



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



TiC/AA7075 KOMPOZİTLERİN TOZ
METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ VE
KARAKTERİZASYONU

Emre Can ARSLAN

YÜKSEK LİSANS

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim
Dalı

Ağustos-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Emre Can ARSLAN tarafından hazırlanan “**TiC/AA7075 KOMPOZİTLERİN TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**” adlı tez çalışması 21/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç. Dr. Volkan KALEM

Danışman

Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet YILDIRIM

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması BAP tarafından 18201095 nolu proje ile desteklenmiştir.

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.



Emre Can ARSLAN

Tarih: 21/08/2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

TiC/AA7075 KOMPOZİTLERİN TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

Emre Can ARSLAN

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU

2019, 72 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU

Doç. Dr. Volkan KALEM

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet YILDIRIM

Bu çalışmada, ortalama toz boyutu 46.3 µm olan AA7075 matris tozu ve ortalama toz boyutu 5.2 µm olan TiC takviye tozu kullanılmıştır. Mekanik alaşımlama işlemi uygulanarak AA7075 metal matrisi içerisine, %5, %10 ve %20 olmak üzere üç farklı oranda TiC takviye edilerek kompozit tozları hazırlanmıştır. Bu kompozit tozları farklı mekanik alaşımlama sürelerinde (en fazla 20 saat), gezegen tipi mekanik alaşımlama cihazında öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Elde edilen tozlar, sıcak presleme yöntemi ile 350 MPa basınç altında 435 °C sıcaklıkta 30 dakika sinterlenerek kompozit malzeme haline getirilmiştir. Mekanik alaşımlama ile toz üretilmesi ve kompozit malzeme üretimi aşamalarından sonra elde edilen numunelerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışınları kırınımı (XRD), çekme, sertlik ve yoğunluk deneyleri ile belirlenmiştir. 2 saatlik mekanik alaşımlama süresi sonrasında, tüm grupların SEM incelemelerine bakıldığında TiC takviyesinin AA7075 matris içerisine homojen olarak dağıldığı ve ortalama toz boyutunun pulsu yapı oluşumundan dolayı arttığı daha sonra artan öğütme sürelerinde ise pulsu yapının kırılması ile ortalama toz boyutunun düşmeye başladığı gözlemlenmiştir. Kompozit malzemeler üzerinde yapılan deneyler sonucuna ise çekme mukavemetinin 2 saate kadar arttığı, sonrasında ise azaldığı belirlenmiştir. En yüksek çekme mukavemeti 2 saat mekanik alaşımlanmış %20 TiC takviyeli kompozitte, en yüksek sertlik değeri ise artan TiC takviyesi ve deformasyon sertleşmesi sonucu %20 TiC takviyeli 20 saat mekanik alaşımlama işlemi uygulanmış kompozit malzemede elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: AA7075, Alüminyum, Mekanik Alaşımlama, Metal Matrisli Kompozitler, Pulsu Morfoloji, Sıcak Presleme, TiC, Toz Metalurjisi,

ABSTRACT

MS THESIS

CHARACTERIZATION OF TiC/AA7075 COMPOSITES PRODUCED BY POWDER METALLURGY

Emre Can ARSLAN

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Metallurgical and Materials Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Necmettin TARAÇIOĞLU

2019, 72 Pages

Jury

**Prof. Dr. Necmettin TARAÇIOĞLU
Assoc. Prof. Dr. Volkan KALEM
Asst. Prof. Dr. Mehmet YILDIRIM**

In this study, AA7075 metal powder with an average particle size of 46.3 μm and TiC reinforcement particles with an average particle size of 5.2 μm were used. Composite powders were prepared adding three different ratios (%5, %10 and %20) TiC reinforcement particles into metal matrix of AA7075 by mechanical alloying process. These composite powders were treated in a planetary type mechanical alloying device at varying times (up to 20 hour). Afterwards, the obtained powders were sintered to produce composite materials at 435 ° C under a pressure of 350 MPa for 30 minutes by hot pressing method. The physical, chemical and mechanical properties of powders produced by mechanical alloying and composite samples were determined with scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD), tensile, hardness and density tests. After 2 hours of mechanical alloying, SEM analysis of all groups showed that TiC reinforcement was homogeneously dispersed in AA7075 matrix, average powder size increased due to flake structure formation, and after increasing grinding times, average powder size began to decrease with breaking of flake structure. Experimental results revealed that the tensile strength of composites was increased up to 2 hours and then decreased. Also, the highest tensile strength was obtained for the sample with %20 TiC reinforcement which was mechanically alloyed for 2h. The highest hardness value was obtained by increasing TiC reinforcement and deformation hardening.

Keywords: AA7075, Aluminum, Flake Morphology, Hot Press, Mechanical Alloying, Metal Matrix Composites, Powder Metallurgy, TiC

TEŐEKKÖR

Yüksek lisans çalışmasının her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, değerli hocalarım Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU ve Arş. Gör Cihad NAZİK 'e teşekkür ederim.

Bu çalışmanın maddi giderlerini karşılayan Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) birimine teşekkür ederim

Ayrıca maddi ve manevi olarak bana her konuda destek olan anne ve babam; Özgöl ARSLAN ve Adem ARSLAN 'a teşekkür ederim.

Emre Can ARSLAN
KONYA-2019



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
2.1. Kompozit Malzemeler ve Genel Özellikleri	2
2.1.1. Metal matrisli kompozitler.....	3
2.1.2. Metal matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri.....	5
2.2. Toz Metalurjisi.....	6
2.2.1. Metal toz üretim yöntemleri	7
2.3. Mekanik Alaşım Yöntemi ile Metal Tozu Üretimi	8
2.3.1. Mekanik alaşım mekanizmaları	10
2.3.2. Mekanik alaşım sistemleri	14
2.3.3. Mekanik alaşım işleminde kullanılan üretim ekipmanları	15
2.3.4. Mekanik alaşım parametreleri.....	18
2.4. Sıcak Presleme Yöntemi	21
2.5. Literatürde Yapılan Çalışmalar.....	23
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	26
3.1. Çalışmada Kullanılan Malzemeler.....	28
3.2. Mekanik Alaşım İşlemi	30
3.3. Toz Morfolojisi	30
3.4. Toz Boyut Ölçümü.....	31
3.5. X-Işınları Kırınımı (XRD).....	31
3.6. Sertlik Deneyi	32
3.7. Sıcak Presleme	33
3.8. Metalografik Çalışmalar	33
3.9. Yoğunluk Ölçüm Deneyi	34
3.10. Çekme Deneyi.....	35
3.11. Optik Mikroskop İncelemeleri.....	36
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	37
4.1. Toz Karakterizasyonu	37
4.1.1. Başlangıç toz morfolojileri	37
4.1.2. Takviyesiz AA7075 tozlarının morfolojik analizi	37
4.1.3. %5-10-20 TiC takviyeli tozların morfolojik analizi	39

4.1.4. Ortalama toz boyutu.....	44
4.1.5. XRD analizi	45
4.2. Üretilen Malzemelerin Karakterizasyonu	54
4.2.1. Takviyesiz AA7075'in mikroyapısında meydana gelen değişimler.....	54
4.2.2. %5 TiC takviyeli kompozit mikroyapısında meydana gelen değişimler	56
4.2.3. %10 TiC takviyeli kompozit mikroyapısında meydana gelen değişimler	58
4.2.4. %20 TiC takviyeli kompozit mikroyapısında meydana gelen değişimler	60
4.3. Üretilen Kompozit Numunelerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	62
4.3.1. Takviyesiz AA7075 ve AA7075-TiC kompozitlerin yoğunluk değerleri	62
4.3.2. Takviyesiz AA7075 ve AA7075-TiC kompozitlerin çekme mukavemeti değerleri	64
4.3.3. Takviyesiz AA7075 ve AA7075-TiC kompozitlerin sertlik değerleri	65
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	67
5.1. Sonuçlar	67
5.2. Öneriler	68
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	72

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 disülfit
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	: Santigrat
µm	: Mikrometre

Kısaltmalar

AA7075	: 7075 alüminyum alaşımı
BSD	: Brinell sertlik değeri
BTO	: Bilye toz ağırlık oranı
d ₅₀	: Ortalama parçacık boyutu
GPa	: Gigapaskal
HV	: Vickers 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

Her geçen gün, endüstrideki değişen ihtiyaçlara bağlı olarak yeni malzemelerin üretilmesine ve kullanılmasına gerek duyulmaktadır. Bu ihtiyaç doğrultusunda üretilen kompozit malzemeler, doğal ve alaşım halindeki malzemelere oranla daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğundan, bilim insanları yeni kompozit malzemeler üretmek adına birçok araştırma yapmaktadırlar (Yıldırım, 2016).

Metal matrisli kompozitler (MMK), matris malzemesi olarak metalin, takviye malzemesi olarak ise genelde seramiklerin kullanıldığı, hafiflik, mükemmel mekanik, kimyasal, termal ve elektriksel özelliklerin yanı sıra düşük üretim maliyetine sahip olan ileri teknolojik malzemelerdir. Başta otomotiv, uzay ve havacılık, savunma sanayi olmak üzere metal matrisli kompozitlerin kullanım alanı her geçen gün artmaktadır (Yıldırım, 2016).

Metal matrisli kompozitlerde matris malzemesi olarak genelde Al, Cu, Mg ve Ti alaşımları tercih edilmektedir. Bu alaşımlar arasında Al alaşımları düşük yoğunluk, yüksek dayanım, kolay ergitme, kolay şekillendirilebilme, yüksek korozyon direnci, yüksek termal ve elektriksel iletkenlik özelliklerine sahip olmasından dolayı daha çok tercih edilmektedir. Alüminyum matrisli kompozitlerde takviye malzemesi olarak da TiC, B₄C, SiC, Al₂O₃, MgO ve TiB₂ gibi karbürler ve oksitler sıkça kullanılmaktadır (Huang ve ark., 2017; Fu ve ark., 2018; Akbarpour ve ark., 2019).

AA7075-TiC kompozitler düşük yoğunluğa ve yüksek mukavemete sahip oldukları için havacılık ve savunma sanayilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. AA7075 alaşımı ile TiC takviyesi arasında ki yüksek ıslanabilirlik özelliği sayesinde mekanik alaşımlama işlemi ile üretilmeleri oldukça basittir (Azimi ve ark., 2015a).

Bu çalışma iki farklı aşamadan oluşmakta olup ilk aşamada AA7075 matrisli TiC (%5-10-20) takviyeli kompozit tozları pulsu yapılı morfoloji elde etmek adına farklı öğütme sürelerinde üretilip, toz morfolojileri ve toz boyutları incelenmiştir. İkinci aşamada ise üretilen AA7075-TiC kompozit tozları, sıcak pres sinterleme yöntemi ile üretildikten sonra mikro yapıları, yoğunluk, çekme ve sertlik değerleri çeşitli testler ile belirlenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

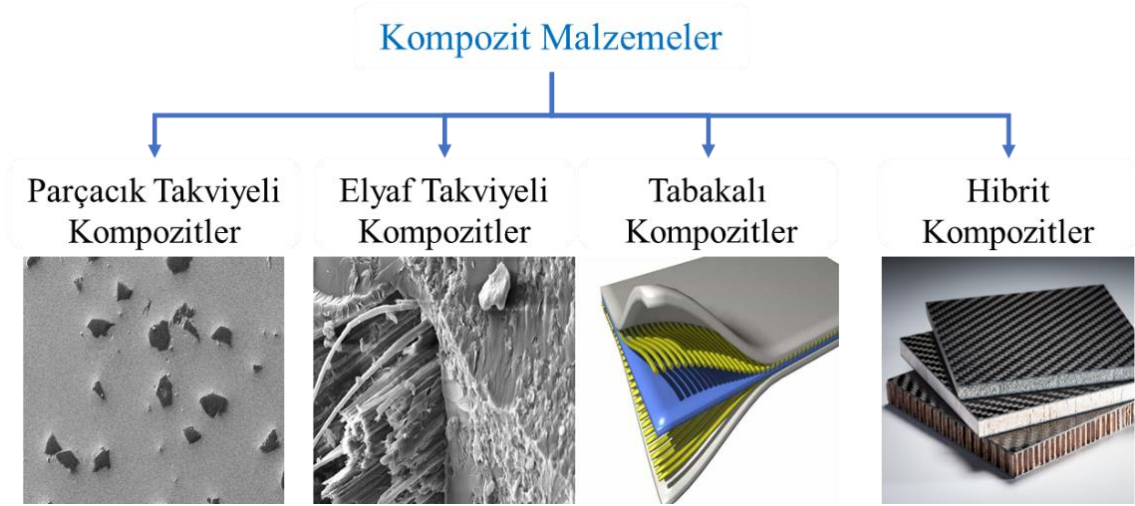
2.1. Kompozit Malzemeler ve Genel Özellikleri

Kompozit malzemeler, birbirinden farklı özelliklere sahip iki ya da daha fazla metal, seramik veya polimer malzemenin makro veya mikro düzeyde birleşimiyle elde edilen, kendisini meydana getiren bileşenlerden daha üstün özellikler sergileyen malzemelerdir. Geleneksel malzemeler ile karşılaştırıldığında hafiflik, yüksek mukavemet, elektrik ve sıcaklık iletimi, kolay şekillendirilebilme, korozyon ve kimyasal direnç, titreşim sönümlenme ve düşük maliyet gibi sebeplerden dolayı kompozit malzemeler günümüzde sıkça tercih edilmektedir (Chung, 2010; Callister ve Rethwisch, 2011; Erek, 2016).

Kompozit malzemeler, Şekil 2.1’de gösterildiği gibi metal, seramik ve polimer takviyeli kompozitler olarak sınıflandırılmasının yanı sıra Şekil 2.2’deki gibi daha çok tercih edilen, matris malzemesine mukavemet kazandıran takviye malzemesine göre de sınıflandırılabilir (Erek, 2016).



Şekil 2.1. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması ve çeşitli özellikleri



Şekil 2.2. Takviye malzemesine göre kompozitlerin sınıflandırılması

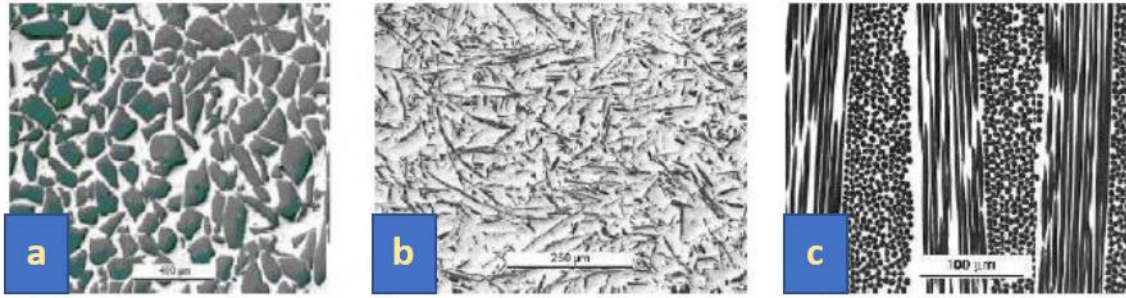
2.1.1. Metal matrisli kompozitler

Metal matrisli kompozitler, ana matris malzemesi olarak Fe, Al, Ti, Ni ve Mg gibi metal veya metal alaşımlarının, takviye elemanı olarak seramik veya polimer esaslı malzemelerin kullanıldığı bir kompozit türüdür. Bu kompozitler döküm, sıcak-soğuk haddeleme, ekstrüzyon, derin çekme, toz metalurjisi gibi yöntemlerle üretilebilirler. Matris malzemesi olarak kullanılan malzemenin görevi, uygulanan yükün takviye malzemesine aktarımını sağlamaktır (da Silva ve ark., 2019; Gorbatyuk ve ark., 2019; Li ve ark., 2019).

Metal matrisli kompozitler, metallere ve alaşımlara kıyasla bazı avantajlara sahiptir. Bunlar;

- Yüksek aşınma ve sürünme direnci,
- Yüksek spesifik mukavemet (mukavemet/ağırlık),
- Yüksek eğme, çekme ve basma direnci,
- İyi korozyon direnci,
- Yüksek ısı ve elektrik iletkenliği,
- Metallerin süneklik ve tokluk, seramiklerin basma dayanımı ve aşınma direncini birleştirme (Şenel, 2018).

Kompozit malzemelerin özellikleri, kullanılan takviyenin şekline göre değişmektedir. Takviye malzemesine göre MMK'lar parçacık takviyeli, kısa fiber takviyeli ve sürekli fiber takviyeli olmak üzere 3 gruba ayrılır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Takviye malzemesinin şekline göre a) Parçacık takviyeli b) Kısa fiber takviyeli c) Sürekli fiber takviyeli metal matrisli kompozitler (Nazik, 2013)

Günümüzde alüminyum matrisli kompozitler, yüksek aşınma direnci, yüksek spesifik mukavemet, yüksek sertlik, düşük termal genleşme katsayısı ve hafiflik gibi özelliklere sahip olmalarından dolayı birçok araştırmada yer almaktadır. Alüminyum matrisli kompozitlerin toz metalurjisi, karıştırma döküm, mekanik alaşımlama ve basınçlı döküm gibi birçok yöntemle üretilebilmesi de bu araştırmaların artmasında yardımcı rol oynamıştır (Chandrashekar ve ark., 2018; Selvam ve ark., 2018).

Çizelge 2.1. MMK’larda kullanılan bazı takviye malzemelerinin özellikleri (Yıldırım, 2016)

Takviye Malzemesi	Yoğunluk (g/cm ³)	Elastiklik Modülü (GPa)	Sertlik (Gorbatyuk ve ark.)	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

Alüminyum esaslı matrislerden olan AA7075 bir Al-Zn-Mg-Cu alaşımıdır. AA7075 alaşımı yüksek mukavemet, düşük yoğunluk, yüksek şekillendirilebilme kabiliyeti, yüksek korozyon direnci sebebiyle otomobil, gemi ve uçak parçalarında, silahlarda (savunma sanayi), spor malzemelerinin yapımında sıkça kullanılmaktadır. Bu özelliklerine rağmen kullanım alanlarına göre yeterli mukavemet ve sertliğe sahip değildir. Bu yüzden AA7075 alaşımları, mukavemet ve sertliği arttırmak için bazıları

Çizelge 2.1’de gösterilen karbürler, oksitler veya nitrürlerden oluşan takviyeler ile güçlendirilebilir (Ghiotti ve ark., 2019; Wu ve ark., 2019).

Yaygın olarak kullanılan karbür takviyeleri kıyaslandığında, takviye malzemesi olarak nispeten yüksek sertlik, yüksek ergime sıcaklığı, yüksek elastik modül ve düşük yoğunluğa sahip olan titanyum karbür (TiC) sıkça MMK’lar da kullanılmaktadır (Yang ve ark., 2011; Azimi ve ark., 2015a; Azimi ve ark., 2015b; Prabha ve Dhas, 2017).

2.1.2. Metal matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri

2.1.2.1. Katı faz üretim yöntemleri

Katı faz ana üretim yöntemleri;

- Toz metalurjisi (TM),
- Haddeleme,
- Difüzyonla bağlamadır.

Bu yöntemlerde, kompozit malzeme üretmek için ergime sıcaklığı, matris malzemesinin ergime sıcaklığından daha düşük sıcaklığı seçilir.

Toz metalurjisi yöntemi, kompozit malzemelerin üretiminde yaygın olarak kullanılan bir metottür. Matris ve takviye malzemesi olarak kullanılan tozlar, mekanik alaşımlama cihazında karıştırılır. Karıştırılan tozlar, kalıp içerisine koyulup şekillendirilebilir ve aynı esnada sinterlenebilir (Erek, 2016).

2.1.2.2. Sıvı faz üretim yöntemleri

Genellikle kullanılan sıvı faz üretim yöntemleri;

- Sıvı Metal Karıştırma,
- Sıkıştırma Döküm,
- Yarı katı döküm,
- Basınçlı döküm,
- İnfiltrasyon
- Yarı-katı kaplamadır.

