öğütülmüş numuneye göre bir artış göstermiştir.

7. En yüksek çekme dayanımı 2 saat mekanik alaşımlamaya tabi tutulmuş numunede 265 MPa olarak ölçülmüştür.
8. Deneylerde MA alaşımlama sürelerindeki sertlik değerleri kıyaslandığında, en yüksek sertlik değeri 10 saat mekanik alaşımlamaya tabi tutulmuş numunede 230 BSD olarak ölçülmüştür.

5.2 Öneriler

Bulguların değerlendirilmesi neticesinde ortaya çıkan öneriler aşağıda belirtilmiştir;

1. Mekanik alaşımlama süresi 0 ve 3 saat aralığında daha sık zaman aralıklarında artırılarak denenebilir ve bu sürelerdeki davranışlar incelenebilir.
2. Nano boyutlu takviye kullanımı ile üretilen kompozit numunelerin mekanik özellikleri iyileştirilebilir.
3. Sıcak presleme işleminde matris malzemesinin ergime noktasına ulaşılmamalı, erimesine imkân verilmemelidir.
4. Çalışmada yapılan testlere ek olarak farklı testler (yorulma, sürünme vb.) yapılabilir.

6. KAYNAKLAR

- Azimi, A., Shokuhfar, A., Nejadseyfi, O., 2015, Mechanically alloyed Al7075–TiC nanocomposite: powder processing, consolidation and mechanical strength, *Materials & Design*, 66, 137-141.
- Bouzegzi, N., Miroud, D., Ahnia, F., Alcalá, G., Perez, F. J., Khenfer, K., Tata, M., Mato, S., 2018, Microstructural and electrochemical study of a brazed WC based metal matrix composite obtained by infiltration process, *Journal of Alloys and Compounds*, 759, 22-31.
- Cabeza, M., Merino, P., Rey, P. ve Román, M., 2012, Development of a high wear resistance aluminium matrix nanoreinforced composite, *Surface and Interface Analysis*, 44 (8), 1005-1008.
- Cunzhu N., Jiajun G., Junliang L., Di Z., 2008, Investigation on microstructures and interface character of B4C particles reinforced 2024Al matrix composites fabricated by mechanical alloying, *Journal of Alloys and Compounds*, 454 (1-2), 118-122.
- Chandrashekar, A., Ajaykumar, B. S. ve Reddappa, H. N., 2018, Mechanical, structural and corrosion behaviour of ALMG4.5/nano AL2O3 metal matrix composites, *Materials Today: Proceedings*, 5 (1), 2811-2817.
- German, R., 1994, Powder metallurgy science, second edition, Metal Powder Industries Federation.
- German, R.M., 2007, Toz metalurjisi ve parçacıklı malzeme işlemleri, Çeviri Editörleri: Sarıtaş, S., Türker, M., Durlu, N., *Türk Toz Metalurjisi Derneği*, Ankara, 61-130.
- Ghiotti, A., Simonetto, E. ve Bruschi, S., 2019, Influence of process parameters on tribological behaviour of AA7075 in hot stamping, *Wear*, 426-427, 348-356.
- Hull, D., Clyne, T. W., 2019, An introduction to composite materials, *Cambridge university press*.
- Keçeli, Z., 2007, Characterization investigations of powder and sintered AlSiC and Al-B4C composites developed via mechanical alloying, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 50-60.
- Martínez, C., Ordoñez, S., Guzmán, D., Serafini, D., Iturriza, I., Bustos, O., 2013, Phase evolution and thermal stability of 2 Mg–Cu alloys processed by mechanical alloying, *Journal of Alloys and Compounds*, 581, 241-245.
- Mousavi Anijdan, S. H., Sabzi, M., 2018, The effect of pouring temperature and surface angle of vortex casting on microstructural changes and mechanical properties of 7050Al-3 wt% SiC composite, *Materials Science and Engineering: A*, 737, 230-235.