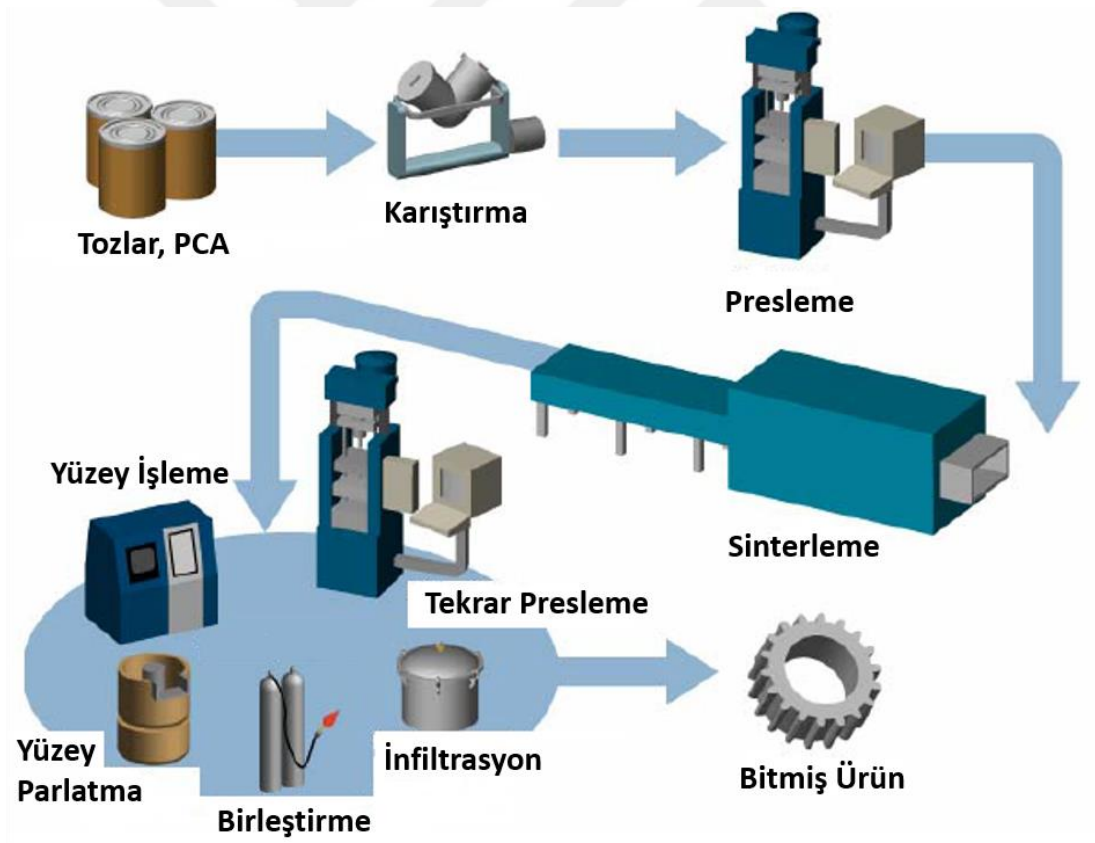
Bu yöntemlerde matris malzemesi ergitildikten sonra takviye malzemesi katılarak aralarında bir bağ oluşturulur (Erek, 2016).

2.1.2.3. Diğer yöntemler

- Rheocasting ve Compcasting Döküm Yöntemleri
- In-Situ Tekniği
- Vidalı Ekstrüzyon (Erek, 2016).

2.2. Toz Metalurjisi

Toz metalurjisinde asıl amaç, toz şeklindeki matris alaşım ile takviye tozlarının homojen bir şekilde karıştırıldıktan sonra şekil verme ve basınç desteğiyle sinterleme adımları ile tozlar arasında gerçekleşen difüzyon sayesinde bağ oluşumunu sağlayarak mukavemetli malzemeler elde etmektir. Şekil 2.4'te toz metalurjisi iş akış şeması görülmektedir (Tekoğlu, 2015).



Şekil 2.4. Toz metalurjisi iş akış şeması (Tekoğlu, 2015)

2.2.1. Metal toz üretim yöntemleri

Boyut olarak nano-mikro, şekil olarak ise küresel, karmaşık gibi üretilecek ürünün özelliklerini etkileyen farklı özelliklerdeki metalik tozlar, istenilen niteliklere göre çeşitli yöntemler ile üretilebilmektedir. Bu üretim yöntemleri arasında dört üretim yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar;

- ✓ Kimyasal yöntemler,
- ✓ Elektrokimyasal yöntemler,
- ✓ Atomizasyon yöntemi,
- ✓ Mekanik alaşımlama yöntemidir (Şimşek, 2017).

2.2.1.1. Kimyasal yöntemler

Kimyasal indirgeme yöntemi, oksitli demir, bakır, kobalt, molibden, nikel gibi metal oksitlerin öğütülerek, karbon monoksit ve hidrojen gibi indirgeyici gaz ortamında, uygun sıcaklıklarda saf metallere kimyasal olarak indirgenmesi yöntemidir (Şimşek, 2017).

2.2.1.2. Elektrokimyasal yöntemler

Elektroliz yönteminde, oksitli metal tozları, sülfürik asit ve bakır sülfat içerikli elektrolitik bir banyo içerisinde çöktürülerek veya katot da toplanarak, yüksek saflıkta metal tozları elde edilebilir (Nazik, 2013).

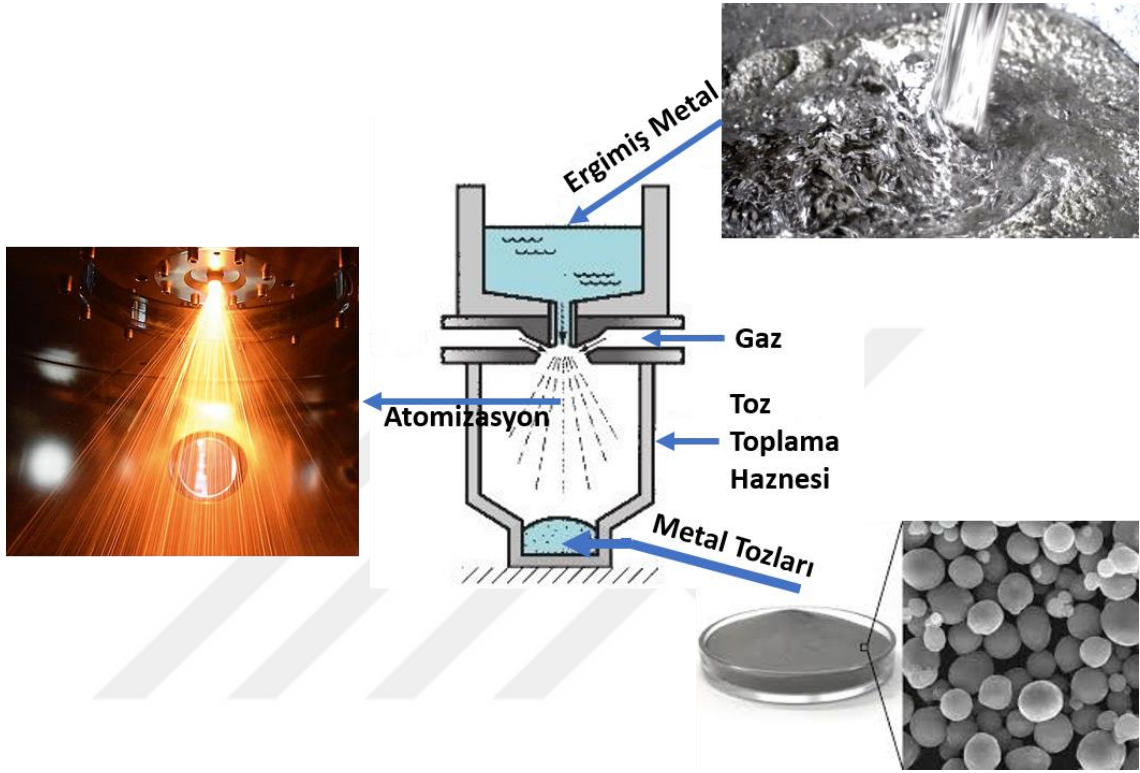
2.2.1.3. Atomizasyon yöntemi

Ergiyik durumdaki metalin, ince şerit halinde damlatılması ve bu esnada bir su veya gaz jetiyle soğutulması esasına dayanan, çok küçük parçalara ayrılması işlemine atomizasyon adı verilir. Atomizasyon atmosferi olarak gaz atomizasyonu işleminde argon, azot veya hava en çok kullanılan gazlar iken, su atomizasyonunda ise su veya gazyağı-parafin karışımı en çok kullanılan sıvılardır (Somunkıran ve Çelik, 2007).

Atomizasyon işlemi sonucu elde edilecek tozun özelliklerini etkileyen çeşitli parametreler vardır. Bunlar;

- Ergimiş metalin viskozitesi,

- Nozul ağız genişliği,
- Nozul açısı,
- Gazın debisi,
- Gazın türüdür.



Şekil 2.5. Gaz atomizasyon ünitesi

2.2.1.4. Mekanik alaşımlama yöntemi

Bu yüksek lisans çalışmasında, TiC takviyeli AA7075 kompozit tozlarını elde etmede mekanik alaşımlama yöntemi kullanılmıştır. Bu sebeple mekanik alaşımlama yöntemi ayrı bir başlıkta açıklanmıştır.

2.3. Mekanik Alaşımlama Yöntemi ile Metal Tozu Üretimi

Mekanik alaşımlama (MA) işlemi, sistemde oluşan yüksek enerji sayesinde başlangıç tozlarının ortalama tane boyutu daha küçük olan tozlara ve daha küçük kristal yapıya sahip, homojen iç yapıya sahip tozların üretilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Mekanik alaşımlama işlemi, birbirini alaşımlayan, homojen iç yapıya sahip karışımlar

elde edilebilir. Bu yöntemde matris ve takviye tozları, WC, zirkonya, safir, agat, sertleştirilmiş çelik malzemeler vb. malzemelerden yapılmış bilyeler ile İKK eklenerek bilyeler ile aynı tür malzemedan yapılmış kaba konulur. İlk aşamada tozlar oluşan yüksek enerji sayesinde ufalanır ve ortalama toz boyutu başlangıçtakine göre daha düşük olan toz oluşur. İkinci aşamada tozlar soğuk kaynak ile birleşir ve son aşamada ise birleşen tozlar tekrar kırılır. Bu aşamalar sürekli devam eder ve bu sayede homojen ve ince bir iç yapıya sahip, dislokasyon yoğunluğu artmış tozlar elde edilir (Tekoğlu, 2015).

Bu yöntem ile takviye edilen tozlar daha homojen dağıtıldığı ve aglomerasyon oranı daha az olduğu için metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminde tercih edilmektedir. Ayrıca artan deformasyon miktarı ile mukavemet artacağından dolayı, üretilen nihai ürün içerisindeki hataların elimine edilmesini sağlar (Nazik, 2013).

Şekil 2.6'da mekanik alaşımlama işleminde kullanılan başlangıç malzemeleri, öğütücü hazne ve öğütme süresine bağlı olarak mikroyapıda meydana gelen değişimler gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Mekanik alaşımlama işleminde kullanılan başlangıç malzemeleri, öğütücü hazne ve öğütme süresine bağlı olarak mikroyapının değişimi

Mekanik alaşımlama işleminin avantajları:

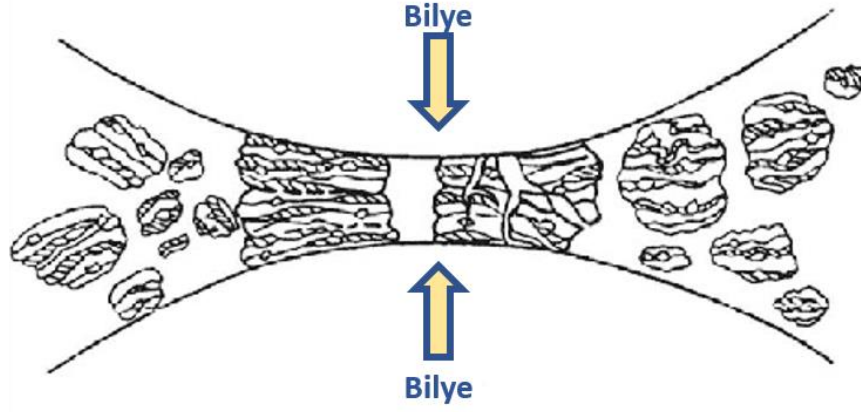
- Elde edilen içyapı homojendir. Aglomerasyon olma ihtimali azdır,
- apak alma, talaş kaldırma gibi ikincil işlemlere gerek kalmaz,
- Ergitme işlemi olmaksızın, alaşım veya kompozitler bu yöntem ile kolayca üretilir,
- Mekanik alaşımlama işleminin aşamalarının kontrolüyle farklı nitelikteki malzemeler üretilir (Nazik, 2013).

Mekanik alaşımlama işleminin sınırlamaları:

- İşlem parametrelerinin çok fazla ve kontrolünün zor olması,
- Artan gtme süresi ve dislokasyon yoğunluğu ile elde edilebilecek yoğunluğun düşmesi,
- Kalıp içerisine dökülen tozların akışının sınırlı olması,
- Kullanılan kalıp ve bilye malzemesinin farklı olması durumunda kirlenmeye sebep olması (Nazik, 2013).

2.3.1. Mekanik alaşımlama mekanizmaları

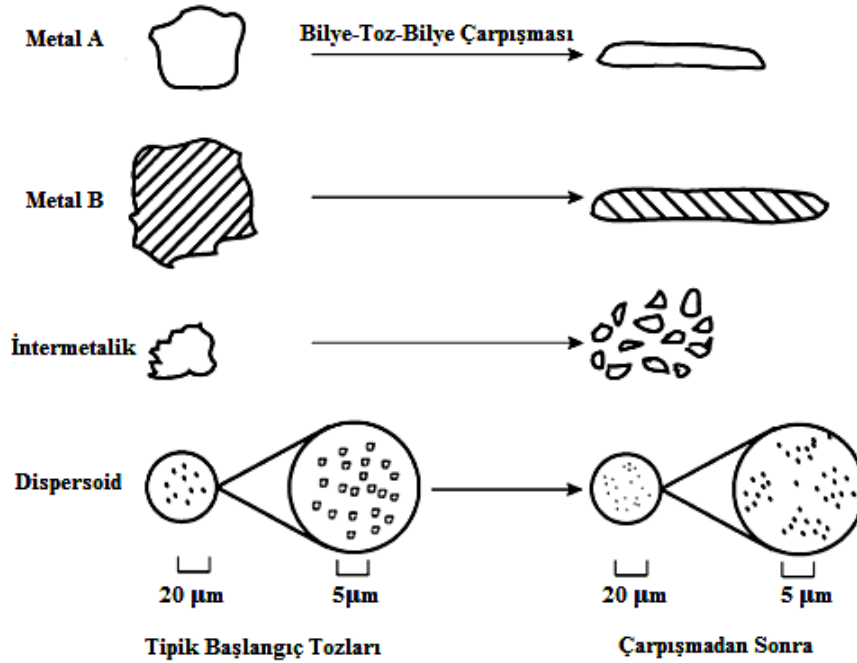
Mekanik alaşımlama sırasında, yüksek enerjili gtmenin etkisiyle, toz partikülleri birbirlerine soğuk kaynak olur, kırılırlar ve tekrar soğuk kaynak olurlar. Bu işlem sırasında deformasyon sertleşmesi gerçekleşir ve ortalama toz boyutu daha düşük partiküller elde edilir. Artan dislokasyon yoğunluğu ile de tozlar gevrek ve kırılğan bir hal alırlar (Tekoğlu, 2015).



Mekanik Alaşım Süresine Bağlı Olarak Morfolojinin Değişimi



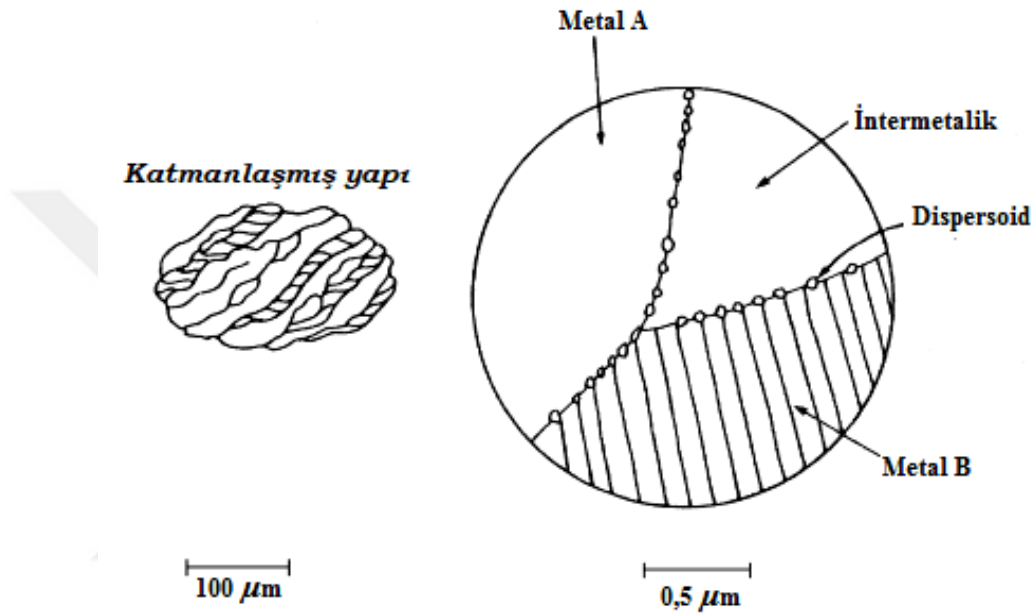
Şekil 2.7. Mekanik alaşım işlemi sırasında bilye-toz-bilye çarpışması ve öğütme süresine bağlı morfolojik değişim



Şekil 2.8. Mekanik alaşım işlemi sırasında toz morfolojilerinin değişimi (Goff, 2003)

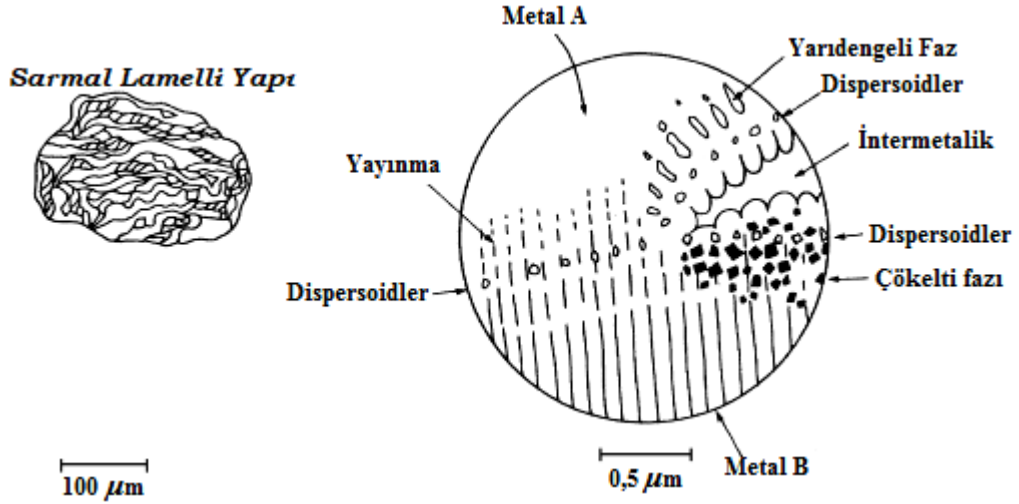
Mekanik alaşımlama işlemi 3 safhadan oluşmaktadır;

- İlk safhada bilye-bilye ve bilye-hazne iç duvarı arasında kalan sünek tozlar, yassılaşılmaya başlar. Ayrıca meydana gelen soğuk kaynağın etkisi ile katmanlaşmış yapı adı verilen, pulsu tozlar meydana gelir (Şekil 2.9). Bu safhada, soğuk kaynağın etkisiyle ortalama toz boyutunda artış gözlemlenir (Suryanarayana, 2001).



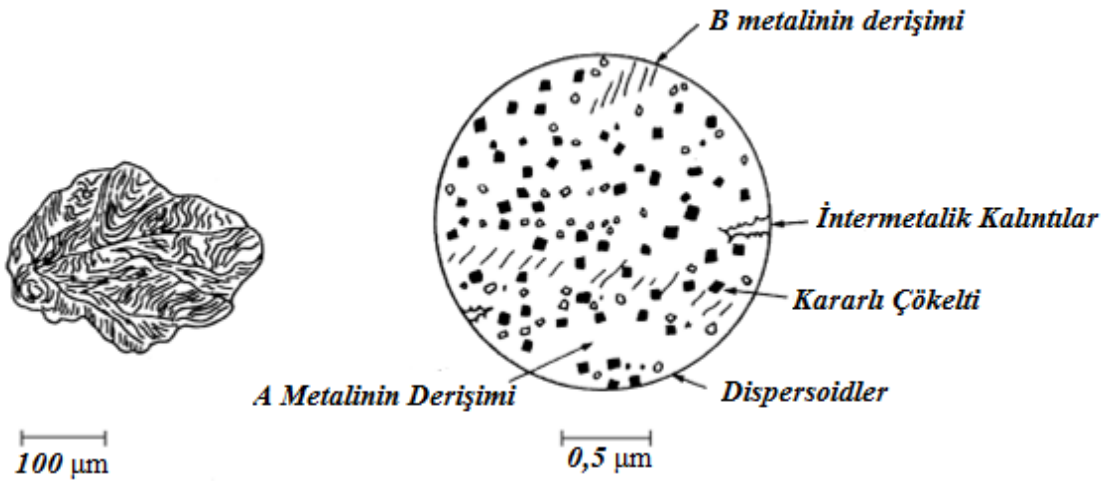
Şekil 2.9. İlk safha; katmanlaşmış yapı (Goff, 2003)

- Orta safhada, devam eden öğütme ile tozlar arasında meydana gelen soğuk kaynak ve kırılma olayları sürekli olarak devam eder (Şekil 2.10). Açığa çıkan sıcaklık sayesinde difüzyon kolaylaşır ve daha homojen bir iç yapı elde edilir. Fakat artan dislokasyon yoğunluğu tozların gevrekleşmesine sebep olur, bu yüzden soğuk kaynaklanmış tozlar arasında boşluklar, hatalar ve tane sınırlarının sayısı artmaya başlar. Meydana gelen olumlu ve olumsuz olaylar sonucunda alaşım oluşturulur (Suryanarayana, 2001).



Şekil 2.10. Orta safha; katmanlı yapının lamelli yapıya dönüşümü (Goff, 2003)

- Sürecin son safhasında ise toz boyutunu arttıran soğuk kaynaklar ile toz boyutunu düşüren kırılma mekanizmaları arasında bir denge durumu meydana gelir. Bu durum kararlı hal (steady state) olarak adlandırılmaktadır ve kararlı hal sonucunda büyük ve küçük tozlar boyutsal olarak homojen bir yapı meydana getirirler. Şekil 2.11'da mekanik alaşımlama işleminin son safhasında meydana gelen yapı gösterilmektedir (Suryanarayana, 2001).

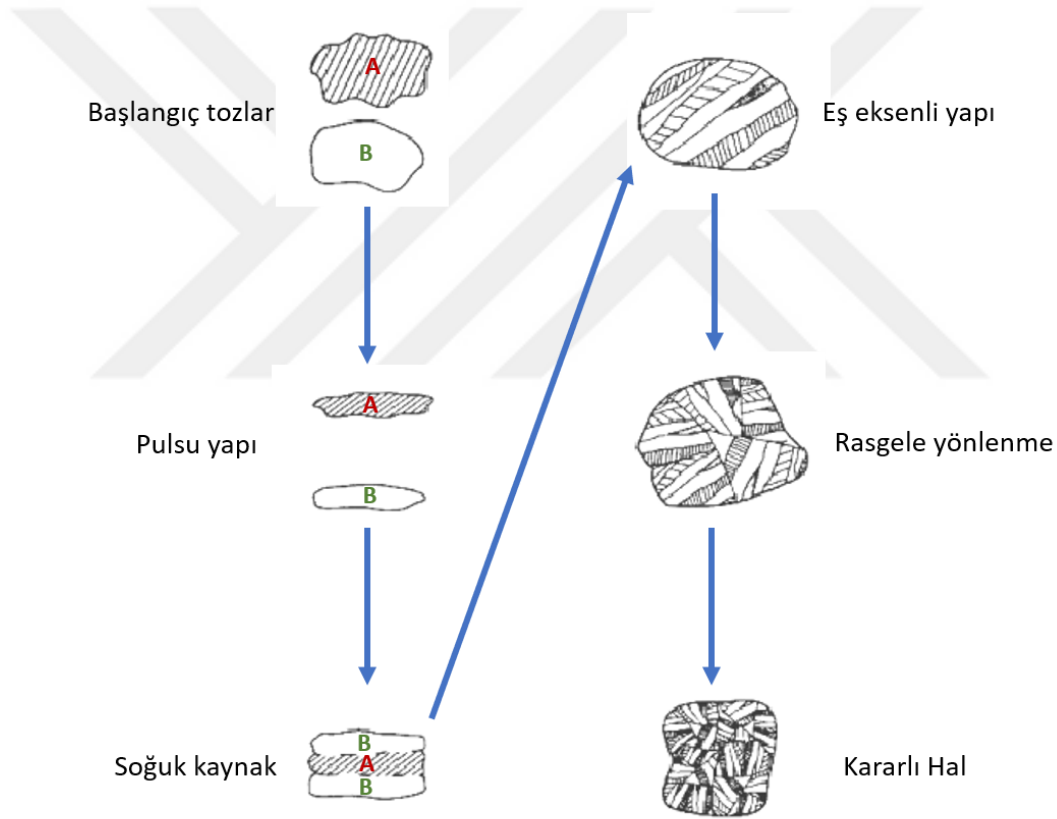


Şekil 2.11. Son safha; kararlı yapı (Goff, 2003)

2.3.2. Mekanik alaşımlama sistemleri

Mekanik alaşımlamada;

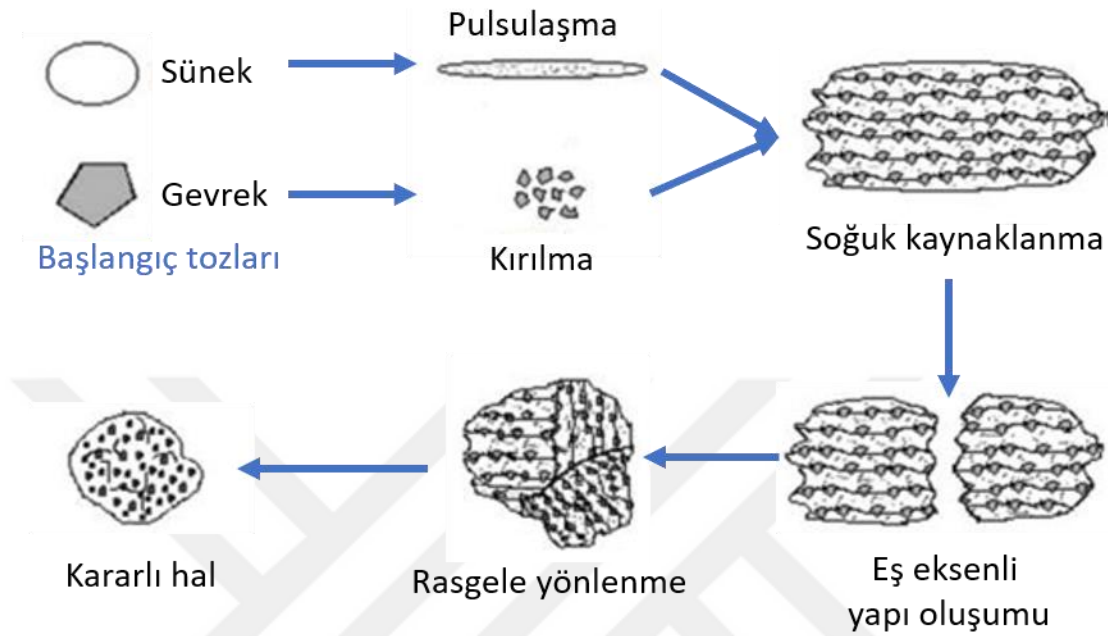
- Sünek-Sünek
- Sünek-Gevrek
- Gevrek-Gevrek olmak üzere üç tür sistem bulunmaktadır.
- Sünek-Sünek sistemde, ikisinin de bileşimi farklı olan ve ikisi de sünek olan tozlar kullanılır. Mekanik alaşımlama işlemi sırasında, mekanik alaşımlama mekanizmaları bölümünde anlatılan olaylar meydana gelir. Alaşımlama sırasında meydana gelen değişimler şekil 2.12’de gösterilmiştir (Güler, 2006; Varol, 2012).



Şekil 2.12. Mekanik alaşımlama işlemi sırasında sünek-sünek sistemde meydana gelen değişimler (Adamiac, 2008)

- Sünek-Gevrek sistemde bilyelerin tozlar ile çarpışması sonucunda, sünek yapıları tozlar pulsu bir hal alırken, gevrek tozlarda kırılmaya başlar (Şekil 2.13). Mekanik alaşımlama devam ettikçe sistemde bulunan gevrek tozlar, sünek tozların içerisine gömülür. Sürenin artmasıyla birlikte artan deformasyon yoğunluğu sonucunda

tozlar sertleşir ve ortalama toz boyutu düşmeye başlar. Artan öğütme süresine rağmen gevrek tozlar, sünek tozlar içerisinde ayrılmaz ise homojen bir yapı elde edilebilir (Özgün, 2008).



Şekil 2.13. Mekanik alaşımlama işlemi sırasında sünek-gevrek sistemde meydana gelen değişimler (Çanakçı, 2006)

- Gevrek-gevrek sistemde, alaşımlama işleminin gerçekleşmesi mümkün olmayabilir. Çünkü gevrek tozlar, bilyelerin tozlara çarptığı gibi birbirlerine çarparak kırılmaya ve sürekli olarak toz boyutunun düşmesine sebep olur buda soğuk kaynak oluşumunu ya da birleşmeyi engeller. Fakat Mn-Bi ve Si-Ge gibi birkaç gevrek-gevrek sistemde alaşımlama işleminin gerçekleştiği saptanabilmiştir (Nazik, 2013).

2.3.3. Mekanik alaşımlama işleminde kullanılan üretim ekipmanları

Alaşımlama, kompozit tozu üretimi, tane boyutu küçültme gibi işlemleri yapmak amacıyla farklı türlerde yüksek enerjili öğütücüler kullanılmaktadır. Bunlar;

- Spex tipi,
- Atritör tipi,
- Gezegen tipi öğütücülerdir.

2.3.3.1. Spex tipi

Tek seferde 10 ila 20 gram arası toz öğütebilen SPEX tipi öğütücüler laboratuvar çalışmalarında kullanılmaktadır. Bu öğütücülerin haznesine konulan toz ve öğütme bilyeleri, binlerce defa farklı eksenlerde hareket ederek, haznedeki tozun öğütülmesini ve karıştırılmasını sağlar. Bu tür cihazlarda koruyucu atmosfer olmaması ve işlem sırasında meydana gelen yüksek enerjiden kaynaklı oluşan ısı temel problemlerdir. SPEX tipi cihazların yeni modellerinde ısınmayı engellemek amacıyla basınçlı soğutma sistemi kullanılmaktadır. Şekil 2.14'te SPEX tipi öğütücü görünmektedir (Milli, 2017).

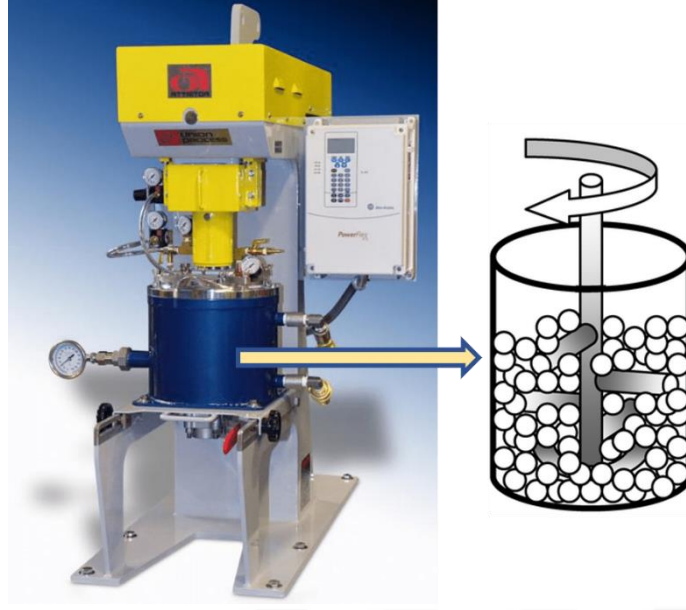


Şekil 2.14. Spex tipi öğütücü

2.3.3.2. Atritör tipi

Atritör tipi öğütücüler tek seferde yüksek miktarlarda toz öğütebilmektedirler (500 gram - 40 kilogram arası). Bu öğütücülerdeki silindirik şeklindeki hazne içerisine konulan bilyelere, kuvvetli bir motor yardımı ile karıştırıcılar sayesinde yüksek enerji verilir (Şekil 2.15).

Bu enerji ile bilyelerin, birbirleriyle, hazneyle ve karıştırıcılar arasındaki çarpışmalar sayesinde hazne içerisinde bulunan tozun boyutu küçülür ve karışmasına yardımcı olur. Bu işlem sırasında hazne etrafında bulunan soğutma sıvısıyla açığa çıkan sıcaklık azaltılabilir. Ayrıca atmosfer kontrolü sayesinde, öğütme işlemi farklı tür atmosferlerde yapılabilir (Suryanarayana, 2001).



Şekil 2.15. Atritör tipi öğütücü

2.3.3.3. Gezegen tipi

Gezegen tipi öğütücüler tek seferde 100 ila 200 gram arası toz öğütebilirler (Şekil 2.16). Bu öğütücülere, gezegen gibi belli bir yörünge etrafında döndükleri için gezegen ismi verilmiştir. Öğütme işlemi, dönen bir alt disk üzerine konulan haznenin, kendi yörüngesi etrafında dönmesi ile gerçekleştirilir. Bu dönüş esnasında, hazne içerisinde bulunan bilyeler ve bilye-hazne duvarı arasında kalan toz, oluşan merkez kaç kuvveti ile öğütülür. Gezegen tipi öğütücüler, SPEX tipi öğütücülere göre düşük enerjili öğütücülerdir (Nazik, 2013).



Şekil 2.16. Gezegen tipi öğütücü

Haznelerinin küçük olmasına rağmen gezegen tipi öğütücüler, laboratuvar ortamında toz elde etmek amacıyla araştırmacılar tarafından daha sık tercih edilmektedir.

2.3.4. Mekanik alaşımlama parametreleri

Mekanik alaşımlama işleminde;

- Öğütme hızı,
- Öğütme süresi,
- İşlem kontrol katkısı,
- Bilye/toz ağırlık oranı,
- Hazne doluluk oranı,
- Öğütme haznesi ve bilye malzemesi,
- Öğütme sıcaklığı gibi çeşitli parametreler yer almaktadır.

Bu parametreler birbirinden bağımsız değillerdir. Örneğin öğütme hızı belirlenirken, bilye/toz oranı, öğütme süresi, işlem kontrol katkısının miktarı, bilye boyutu, hazne içerisindeki sıcaklık gibi değişkenlere dikkat edilmelidir (Nazik, 2013).

2.3.4.1. Öğütme hızı

Öğütme hızı, mekanik alaşımlama işleminde başta gelen parametrelerdendir. Mekanik alaşımlamaya tabi tutulan tozların aşırı plastik deformasyonla birbirine soğuk kaynak olması ve kırılmasını sağlamada öğütme hızının optimum olması gerekmektedir (Nazik, 2013).

Fakat maksimum hıza ulaşabilmek ięin, hazne tasarımımda bazı engeller vardır. Örneęin, artan öğütme hızıyla birlikte merkez kaç kuvvetinin de artması, hazne iğerisindeki bilyelerin hazne ię duvarına yapışmasına sebep olur, aşağı dūřemezler ve darbe etkisi uygulayamazlar. Bu sebepten, seğilen öğütme hızı maksimum hızdan daha dūřük olmalıdır (Nazik, 2013).

Ayrıca artan hız ve çarpışma sayısı ile hazne içerisindeki sıcaklık artacağından, maksimum hıza çıkmamız bizim için bir diğer dezavantajdır (Nazik, 2013).

2.3.4.2. Öğütme süresi

Öğütme işlemi parametrelerinden biri olan öğütme süresi, öğütme esnasında tozların parçalanması ve meydana gelen soğuk kaynağın(birleşmenin) dengelenmesini sağladığından doğru seçilmelidir. Öğütme süresi, öğütme işlemindeki diğer parametreler ile de bağlantılı olduğundan iyi ayarlanmalıdır. Süre yeterli zamandan uzun tutulursa tozdaki kirlilik seviyesi ve istenmeyen fazlar artabilir (Nazik, 2013). Öğütülen tozların kararlı yapıda kalabilmesi için yüksek hızlardaki öğütmelerde süre kısa, düşük hızlardaki öğütmelerde ise süre daha uzun tutulur. Ayrıca kullanılan bilye/toz oranı yüksek ise kısa süreli öğütme, düşük ise daha uzun süreli öğütmeler yapılır (Nazik, 2013).

2.3.4.3. İşlem kontrol katkısı

İşlem kontrol katkısı (İKK), öğütme işlemi sırasında tozlar üzerinde bir film tabakası oluşturarak soğuk kaynak veya aglomerasyon miktarını azaltır, ayrıca öğütme sırasında tozların hızlı kırılmalarını sağlar (Suryanarayana, 2001).

Kullanılan İKK'nın miktarı, türü ve direkt veya kademeli olarak katılması, öğütülen tozun şeklini ve ortalama toz boyutunu doğrudan etkiler. Bu yüzden yapılan bilimsel araştırmalarda kullanılan İKK'nın miktarı, türü ve katılış şekli değişiklik göstermektedir (Anas ve ark., 2019; Mihalache ve ark., 2019).Aşağıdaki Çizelge 2.2'de mekanik alaşımlama işleminde kullanılan çeşitli işlem kontrol katkıları verilmiştir.

Çizelge 2.2. Mekanik alaşımlama işleminde kullanılan bazı işlem kontrol katkılarının (İKK) ergime ve kaynama noktaları (Suryanarayana, 2001)

İşlem Kontrol Katkısı	Ergime Noktası(°C)	Kaynama Noktası(°C)
Metil alkol	-98	64.6
Stearik asit	67 -69	183-184
Etil alkol	-130	78
Dodesin	-12	216.2
Heptan	-91	98
Hegzan	-95	68-69
Etil asetat	-84	76.5-77.5
Polietilen glikol	59	205
Etilen bidisteramit	141	259

2.3.4.4. Bilye/toz ağırlık oranı

BTO olarak da adlandırılan bilye/toz ağırlık oranı, öğütücü hazne içerisine konulan bilyelerin ağırlığının, öğütülen tozlara oranını ifade eder ve öğütme işlemindeki önemli parametrelerdendir. Bilye/toz oranı arttıkça, öğütme sırasında meydana gelen çarpışma sayısı artacağından mekanik alaşımlama süresi azalır fakat tozların kirlenmesi gibi negatif etkiler ortaya çıkabilir (Nazik, 2013).

Bilye/toz oranı öğütücü haznenin hacmine ve öğütülecek toz malzemenin türüne göre farklılık gösterebilir. Örneğin çeşitli çalışmalarda 1:1 gibi küçük bilye/toz oranları kullanıldığı gibi 220:1 gibi yüksek oranlarda kullanılmaktadır. Gezegen tipi öğütücülerde kullanılan genel bilye/toz oranı ise 10:1'dir (Nazik, 2013).

Bilye/ toz oranının değişmesiyle avantajlı veya dezavantajlı durumlar oluşabilir. Bunlar;

- Bilye/toz oranının azalmasıyla birlikte, yeterli öğütme süresi uzar,
- Bilye/toz oranı arttırılırsa ise öğütülen tozların kirlenmesi gibi olumsuz durumlar oluşabilir (Nazik, 2013).

2.3.4.5. Hazne doluluk oranı

Hazne içerisindeki tozların öğütülebilmesi için, bilyelerin tozlar ile çarpışması ve enerji aktarması gerekir. Eğer hazne içerisinde yeterli boşluk yok ise bilyeler serbestçe hareket edemez ve öğütme işlemi gerçekleşmez. Yani hazne doluluk oranı çok fazla ise bilyeler ile tozlar arasında meydana gelen çarpışma hızı ve miktarı az olacağından öğütme işlemi gerçekleşmez. Bu sebepten hazne doluluk oranı %50 ya da daha az seçilerek öğütme işlemi gerçekleştirilir (Nazik, 2013).

2.3.4.6. Öğütme haznesi ve bilye malzemesi

Öğütme sırasında bilyelerin, hazne duvarına çarpması ile aşınmalar meydana gelebilir ve öğütülen tozun kirlenmesine sebep olabilir. Oluşabilecek bu kirliliği engellemek için aşınma direnci yüksek, öğütülen toz ile benzer malzemedan yapılmış öğütme haznesi ve bilye kullanılmalıdır. Hazne ve bilye malzemesi olarak çeşitli çelik malzemeler, agat, zirkonya, safir, sert porselen ve tungsten karbür gibi malzemeler kullanılmaktadır (Nazik, 2013).

2.3.4.7. Öğütme sıcaklığı

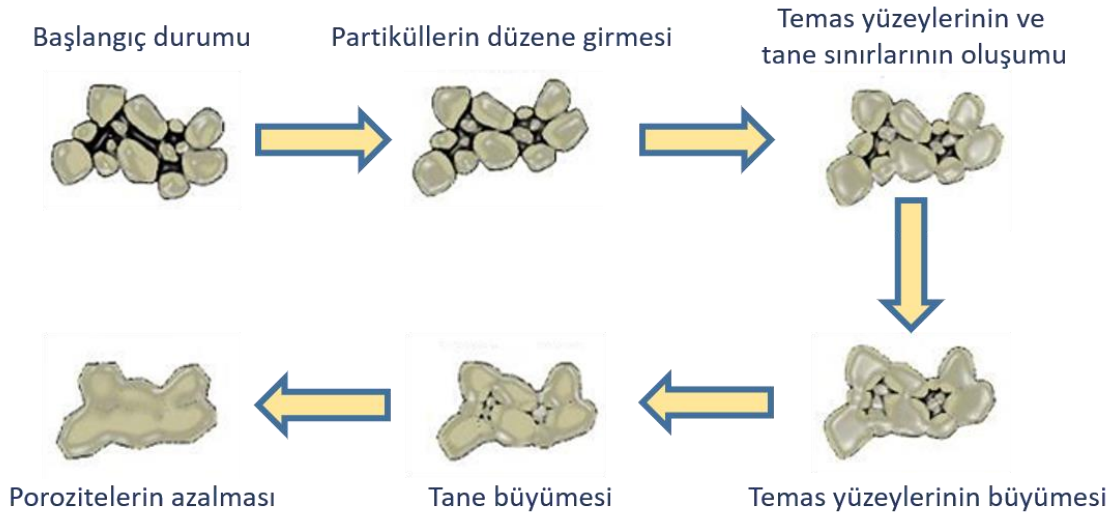
Öğütme sıcaklığı, difüzyon işlemini etkilediği için önemli bir parametredir. Alaşımlarda, artan öğütme sıcaklığı ile alaşım tozları içerisinde istenmeyen katı çökeltiler, amorf fazlar ve intermetalikler oluşabileceğinden mekanik alaşımlama işlemi genellikle oda sıcaklığında yapılmaktadır. Eğer öğütme işlemi sırasında çok fazla ısı açığa çıkıyorsa, etrafında fan veya öğütücü sıvı/gaz bulunan öğütme haznesi kullanılmalıdır. Sıcaklığın sabit tutulmaması durumunda, tozun kirlenmesi veya yüksek oranlarda aşınma gibi problemler ile karşılaşılabilir (Nazik, 2013).

2.4. Sıcak Presleme Yöntemi

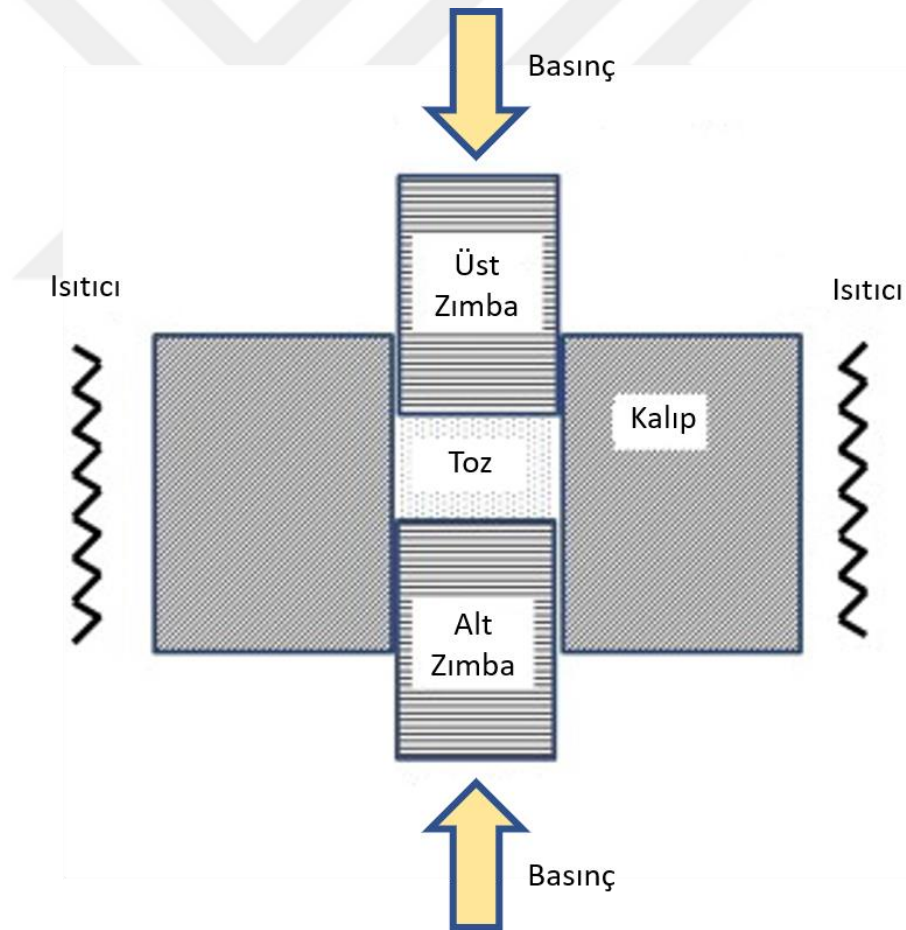
Sıcak presleme yöntemi, toz presleme ve sinterleme aşamalarının tek bir adımda uygulandığı bir yöntemdir. Öncesinde geleneksel sinterleme yönteminden bahsedecek olursak, presleme ile şekillendirilen tozlar sonrasında yüksek sıcaklıklara çıkabilen fırınlarda sinterlenir. Sinterleme işlemi 3 adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar Şekil 2.17’de gösterilmiş olup, Çizelge 2.3’te meydana gelen değişimler özetlenmiştir:

- İlk adımda sıcaklığın etkisiyle atom titreşimleri artar ve partiküllerin birbirine temas ettiği noktalarda boyun oluşumu meydana gelir. Yüzey enerjisi yüksek olan bu bölgeler arasında rahat bir şekilde difüzyon gerçekleşmektedir.
- İkinci adımda artan difüzyon ile partiküller arasında bulunan boşluklar (poroziteleri) küresel bir hal almaya başlar, tane büyümesinin etkisiyle yoğunlukta artış meydana gelir.
- Son adımda ise boşluklar (poroziteler) küçülür, tamamen yok olur veya sistem içerisine sıkışıp kalırlar (Erdoğan, 2016).

Sıcak presleme yönteminde ise tozlar kalıp içerisine doldurulup preslenirler (Şekil 2.18). Presleme basıncı uygulanmaya devam eder iken, kalıp üzerinde bulunan yuvalara ısıtıcı fişekler yerleştirilerek sinterleme işlemi gerçekleştirilir. Sinterleme işlemi bitene kadar presleme basıncı ve sıcaklık uygulanmaya devam edilir (Gökçe, 2018; Özdemir, 2018).



Şekil 2.17. Sinterleme sırasında tozlarda meydana gelen değişimler



Şekil 2.18. Sıcak presleme mekanizması

Çizelge 2.3. Sinterleme adımları

Sinterleme adımları	Meydana gelen fiziksel değişimler
1. Adım	Başlangıç durumu
	Partiküllerin yeniden düzenlenmesi
	Boyun oluşumu (Temas yüzeylerinin oluşumu)
2. Adım	Oluşan boyun bölgelerinin genişlemesi
	Temas yüzeylerinin genişlemesi
	Tane büyümesi
3. Adım	Porozitelerin azalması
	Tane büyümesi

Sıcak pres sinterleme işlemi, geleneksel sinterleme yöntemine nazaran birçok avantaj sağlamaktadır;

- Sıcaklık ve basıncın birlikte uygulanması ile teorik yoğunluğa yakın bir yoğunluk elde edilebilir.
- Geleneksel sinterleme yöntemine göre daha verimlidir. (Enerji tüketimi ve daha yoğun malzemeler üretilmesi açısından.)
- Yoğunluk artışı ile mukavemet artışı da elde edilir (Gökçe, 2018; Özdemir, 2018).

2.5. Literatürde Yapılan Çalışmalar

Nazik (2013), B₄C takviyeli AA7075 matrisli kompozit tozlarını ve kompozitleri mekanik alaşımlama yöntemi ile üretmiş ve sertlik, deneyi çekme mukavemeti, yoğunluk deneyi, toz boyut analizi, SEM ve XRD analizlerini yapmıştır. Deneylerde ağırlıkça %5,10,15 ve 20 B₄C takviye malzemesi, gezegen tipi öğütücü, 10:1 BTO, 400 rpm öğütme hızı, 10mm yarı çapa sahip tungsten karbür bilye, ağırlıkça %3 metanol işlem kontrol katkısı, 650 MPa ön presleme basıncı, 500 MPa basınç ve 550 °C'de sıcak presleme parametreleri kullanılmıştır. SEM analizlerine göre B₄C matris malzemesi içerisine homojen bir şekilde dağıtılabilmektedir. En yüksek çekme mukavemeti %10 B₄C içeren, 1 saat mekanik alaşımlama işlemine tabi tutulmuş kompozit numunede 325 MPa olarak, en yüksek sertlik değeri %20 B₄C içeren, 8 saat mekanik alaşımlama işlemine tabi tutulmuş kompozit numunede 350 BSD olarak elde edilmiştir.

Azimi ve ark. (2015a), ortalama toz boyutu 20nm olan TiC takviyeli AA7075 matrisli kompozitleri mekanik alaşımlama yöntemi ile üretmiş, sertlik deneyi yapmış ve SEM görüntülerini incelemişlerdir. Deneylerde ağırlıkça %5 oranında TiC takviye

malzemesi, gezegen tipi öğütücü, 15:1 BTO, 500 rpm öğütme hızı, ağırlıkça %1 stearik asit işlem kontrol katkısı, 400,500 ve 600 Mpa basınç ve 350,400 ve 450 °C sıcak presleme parametreleri kullanılmıştır. SEM analizlerine göre artan öğütme süresi ile TiC'in matris malzeme içerisinde homojen olarak dağıldığı, ayrıca sinterleme sıcaklığı arttıkça tane büyümesi olduğu görülmüştür. En yüksek sertlik değeri, 50 saat öğütülmüş, 400 °C, 600 Mpa basınç altında sıcak presleme ile üretilen kompozit malzemede 245 HV olarak belirlenmiştir.

Cabeza ve ark. (2012), ortalama toz boyutu 20 nm olan TiC takviyeli AA7075 matrisli kompozitleri mekanik alaşımlama yöntemi ile üretmiş, toz sertliklerini ve SEM görüntülerini incelemişlerdir. Deneylede ağırlıkça %2 oranın TiC takviye malzemesi, 10:1 BTO, 1000 rpm öğütme hızı, ağırlıkça %0,5 Licowax C işlem kontrol ajanı parametreleri kullanılmıştır. SEM görüntüleri incelendiğinde öğütme süresinin artmasıyla birlikte aglomerasyon azalmış fakat soğuk kaynak ve kırılmanın arttığı belirlenmiştir. Toz sertliği ise 960 dakika öğütme sonunda 100 HV'den 293 HV'ye artmıştır.

Prabha ve Dhas (2017), TiC ve MoS₂ takviyeli AA7075 matrisli kompozitleri savurmalı döküm yöntemi ile üretmiş, sertlik, çekme mukavemeti ve SEM görüntülerini incelemişlerdir. Deneylede ağırlıkça %3,5,7 ve 9 oranında TiC ve ayrıca %9 TiC'e ek olarak %1 ve 2 oranında MoS₂ katarak kompozit malzemeler üretmişlerdir. En yüksek çekme mukavemeti %9 TiC ve %2 MoS₂ içeren kompozitte 305 MPa olarak, en yüksek sertlik değeri ise yine aynı kompozitte 145 HV olarak elde edilmiştir.

Chandrashekar ve ark. (2018), ortalama toz boyutu 40 µm olan TiC takviyeli AA7075 matrisli kompozitleri savurmalı döküm yöntemi ile üretmiş, sertlik, çekme mukavemeti ve optik mikroskop görüntülerini incelemişlerdir. Deneylede ağırlıkça %3,4,5,6 ve 7 oranında TiC katarak kompozit malzemeler üretilmiştir. Optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde, takviye malzemesinin matris malzemesi içerisinde homojen olarak dağıldığı belirlenmiştir. En yüksek çekme mukavemeti %7 TiC takviyeli kompozitte 245 MPa, en yüksek sertlik değeri ise yine %7 TiC takviyeli kompozitte 167 HV olarak elde edilmiştir.

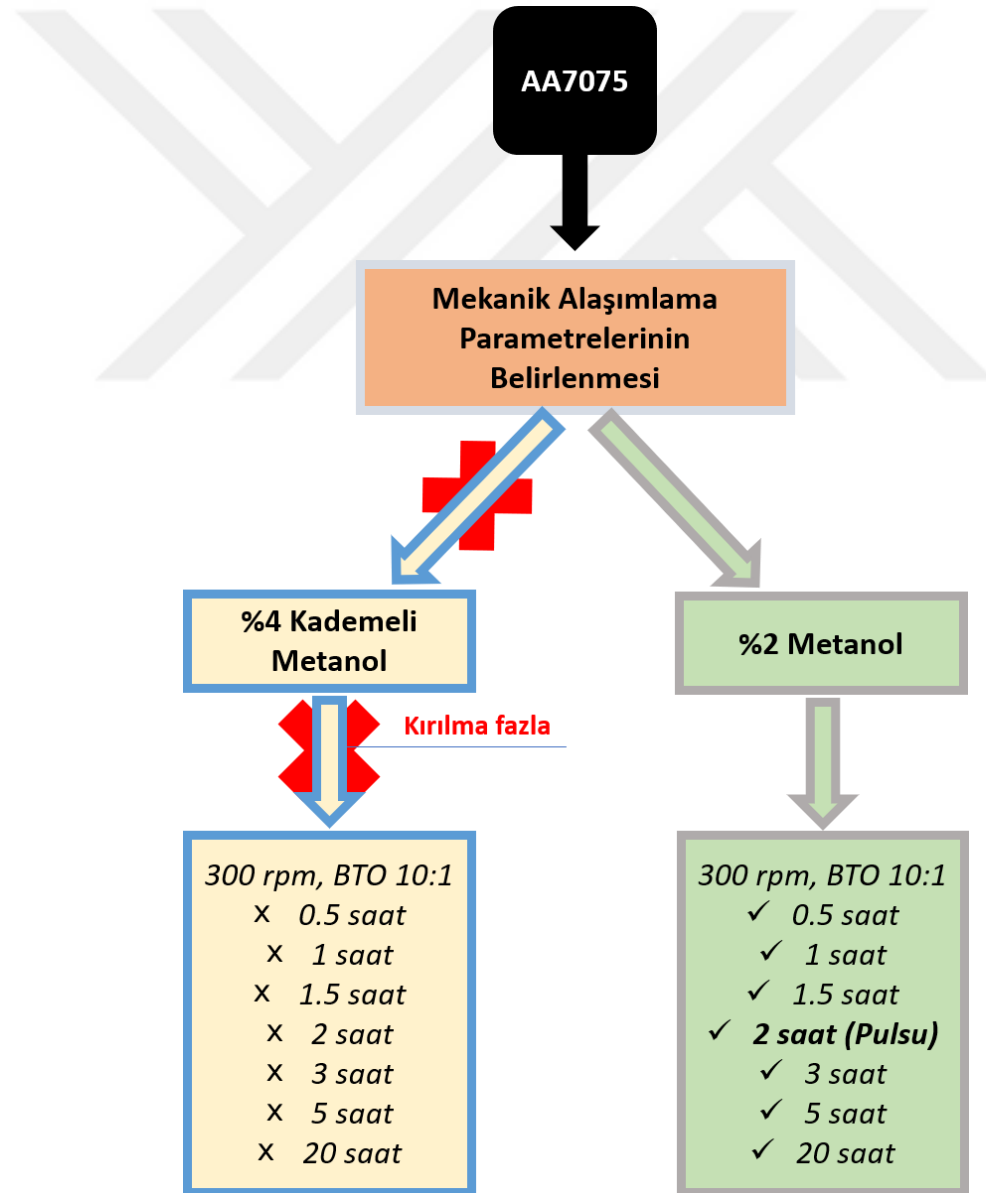
Daha önce yapılan literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, Titanyum Karbür takviyeli 7075 alüminyum alaşım matrisli kompozitlerin toz metalurjisi yöntemiyle üretimi üzerine az sayıda çalışma bulunmaktadır.

Bu çalışmada; toz metalurjisi yöntemi ile pulsu yapılı TiC takviyeli AA7075 matrisli kompozitlerin ¼retilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda ¼retilen kompozitlerin mekanik özellikleri iyileştirilmeye çalışılmıştır.



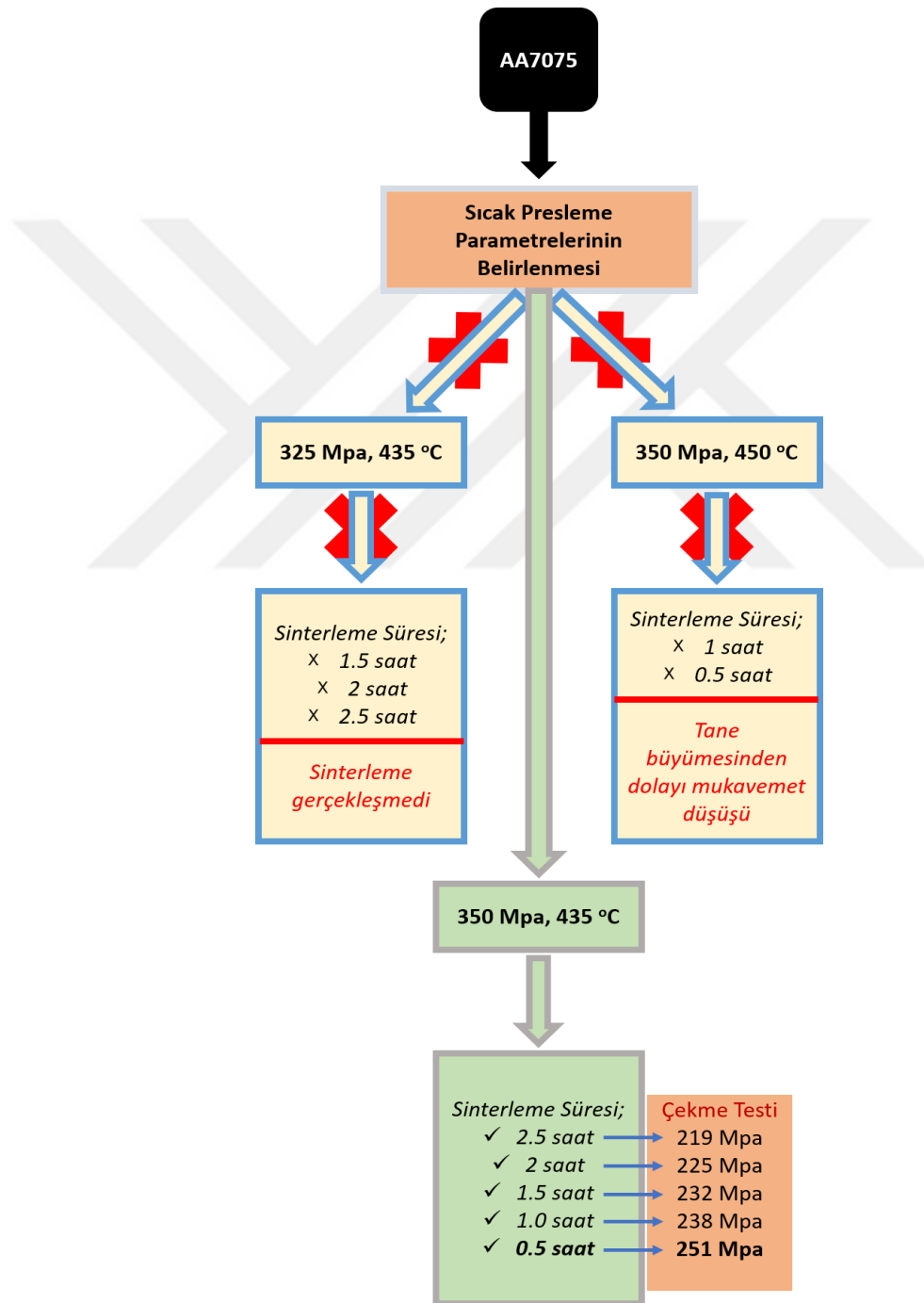
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada öncelikli olarak pulsu yapılı AA7075-TiC tozları mekanik alaşımlama yöntemi ile üretilmiştir. Daha sonra bu tozlar kompozit haline getirilerek kullanılan işlem parametrelerinin üretilen kompozitler üzerindeki mekanik etkileri incelenmiştir. İlk olarak 7075 alüminyum alaşımına ait tozlar mekanik alaşımlama işlemine tabi tutularak pulsu morfolojinin oluşum süresi belirlenmiştir (Şekil 3.1). Daha sonra pulsu yapıya sahip AA7075-TiC tozları üretilmiş, SEM görüntüleri alınmış ve ortalama toz boyutları ölçülmüştür. Takviye malzemesi olarak kullanılan TiC'in oranı %5, %10 ve %20 olarak belirlenmiştir.

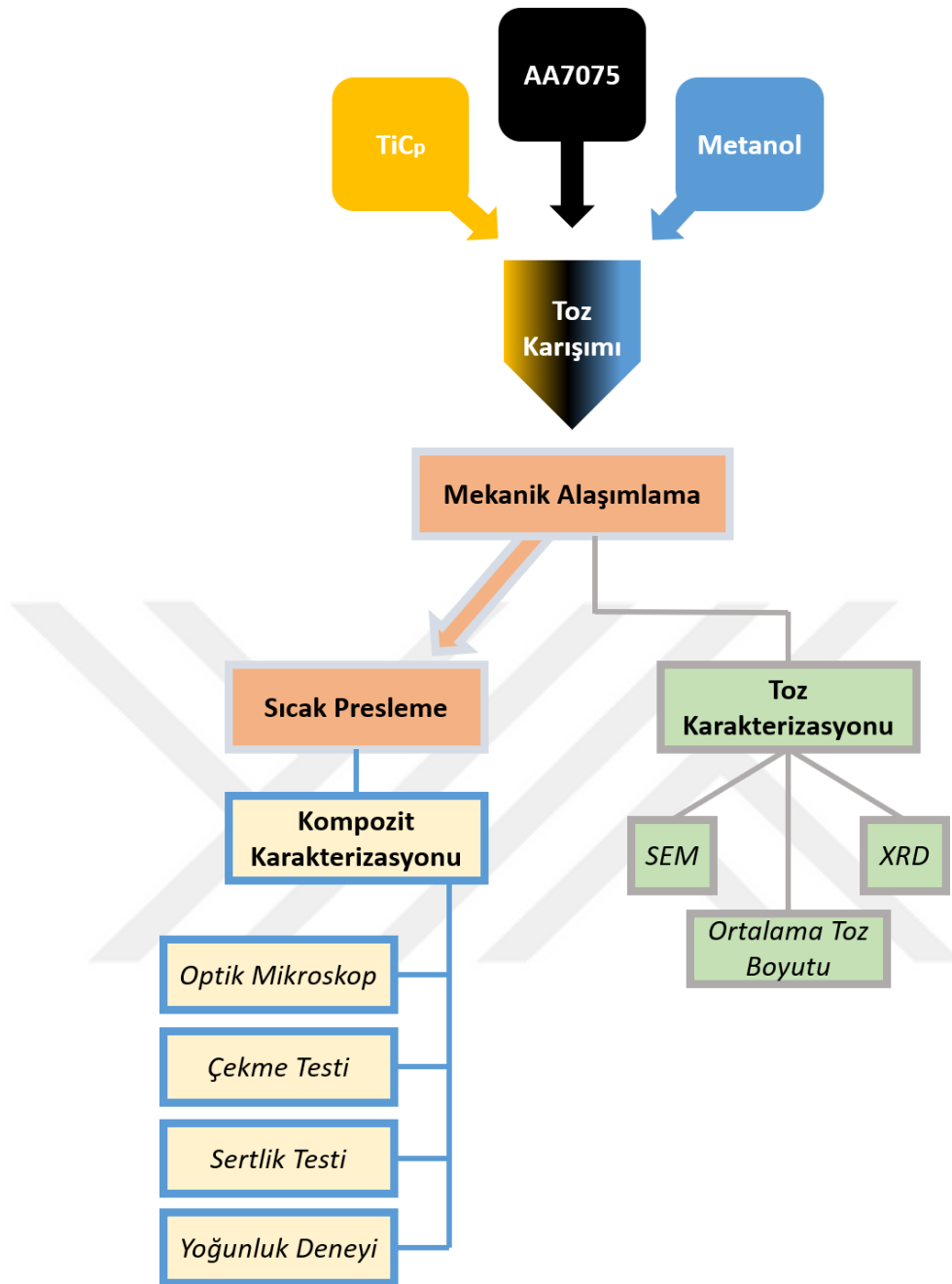


Şekil 3.1. Mekanik alaşımlama parametrelerinin belirlenmesi

Kompozit malzemeler üretilmeden önce, ideal sıcak presleme parametrelerini belirlemek için farklı basınç ve sıcaklıklarda denemeler yapılmış olup (Şekil 3.2) ideal sinterleme sıcaklığı 435 °C, ideal presleme basıncı 350 MPa olarak belirlenmiştir. Sonrasında kompozit malzemeler bu parametrelere göre üretilmiştir ve mikroyapısal özellikleri, sertlikleri, çekme mukavemetleri ve yoğunlukları incelenmiştir. Şekil 3.3'te yapılan işlemlere ait iş akış şeması görülmektedir.



Şekil 3.2. Sıcak presleme parametrelerinin belirlenmesi



Şekil 3.3. İş akış şeması

3.1. Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Üretilen kompozitlerde, matris malzemesi olarak, Kütahya Dumlupınar üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde bulunan gaz atomizasyonu ile üretilen, ortalama toz boyutu $46.3 \mu\text{m}$ ve yoğunluğu 2.81 g/cm^3 olan AA7075 tozları kullanılmıştır (Şekil 3.4). AA7075 Tozlarına ait kimyasal ve fiziksel özellikler Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. AA7075 tozlarının ağırlıkça (%) kompozisyonu

Cu	Mg	Mn	Fe	Si	Zn	Cr	Ti	Al
1.2	2.1	0.3(max)	0.5(max)	0.4(max)	5.1	0.18	0.2(max)	87.1
-	-				-	-		-
2	2.9				6.1	0.28		91.4

Çizelge 3.2. AA7075 alaşımının mekanik ve fiziksel özellikleri

Teorik Yoğunluk (g/cm ³)	Erime Noktası (°C)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Elastiklik Modülü (GPa)	Sertlik (BSD)
2.81	580	228	71.7	60

Takviye malzemesi olan TiC bilinen üretici olan Luoyang Tongrun Info Technolgy firmasından alınmıştır ve yoğunluğu 4.9 g/cm³, ortalama toz boyutu 5.2 µm'dir. TiC tozlarına ait fiziksel özellikler Çizelge 3.3'te gösterilmektedir.

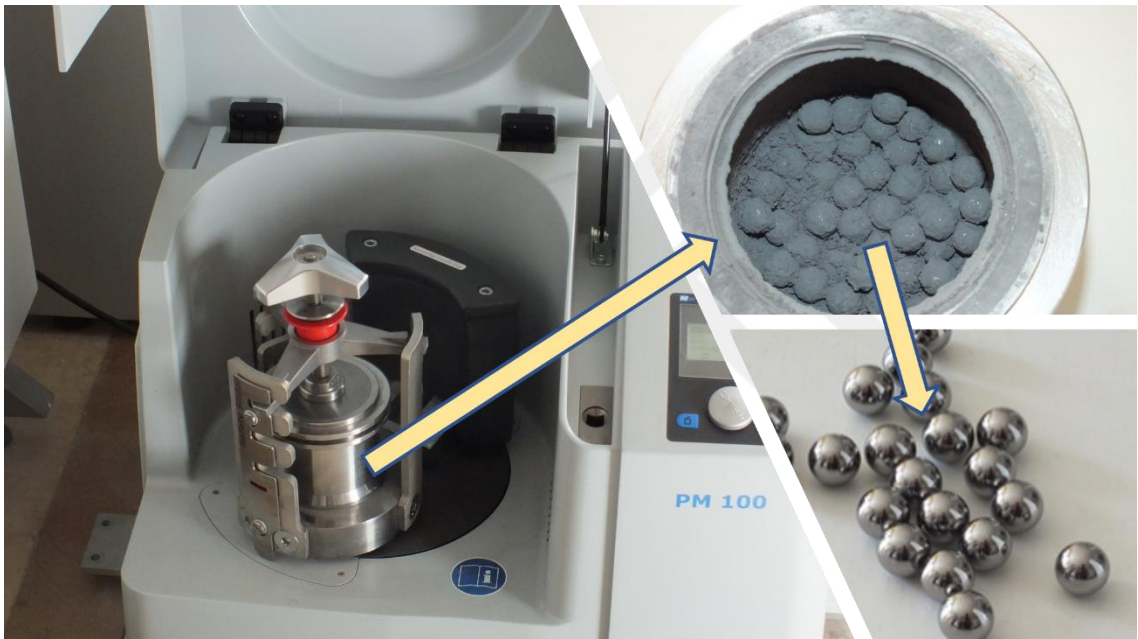
Çizelge 3.3. TiC tozlarının mekanik ve fiziksel özellikleri

Teorik Yoğunluk (g/cm ³)	Erime Noktası (°C)	Çekme Mukavemeti (Mpa)	Elastiklik Modülü (GPa)	Sertlik (Vickers)
4.9	3067	55	460	3200

**Şekil 3.4.** Gaz atomizasyon ünitesi ve üretilen AA7075 matris tozları

3.2. Mekanik Alaşımlama İşlemi

Bu çalışmada Nazik (2013), Topcu ve ark. (2009) yaptığı çalışmalar referans alınmıştır. Kompozit tozları Retsch PM 100 marka gezegen tipi öğütücüde, 300 rpm hızda öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Öğütme süresi 0, 1.5, 2, 5 ve 20 saat olarak seçilmiştir. Öğütücü hazne ve bilyelerin malzemesi tungsten karbür (WC) olup, haznenin hacmi 250 ml ve bilyelerin boyutu 10mm'dir. Bilye/toz oranı 10:1 (1 bilye 7.6 gramdır), İKK oranı ise %2 metanol olarak, tek seferde hazne içerisine konulan toz miktarı ise 30 gram olarak seçilmiştir. Kullanılan ekipmanlar şekil 3.5'te gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Mekanik alaşımlama için kullanılan Retsch PM100 marka gezegen tipi öğütücü, öğütme haznesi ve kullanılan bilyeler

3.3. Toz Morfolojisi

Kullanılan AA7075 ve TiC tozlarının, başlangıçtaki ve öğütme işleminden sonraki durumları, artan öğütme süresi ve takviye miktarı ile meydana gelen değişimleri Zeiss Evo Ls-10 taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

3.4. Toz Boyut Ölçümü

Malvern Instruments™ marka Mastersizer 2000e model lazer ortalama toz boyutu ölçüm cihazı ile çalışmada kullanılan AA7075 ile TiC tozlarının başlangıçtaki ve mekanik alaşımlama işlemine tabi tutulmuş kompozit tozlarının ortalama toz boyutları ölçülmüştür (Şekil 3.7). Ortam olarak saf su ortamı kullanılmıştır.



Şekil 3.7. Toz boyut ölçüm cihazı

3.5. X-Işımları Kırınımı (XRD)

Değişen öğütme süresiyle birlikte AA7075 ve kompozit tozlarının partikül yapısını incelemek için XRD analizi yapılmıştır. Kullanılan X ışınları difraktometreleri 45kV, 40mA ve CuK_a 0.15406 nm 'dir



Şekil 3.8. X-ışınları kırınımı cihazı (XRD)

3.6. Sertlik Deneyi

Kompozit numunelere ait sertlik ölçümleri Innovatest Nemesis 2000 marka cihaz ile yapılmıştır (Şekil 3.9). Numune üzerinde rasgele noktalardan beşer adet ölçüm yapılmış olup bu ölçümlerin ortalaması alınarak Brinell sertlik değeri belirlenmiştir



Şekil 3.9. Brinell sertlik ölçüm cihazı

3.7. Sıcak Presleme

Farklı sürelerde öğütülmüş takviyesiz AA7075 ve kompozit tozları 350 MPa presleme basıncı altında 435 °C de 30 dakika sıcak presleme işlemi uygulanarak alaşım ve kompozit numuneleri üretilmiştir. Presleme işleminden önce kalıp yüzeyleri grafit ile yağlanmıştır.

Sıcak presleme işleminde kullanılan sıcak presleme ünitesi, kalıp, ısıtma fişekleri ve termokupl Şekil 3.10'da gösterilmektedir.



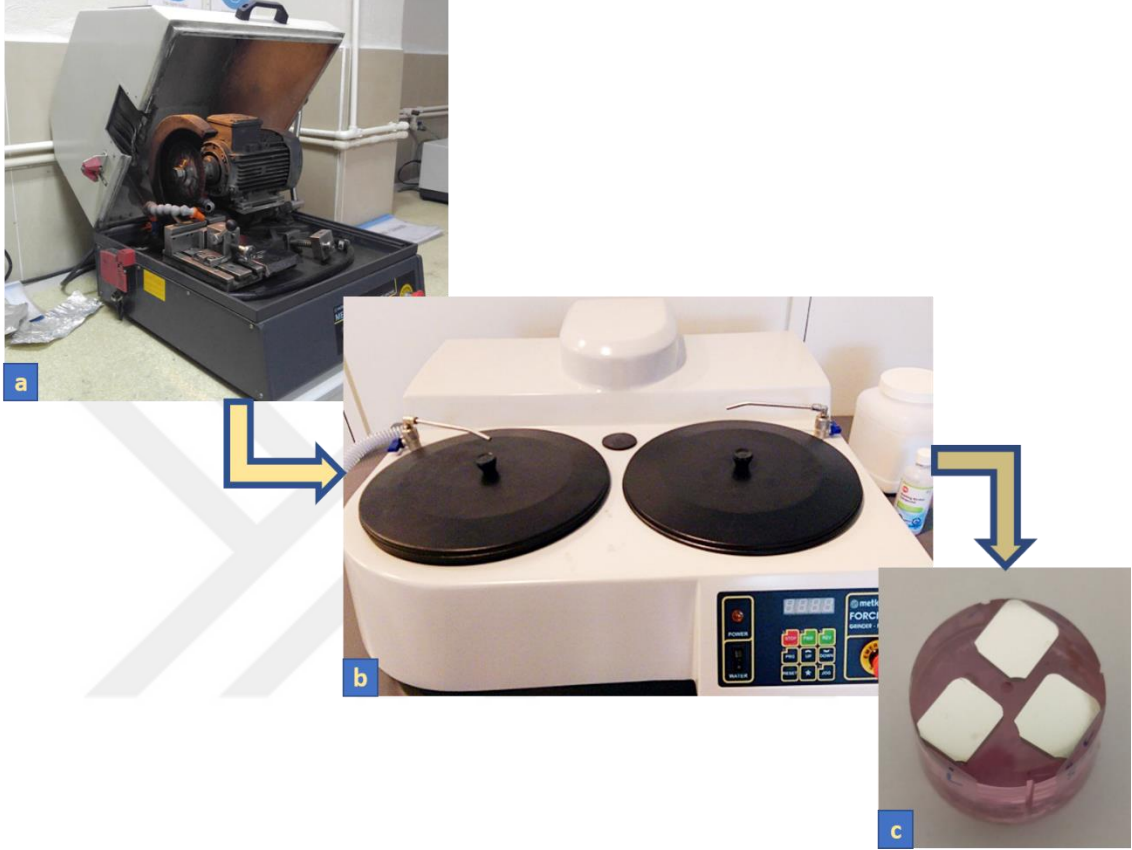
Şekil 3.10. Çalışmada kullanılan sıcak presleme ünitesi, kalıp, ısıtma fişekleri ve termokupl

3.8. Metalografik Çalışmalar

Üretilen takviyesiz AA7075 ve kompozit numuneleri, sertlik ölçümleri, optik mikroskop ve SEM incelemeleri için Metkon Forcipol V2 marka zımparalama ve parlatma cihazında metalografik numune hazırlama işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Metalografik numune hazırlama işlemlerinin kolay yapılması adına numuneler Metcon Metacut-M250 marka cihazda kesilmiş ve soğuk bakalite alınmıştır (Şekil 3.11).

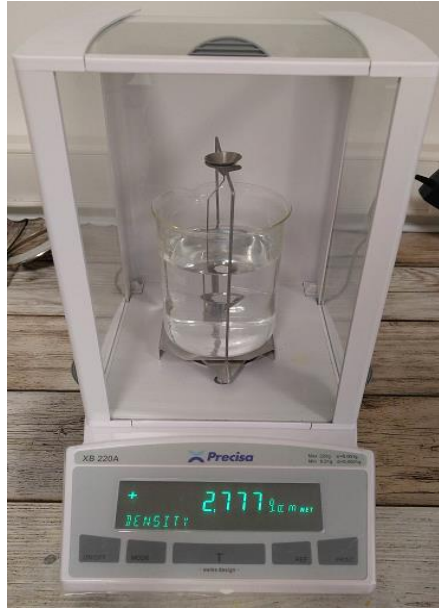
Optik mikroskopta görüntü alabilmek için numuneler modifiye keller çözeltisi ile dağlanmıştır.



Şekil 3.11. Çalışmalarda kullanılan a) Numune kesme cihazı b) Zımparalama ve parlatma cihazı c) Bakalite alınmış numuneler

3.9. Yoğunluk Ölçüm Deneyi

Üretilen takviyesiz AA7075 ve kompozit numunelerin teorik yoğunlukları karışımlar kuralına göre bulunmuş olup, deneysel yoğunlukları Precisa XB 220A marka şekil 3.12’de gösterilen yoğunluk ölçüm kitine sahip hassas terazide ölçülmüştür.



Şekil 3.12. Yoğunluk ölçüm cihazı

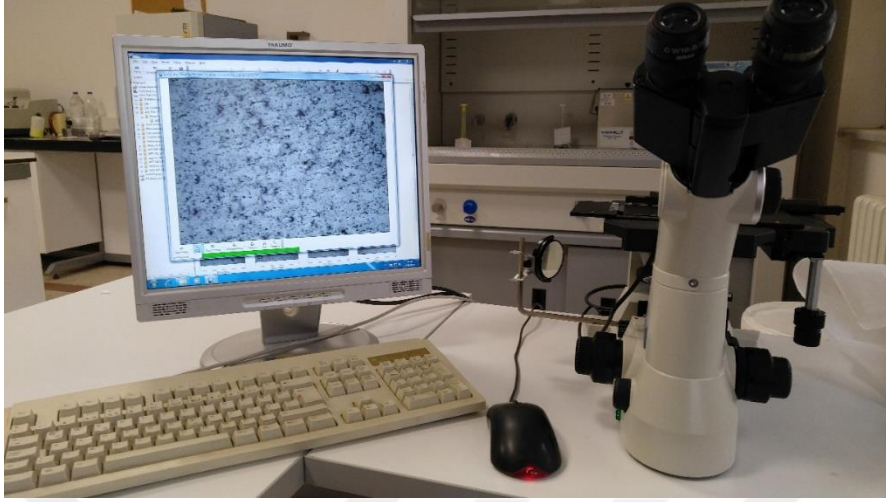
3.10. Çekme Deneyi

MTS Criterion 40 marka çekme deney cihazı ile üretilen numunelerin çekme mukavemetleri incelenmiştir. Şekil 3.13’de çekme deney cihazı ve çekme deney numunesine ait resimler verilmiştir.



Şekil 3.13. Çekme deney cihazı ve çekme numunesi

3.11. Optik Mikroskop İncelemeleri



Şekil 3.14. Optik mikroskop

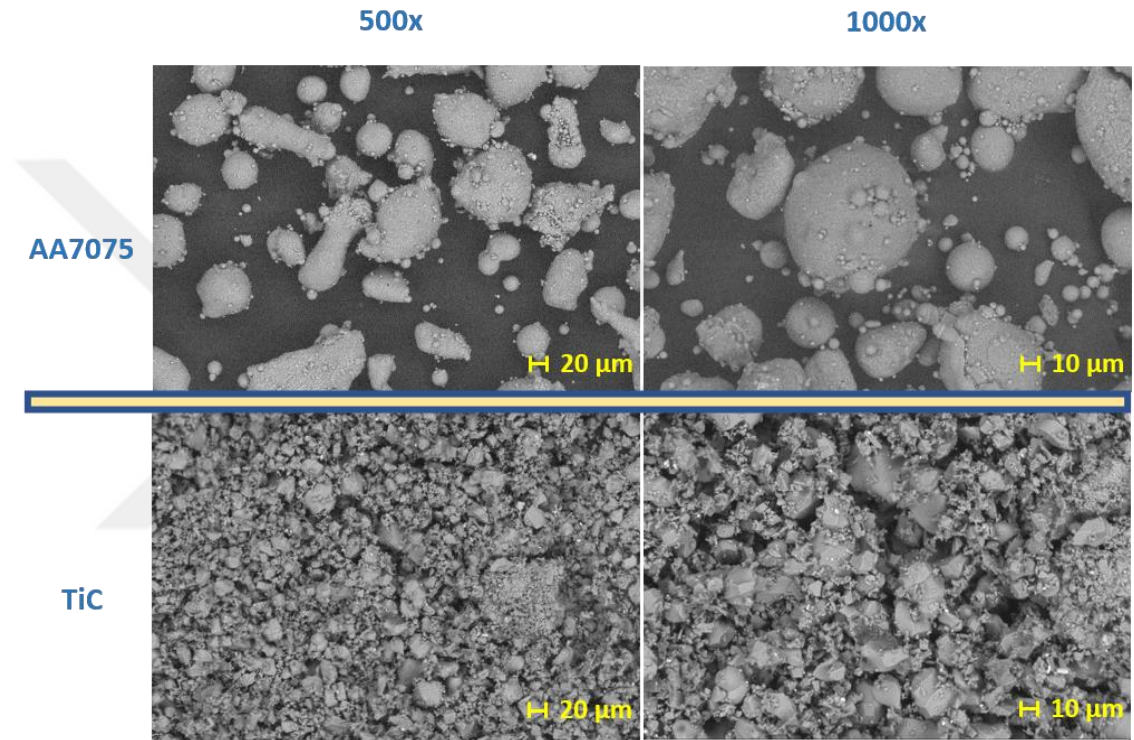
Parlatılmış numuneler, Nikon™ Eclipse L150 optik mikroskop ile Clemex™ görüntü analiz yazılımı yardımıyla incelenmişlerdir. Şekil 3.14'te Nikon™ metal optik mikroskobu gösterilmiştir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Toz Karakterizasyonu

4.1.1. Başlangıç toz morfolojileri

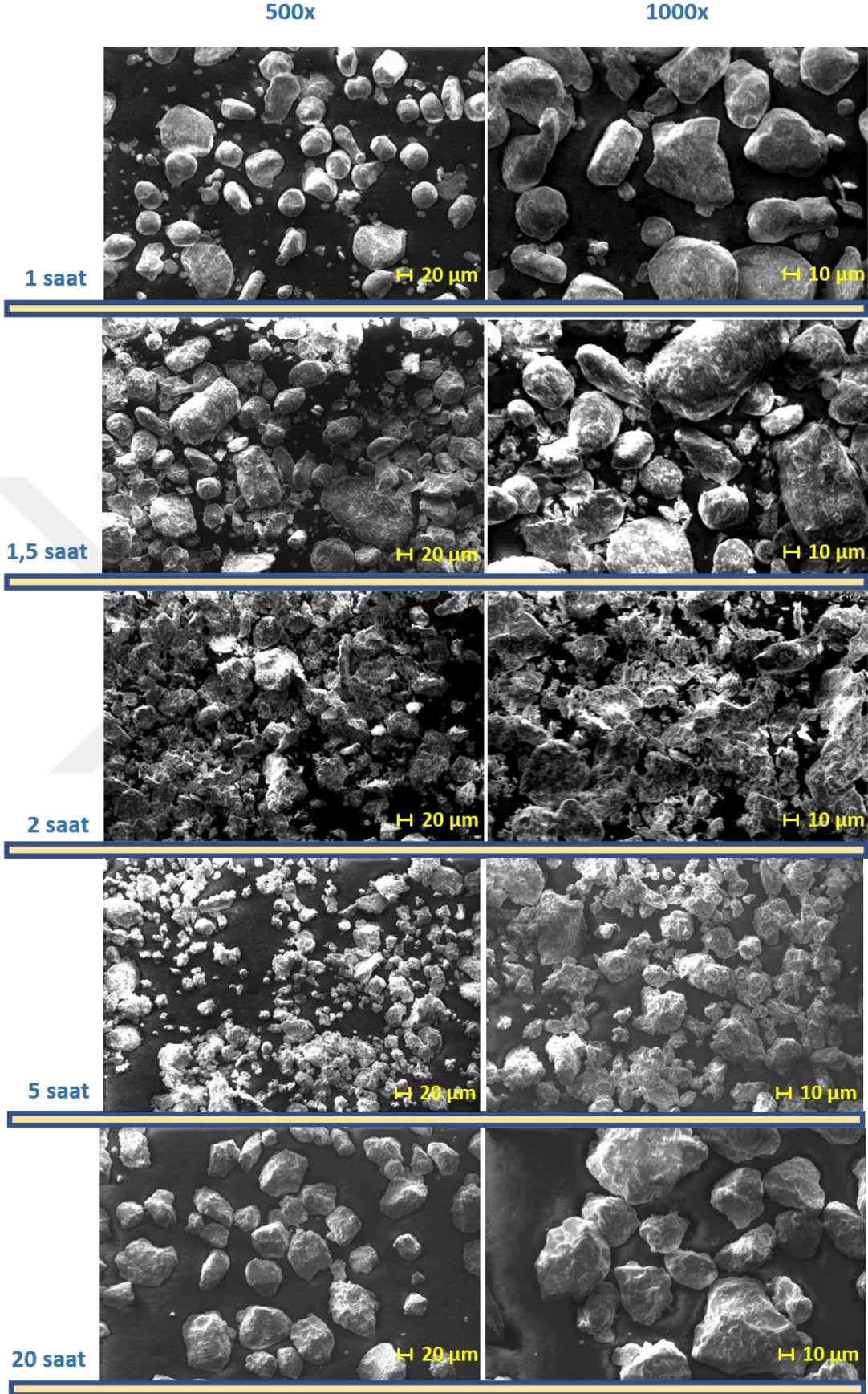
Yapılan SEM analizlerinde de görüldüğü gibi AA7075 tozları başlangıçta neredeyse küresel morfolojide iken, TiC tozlarının morfolojisi köşelidir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Başlangıç tozları; AA7075 ve TiC'e ait SEM görüntüleri

4.1.2. Takviyesiz AA7075 tozlarının morfolojik analizi

Şekil 4.2'de pulsu yapının hangi safhada elde edildiğini görmek amacıyla farklı sürelerde %2 metanol katılarak mekanik alaşımlama işlemine tabi tutulan takviyesiz AA7075 tozlarına ait morfolojiler yer almaktadır.



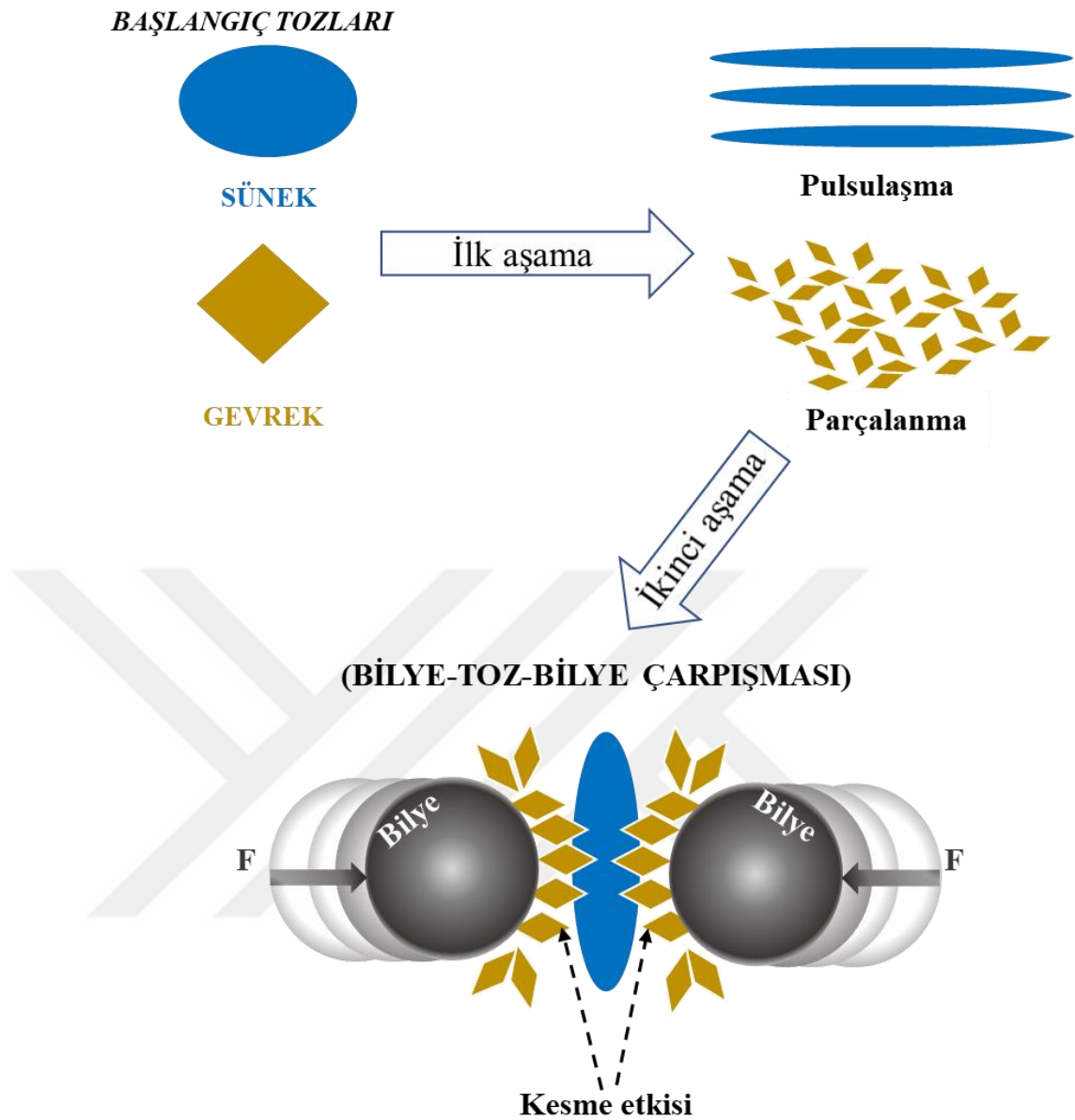
Şekil 4.2. Farklı sürelerde mekanik alaşımlama işlemine tabi tutulmuş takviyesiz AA7075 tozlarına ait SEM görüntüleri

1 saatlik mekanik alaşımlama sonucunda plastik deformasyona maruz kalan tozlar pulsulaşmaya başlamıştır. 1.5 saat sonunda morfolojik yapı neredeyse 1 saatlik mekanik alaşımlamada ki morfolojik ile aynıdır fakat 2 saat sonunda takviyesiz AA7075 tozları tamamen pulsu yapıya dönüşmüştür. Mekanik alaşımlama işlemine devam edilmesi ile 5 saat sonunda kırılmaların devam etmesiyle birlikte tozlar düzensiz yapıya geçmiştir. 20 saat sonunda ise eş eksenli morfolojik yapı elde edilmiştir ve sistemin kararlı hale geldiğini gözlemlenmiştir.

4.1.3. %5-10-20 TiC takviyeli tozların morfolojik analizi

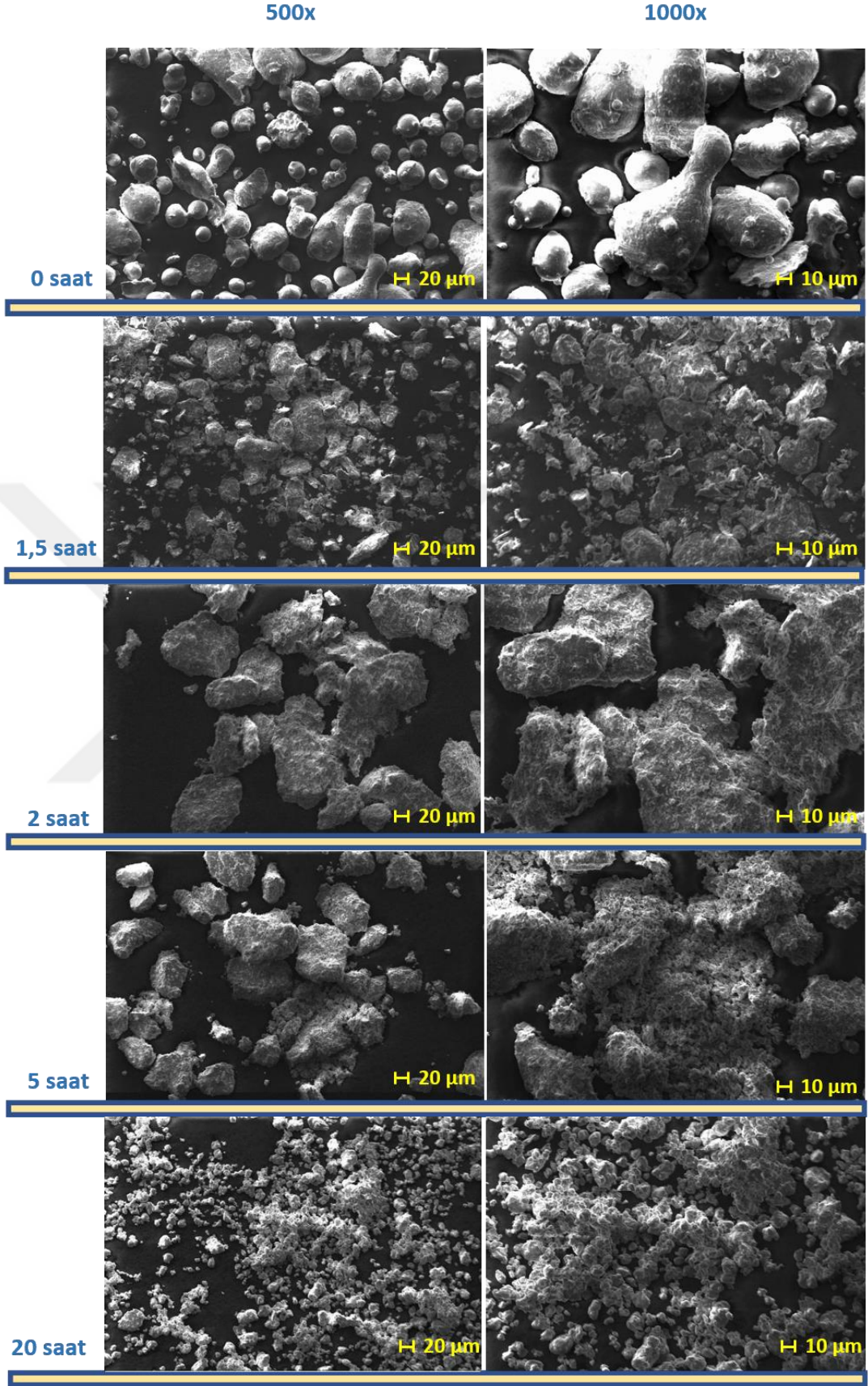
şekil 4.4, şekil 4.5 ve şekil 4.6'da görüldüğü üzere %5, %10 ve %20 TiC takviyeli AA7075 kompozit tozlarının morfolojisi 1.5 saat mekanik alaşımlama işlemi sonunda plastik deformasyonun etkisiyle, pulsu yapı adı verilen morfolojiye geçmeye başlamıştır fakat yapıda hala bir miktar küresel yapılı tozlar görülmektedir. Mekanik alaşımlama işlemi yarım saat daha devam ettirildiğinde morfoloji tamamen pulsu yapıya dönüşmüştür.

5 saat mekanik alaşımlama işlemi sonucunda elde edilen SEM görüntüleri incelendiğinde, artan TiC miktarı ile 'kesme etkisi' davranışı (şekil 4.3) artmış, meydana gelen kırılmalar ile tozlar düzensiz yapıya geçmiştir.

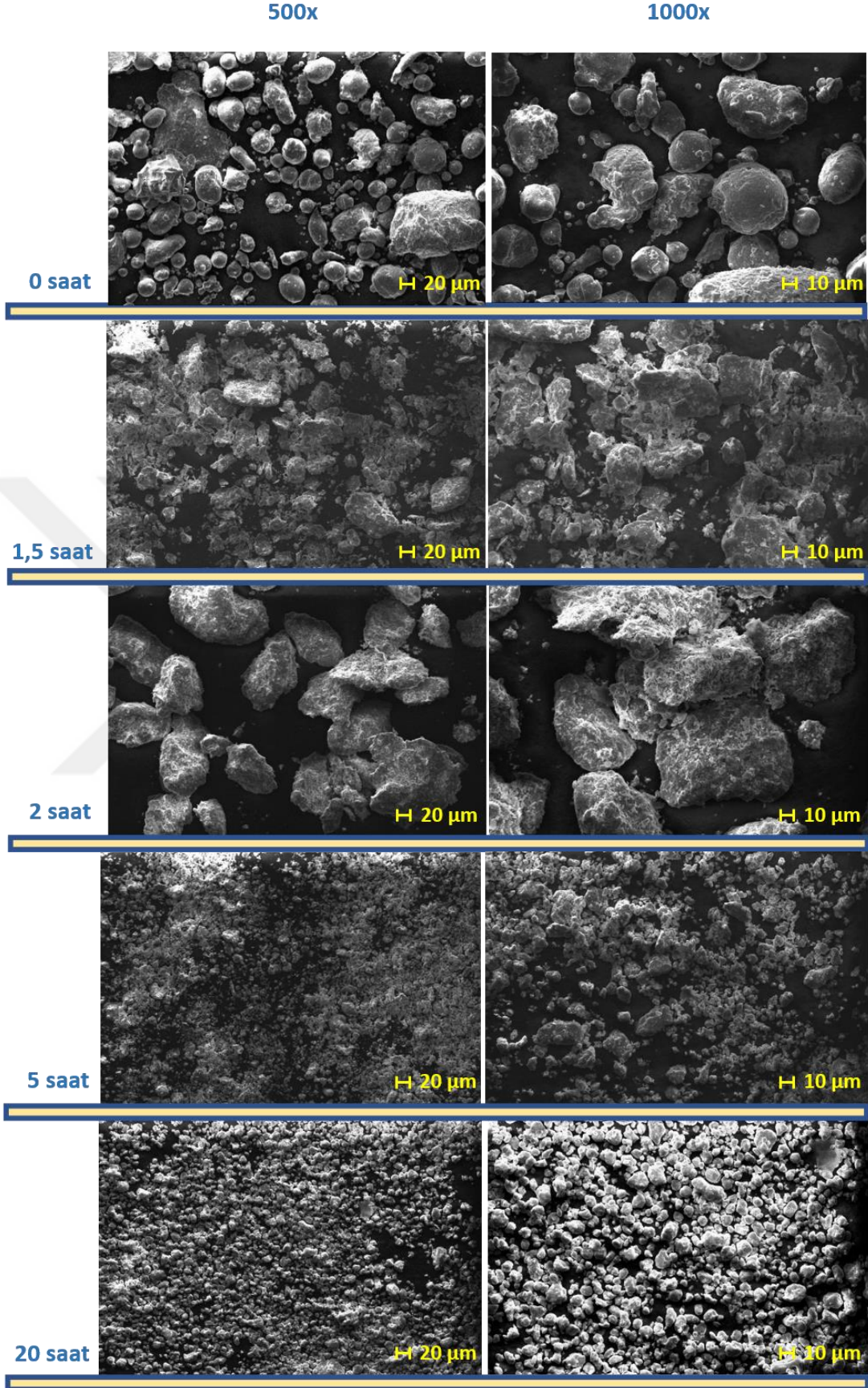


Şekil 4.3. Gevrek tozların artması ile meydana gelen ‘kesme etkisi’ davranışı

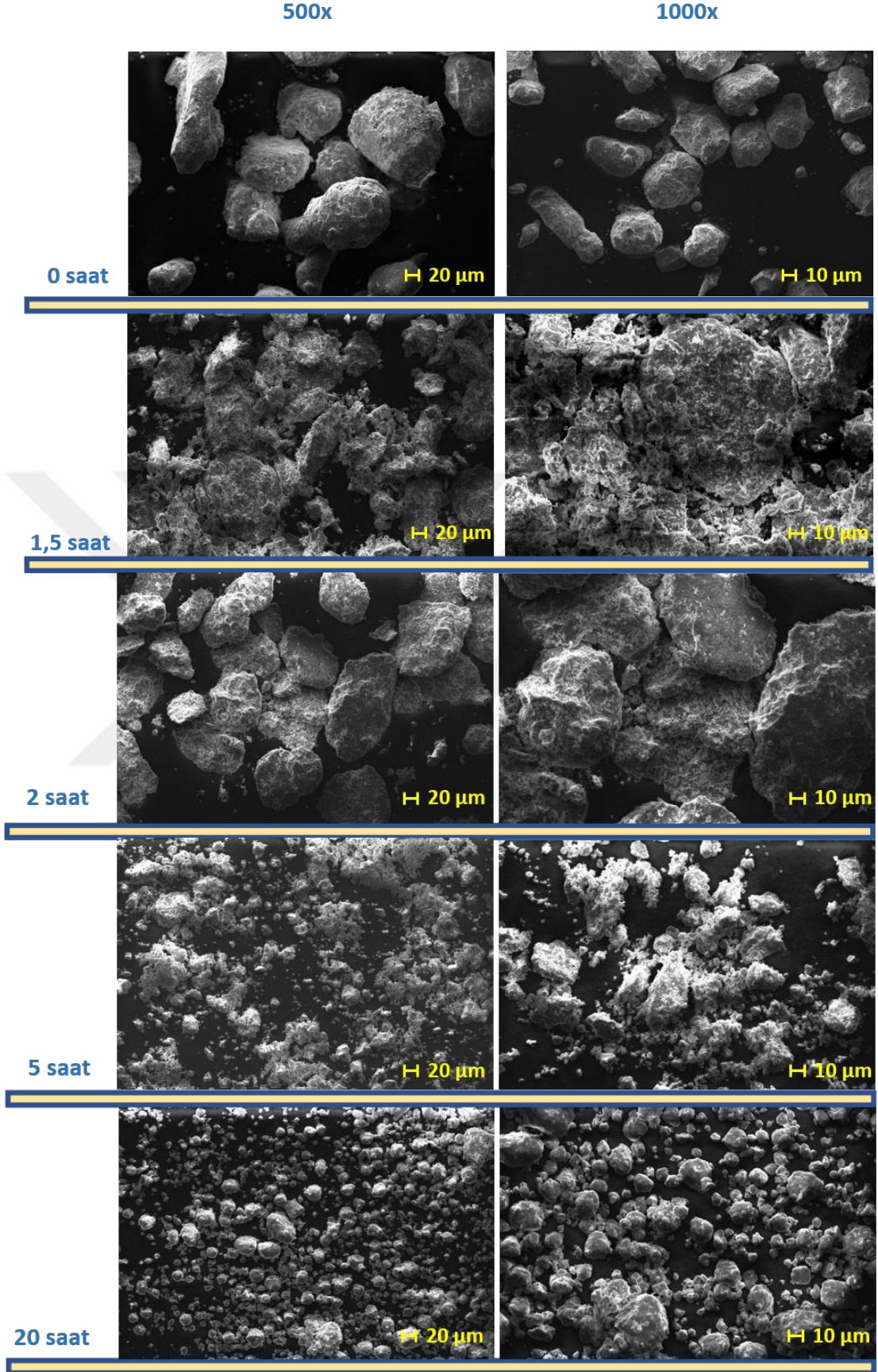
20 saat mekanik alaşımlama işlemi sonucunda elde edilen SEM görüntüleri incelendiğinde ise, toz morfolojisinin eş eksenli hale geldiği (kararlı yapı), toz boyutunun iyice azaldığı görülmüştür. Ayrıca tozlarda meydana gelen aglomerasyon artmıştır.



Şekil 4.4. Farklı sürelerde mekanik alaşımlama işlemine tabi tutulmuş AA7075-%5 TiC tozlarına ait SEM görüntüleri



Şekil 4.5. Farklı sürelerde mekanik alaşımlama işlemine tabi tutulmuş AA7075-%10 TiC tozlarına ait SEM görüntüleri



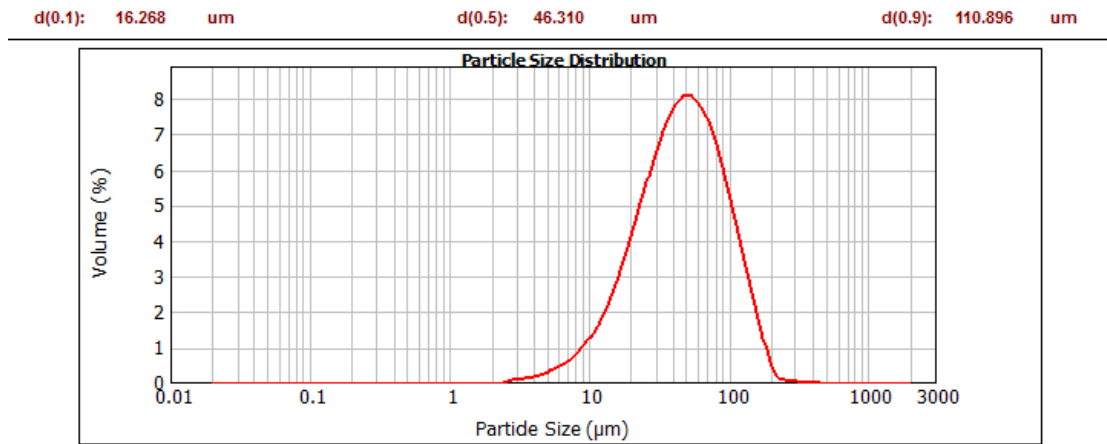
Şekil 4.6. Farklı sürelerde mekanik alaşımlama işlemine tabi tutulmuş AA7075-%20 TiC tozlarına ait SEM görüntüleri

4.1.4. Ortalama toz boyutu

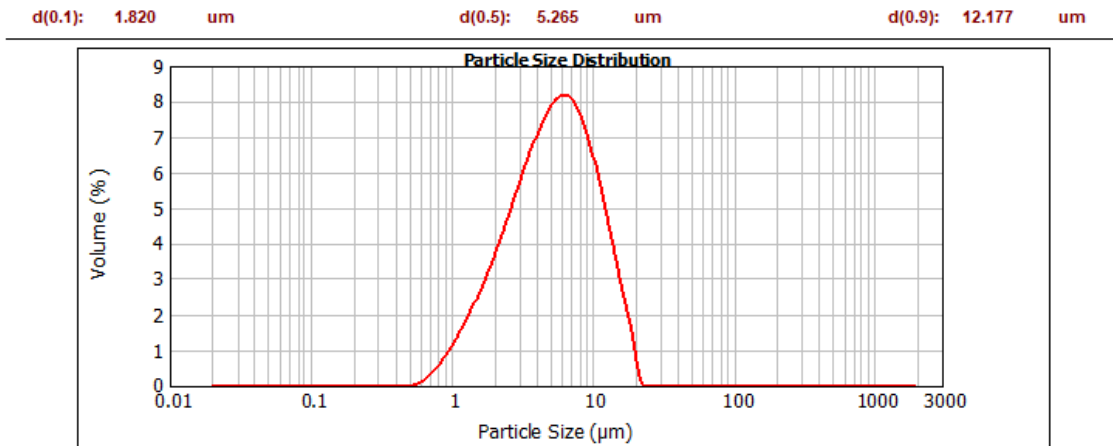
Mekanik alaşımlama işlemi sonucunda meydana gelen ortalama toz boyut dağılımları Şekil 4.9’da verilmiştir. Buna göre;

- 1.5 saatlik mekanik alaşımlama işlemi sonunda, tozlar bilye-toz ve bilye-toz-hazne duvarı arasında meydana gelen çarpışma sonucunda boyun bölgesinden koparak toz boyutunda azalmaya neden olmuştur.
- 1.5 saat ve 2 saat arasında soğuk kaynak ve oluşan pulsu yapının etkisiyle toz boyutunda bir artış olmuştur.
- 2 ila 5 saat arasında uygulanan mekanik alaşımlama işlemi sonucunda, artan bilye-toz ve bilye-toz-hazne duvarı arasında meydana gelen çarpışmaların etkisiyle toz boyutundaki küçülme artmıştır.
- 5 ila 20 saat arasında uygulanan mekanik alaşımlama işleminin sonucunda ise toz boyutundaki azalma neredeyse durmuş olup, bir denge hali gözlemlenmiştir.
- Artan takviye oranı ile kesme etkisi artmış olup, tozlardaki kırılma oranı artmış ve sistemin daha çabuk kararlı hale gelmiştir.

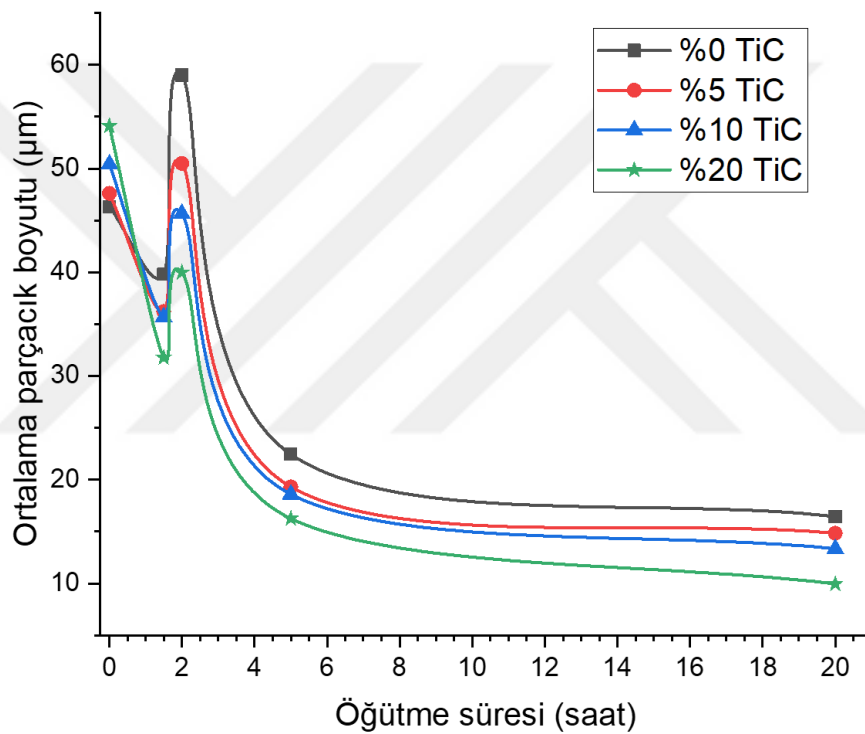
Ayrıca başlangıç tozlarına ait ortalama toz boyut dağılım grafikleri Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de gösterilmektedir.



Şekil 4.7. AA7075 matris malzemesine ait ortalama toz boyut analizi



Şekil 4.8. TiC takviye malzemesine ait ortalama toz boyut analizi



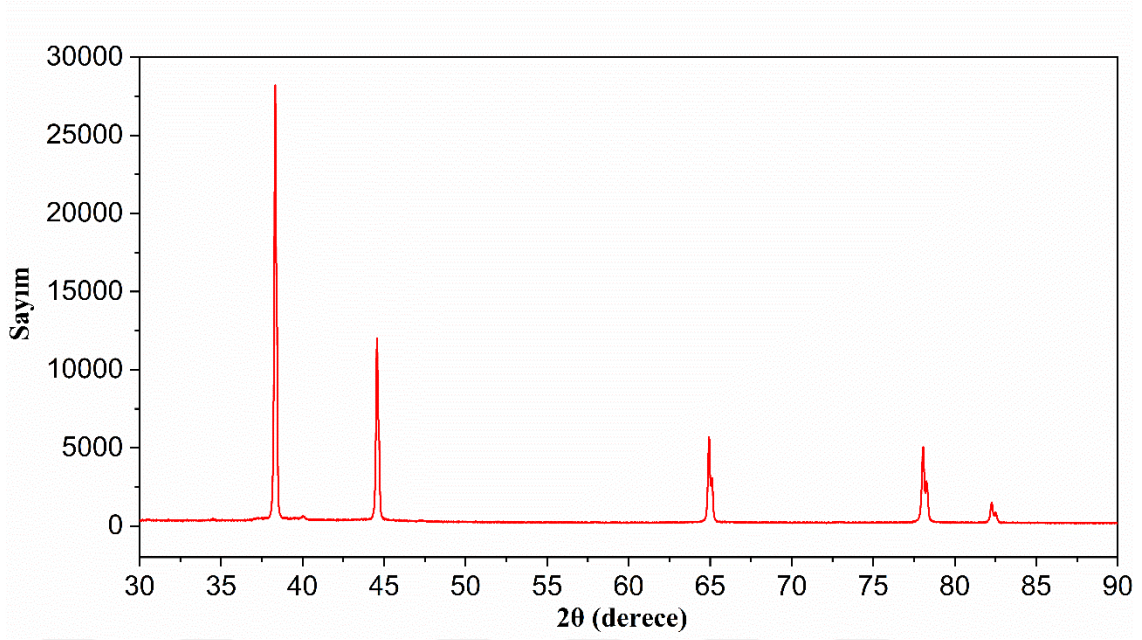
Şekil 4.9. Takviyesiz AA7075 ve TiC takviyeli kompozit tozlarının alaşımlama süresine bağlı olarak ortalama toz boyutunun değişimi

4.1.5. XRD analizi

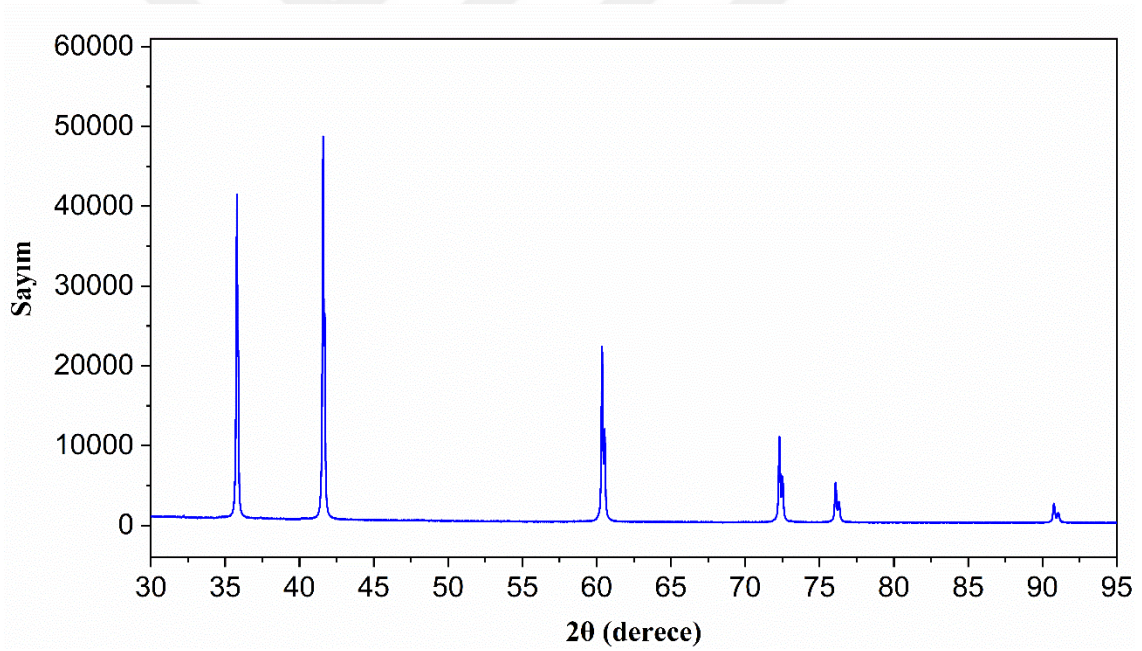
Bu kısımda takviye oranı ve öğütme süresine bağlı olarak tozların kristalografik özelliklerinin değişimi incelenmiştir. Başlangıç AA7075 ve TiC takviye tozlarına ait X-ışını kırınım deseni Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de verilmiştir.

Öğütülmüş tozların XRD analizleri incelendiğinde;

- Pik şiddetinin (pik sayımı), öğütme süresi arttıkça azalması,
- Pik genişliğinin, öğütme süresi arttıkça azalması beklenmektedir.



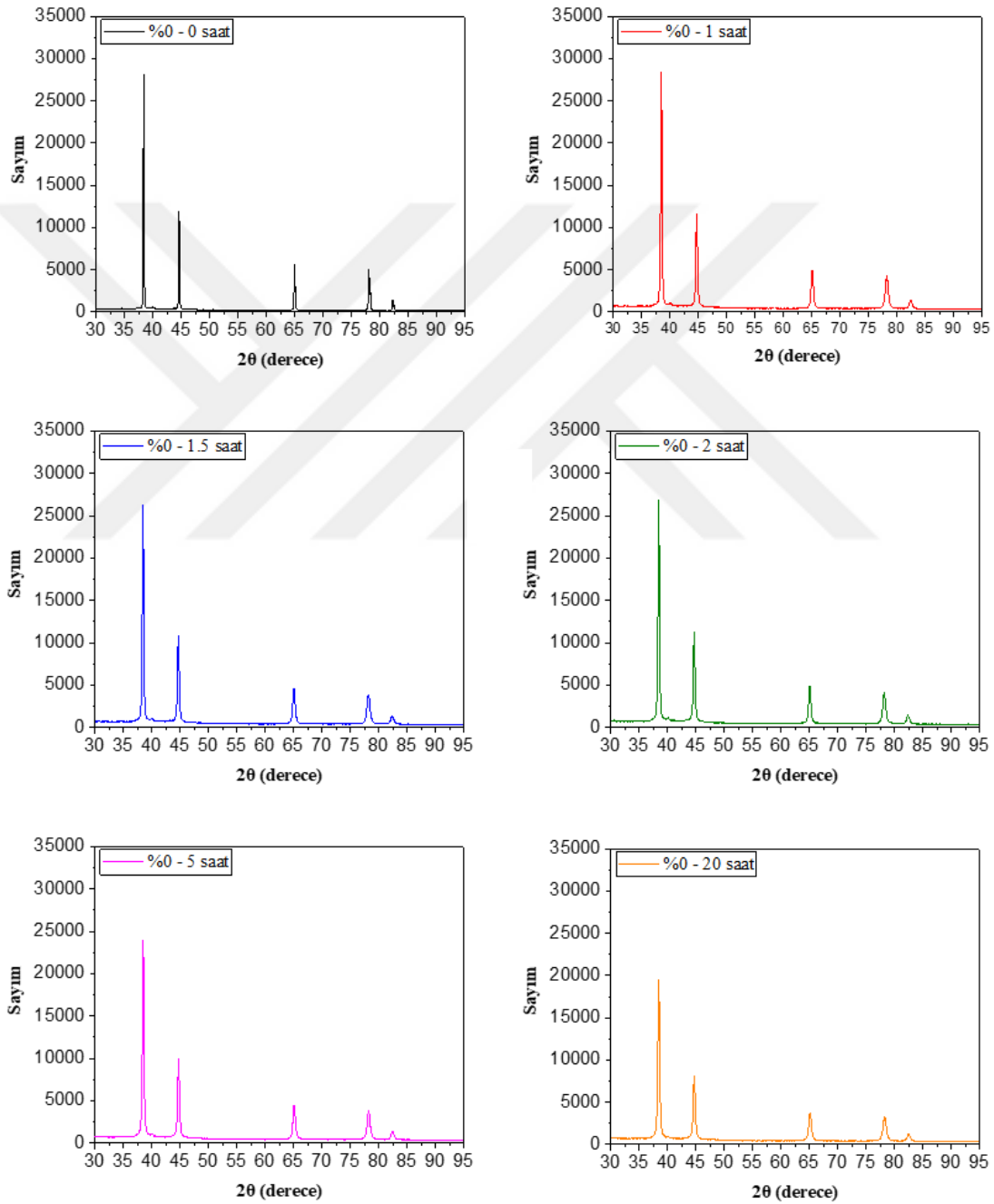
Şekil 4.10. AA7075 matris malzemesine ait X-ışını kırınım deseni



Şekil 4.11. TiC takviye malzemesine ait X-ışını kırınım deseni

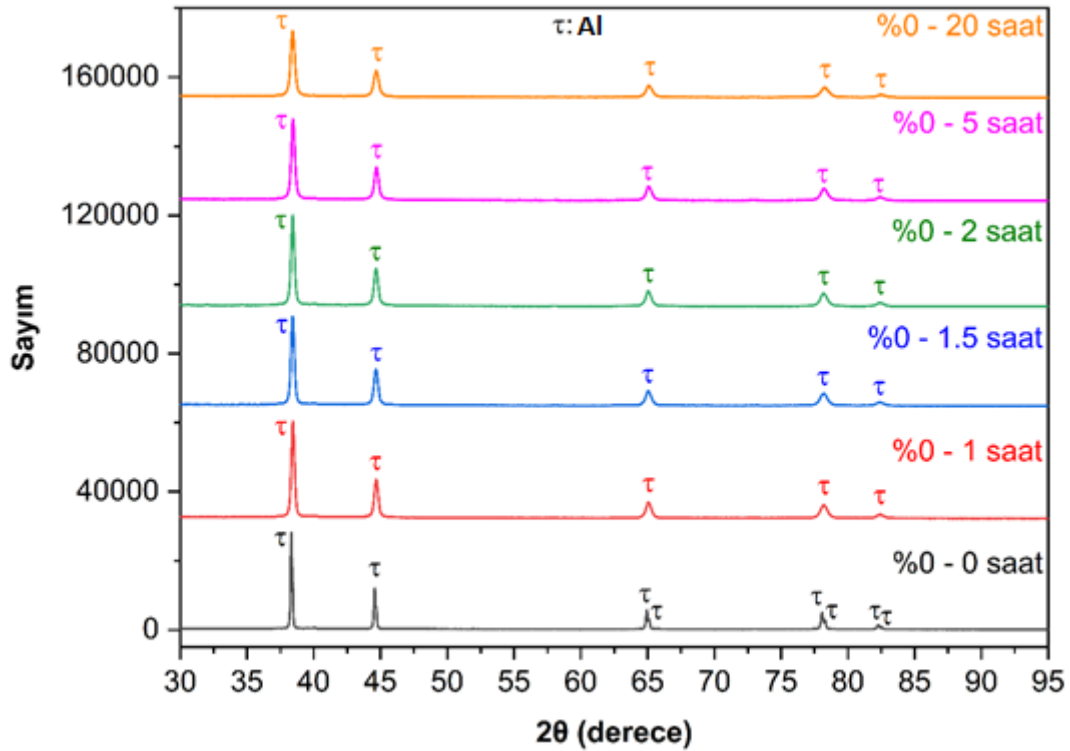
4.1.5.1. Takviyesiz tozların kristalografik özellikleri

Takviyesiz tozlara ait XRD analizlerinde, öğütme süresindeki artış ile pik sayımlarında düşüş meydana gelmiştir. Başlangıçta (0 saat) yüksek olan sayım değeri (28000) 2 saatlik öğütme süresine kadar bir miktar azalmış, 20 saatlik öğütme süresi sonunda ise sert bir düşüş (19000) göstermiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Takviyesiz tozlara ait X-ışını kırınım desenleri

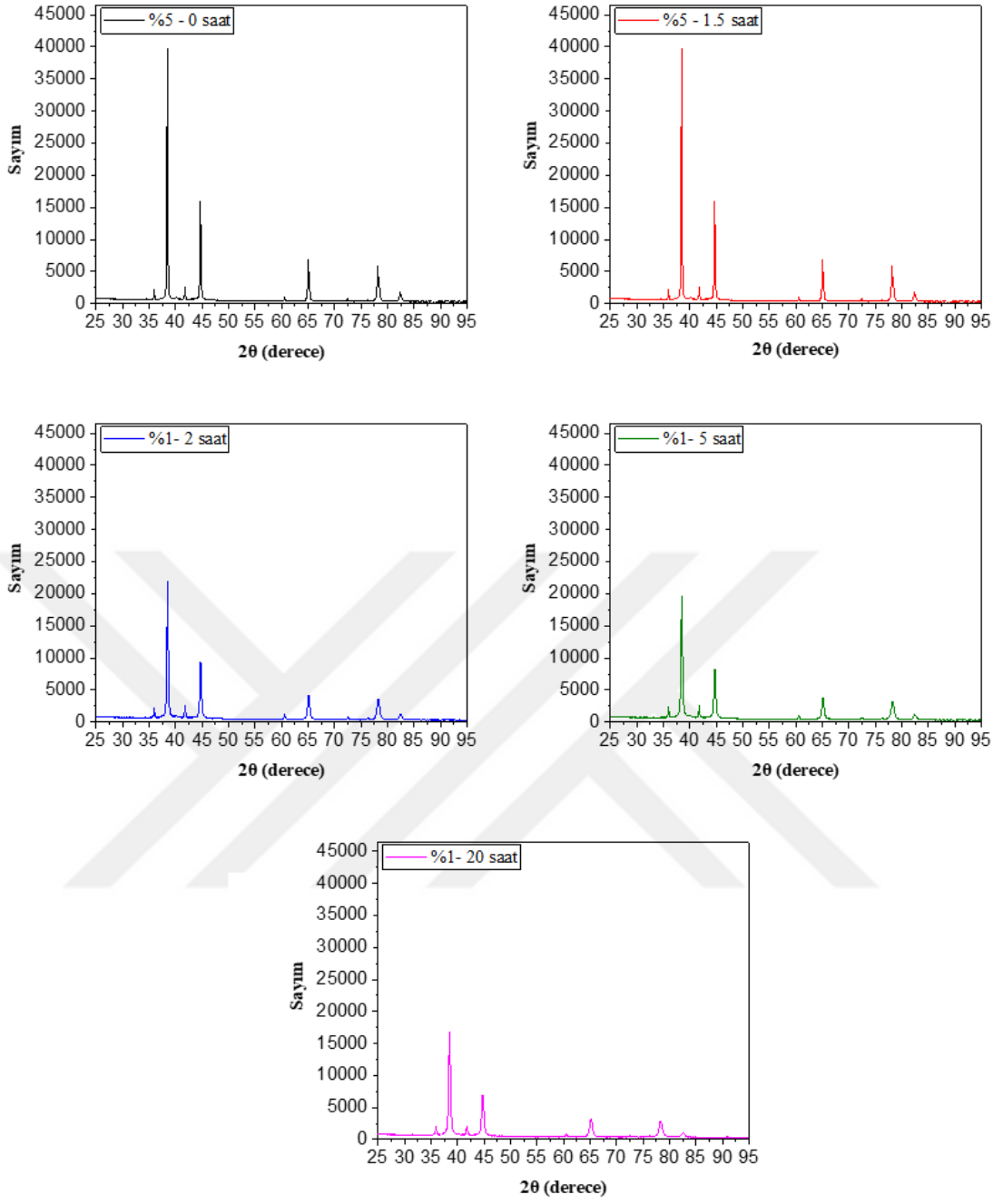
Şekil 4.13 incelendiğinde, öğütme süresinin artması ile meydana gelen pik şiddetinin düşmesinin yanı sıra, pik genişliği değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca öğütme işlemi sırasında yeni faz oluşumu gözlemlenmemiştir.



Şekil 4.13. Öğütme süresinin değişimi ile takviyesiz tozlarda meydana gelen değişimleri gösteren X-ışını kırınımı desenleri

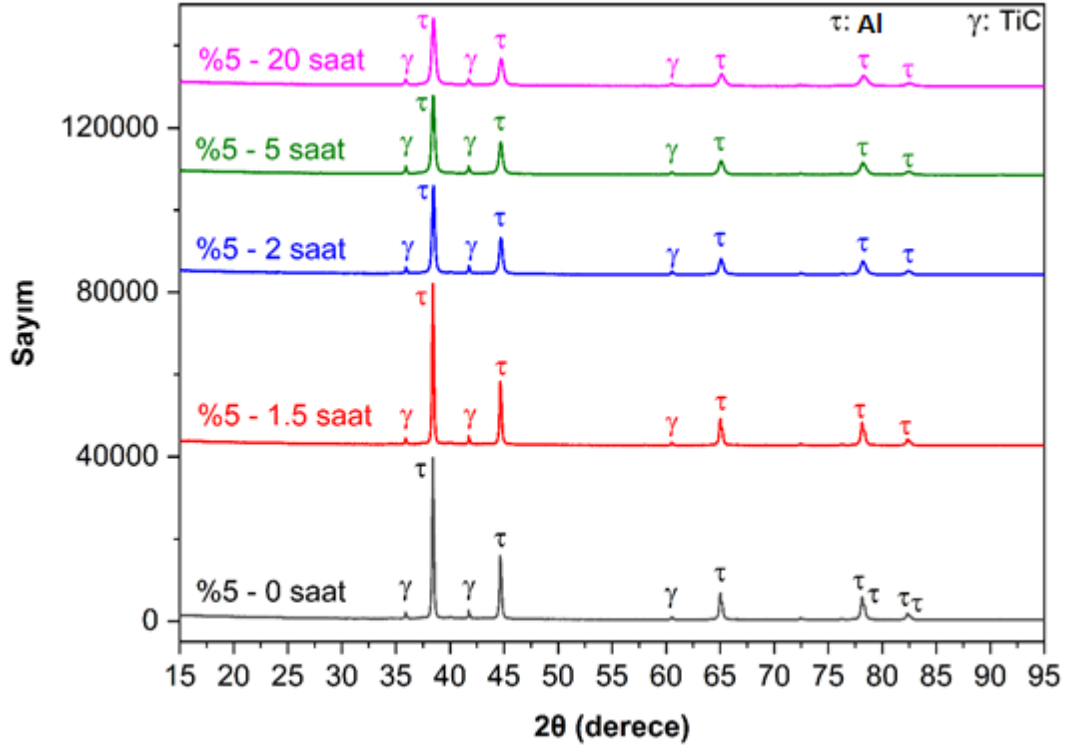
4.1.5.2. %5 TiC takviyeli tozların kristalografik özellikleri

%5 TiC takviyeli tozlara ait XRD analizlerinde, takviyesiz tozlarda olduğu gibi öğütme süresinin artışı ile pik sayımları düşmüş ve pik genişlikleri artmıştır (Şekil 4.14). XRD analizleri takviyesiz tozları ile kıyaslandığında, başlangıca göre (40000), 2 saatlik öğütme sonrasında pik sayımlarında sert bir düşüş gözlemlenmiştir (22500).



Şekil 4.14. %5 TiC takviyeli tozlara ait X-ışını kırınım desenleri

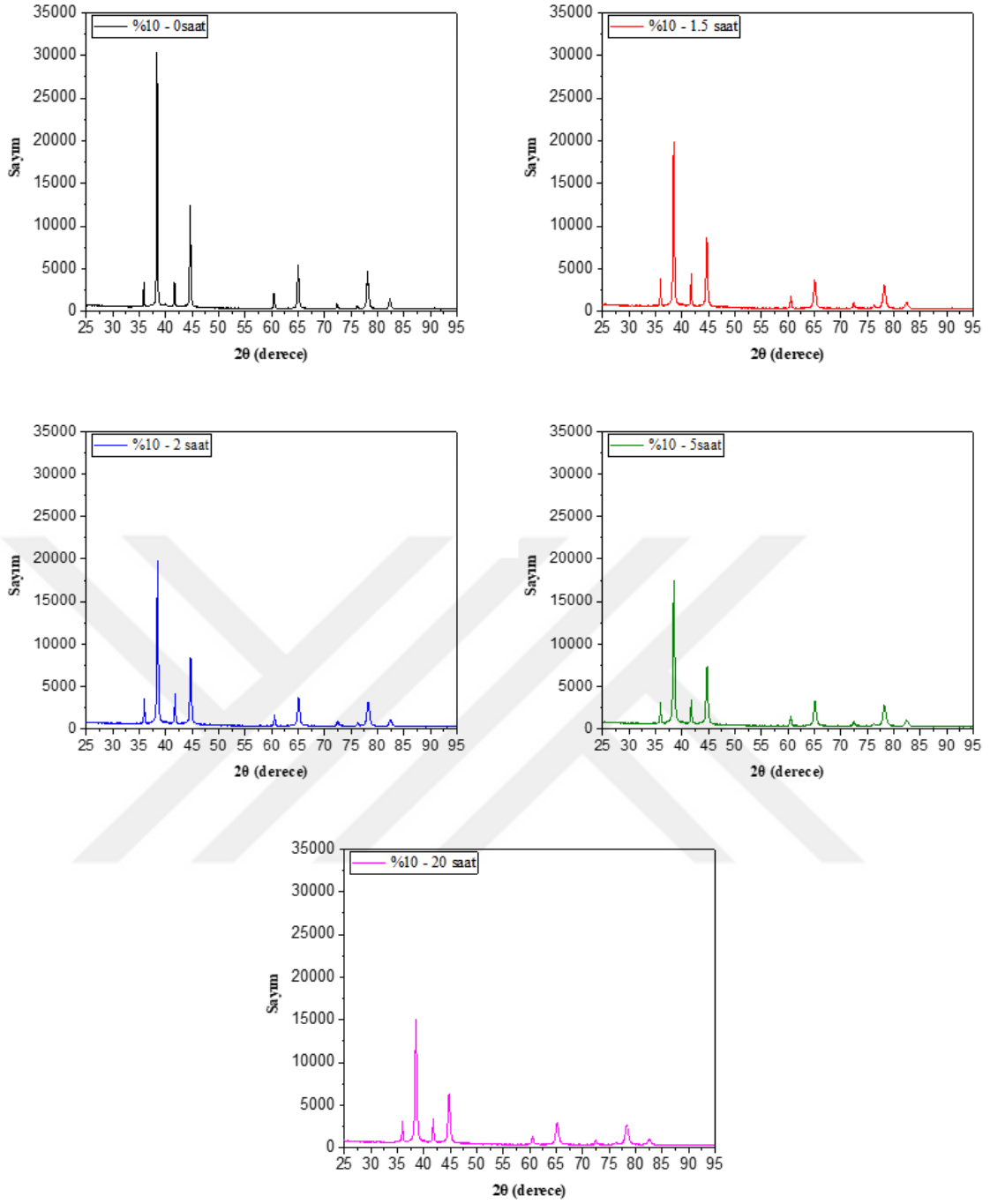
Şekil 4.15 incelendiğinde, %5 TiC takviyeli tozlar ile takviyesiz tozların XRD analizleri benzer olup, öğütme süresinin artması ile pik şiddeti düşmüş ve pik genişliği artmıştır. Ayrıca öğütme işlemi sırasında yeni faz oluşumu gözlemlenmemiştir.



Şekil 4.15. Öğütme süresinin değişimi ile %5 TiC takviyeli tozlarda meydana gelen değişimleri gösteren X-ışını kırınımı desenleri

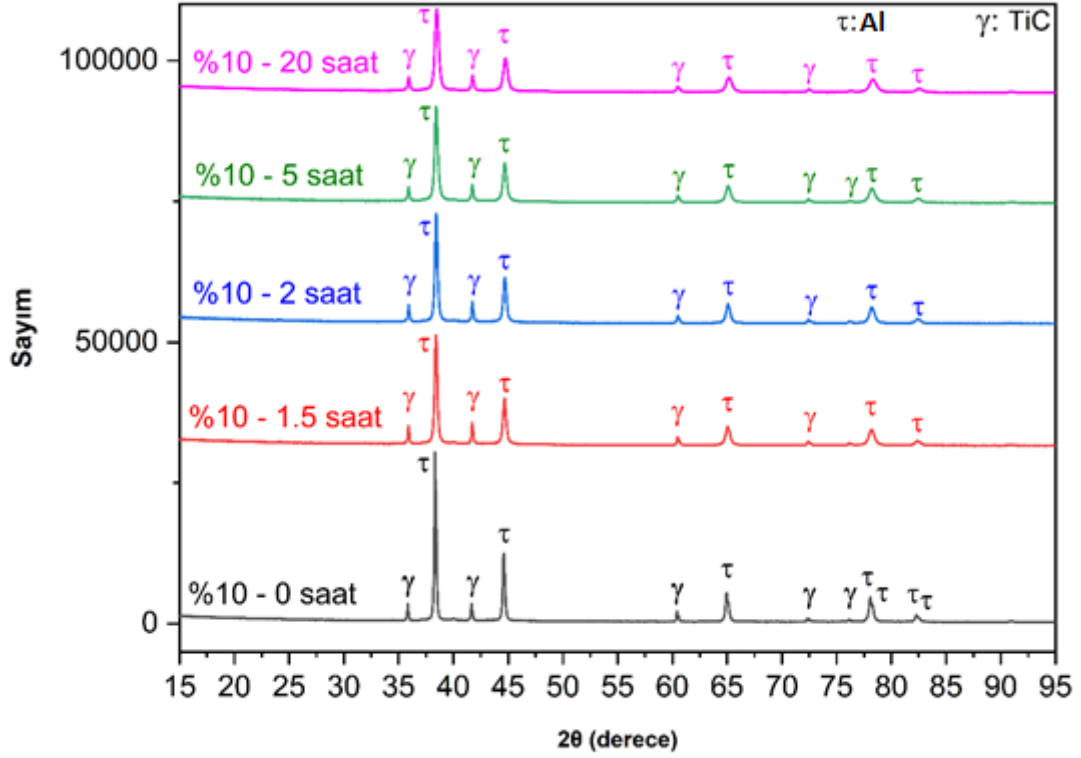
4.1.5.3. %10 TiC takviyeli tozların kristalografik özellikleri

%10 TiC takviyeli tozlara ait XRD analizlerinde, %5 TiC takviyeli tozlarda olduğu gibi öğütme süresinin artışı ile pik sayımları düşmüş ve pik genişlikleri artmıştır (Şekil 4.16). XRD analizleri %5 TiC takviyeli tozlar ile kıyaslandığında, başlangıca göre (30000), 1.5 saatlik öğütme sonrasında pik sayımlarında sert bir düşüş gözlemlenmiştir (20000).



Şekil 4.16. %10 TiC takviyeli tozlara ait X-ışını kırınım desenleri