- Muthusamy, S., Pandi, G., 2018, Investigation of mechanical and corrosion properties of AA2024-B₄C-TiC hybrid metal matrix composites, *Surface Review and Letters*, 25(05), 1850109.
- Nazik, C., 2013, Alüminyum matrisli B₄C parçacık takviyeli kompozitlerin toz metalurjisi yöntemiyle üretimi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 45-70.
- Nazik, C., 2013, Alüminyum matrisli B₄C parçacık takviyeli kompozitlerin toz metalurjisi yöntemiyle üretimi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 70-90.
- Newkirk, J.W., Kosher, R.A., 2004, Designing with powder metallurgy alloys, in *Handbook of Mechanical Alloy Design*. New York: Dekker.
- Pak, J.-H., Kim, G.-N., Hwang, S.-G., Kim, B.-S., Noh, J.-P. ve Huh, S.-C., 2016, Mechanical properties of Cu matrix composite fabricated by extrusion process, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 26 (10), 2679-2686.
- Selvam, D. R., Dinaharan, I., Philip, S. V. ve Mashinini, P. M., 2018, Microstructure and mechanical characterization of in situ synthesized AA6061/(TiB₂ +Al₂O₃) hybrid aluminum matrix composites, *Journal of Alloys and Compounds*, 740, 529-535.
- Suryanarayana, C., 2004, Mechanical alloying and milling. New York: Marcel Dekker.
- Şahin, Y., 2006, Kompozit malzemelere giriş, Ankara, 113-131.
- Tekoğlu, E., 2015, Mekanik alaşımlama yöntemleri ile üretilmiş Al₁₅Si₂, 5Cu_{0.5}Mg matrisli ve CeO₂, Y₂O₃, La₂O₃ pekleştiricili kompozitlerin geliştirilmesi ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 65-70.
- Torrallba, J.M., Costa, C.E. and Velasco, F., 2003, P/M aluminum matrix composites: an overview, *Journal of Materials Processing Technology*, 133: 203-206.
- Trinh, P. V., Luan, N. V., Phuong, D. D., Minh, P. N., Weibel, A., Mesguich, D. ve Laurent, C., 2018, Microstructure, microhardness and thermal expansion of CNT/Al composites prepared by flake powder metallurgy, *Composites Part Applied Science and Manufacturing*, 105, 126-137.
- Uluşen, T., 2008, Plastik esaslı kompozit malzemelerin kimyasal kaplama işlemlerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne, 19-20.
- Varma, G. S., Reddy, K. S., Reddy, S., Sai, K. V., & Kumar, S. M., 2018, The effect of TiC on microstructure and mechanical properties of AA2024 MMCS. In *IOP*

Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 376, No. 1, p. 012085). IOP Publishing.

- Yang, B., Gan, G., Yang, L., Sun, M., Zhang, H. ve Fang, Z. Z., 2011, Microstructural characterization and wear behavior of in situ TiC/7075 composites synthesized by displacement reactions and spray forming, *Materials Science and Engineering: A*, 528 (18), 5649-5655.
- Zhang, Q., Yang, Y., Ren, X. X., Yang, Z. L., Gao, P. Y., Zhao, C. C., Dong, Y. C. 2018, Microstructure and properties of composite coatings prepared by plasma spraying ZrO₂-B₂O₃-Al composite powders, *Journal of Alloys and Compounds*, 740, 124-131.
- Wu, C., Shi, R., Zhang, J., Luo, G., Shen, Q., Gan, Z., Liu, J. ve Zhang, L., 2019, Synthesis of functionally graded AA7075-B₄C composite with multi-level gradient structure, *Ceramics International*, 45 (6), 7761-7766.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Abdullah YILMAZ
Uyruğu : Türkiye
Doğum Yeri ve Tarihi : Meram 01.07.1991
e-mail : abdullahyilmaz996@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Dolapoğlu Anadolu Lisesi, Selçuklu, Konya	2009
Üniversite	: Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Talas, Kayseri	2015
Yüksek Lisans	: Necmettin Erbakan Üniversitesi, Meram, Konya	2021

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2018-2018	Mepsan Petrol Cihazları A.Ş.	Ar-Ge Mühendisi
2018-Devam Ediyor	Hürsan Hidrolik Pres ve Takım Tezgahları A.Ş.	Proje Koordinatörü

YABANCI DİLLER

İngilizce	Yökdil: 80
Almanca	Testdaf: TDN 3

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR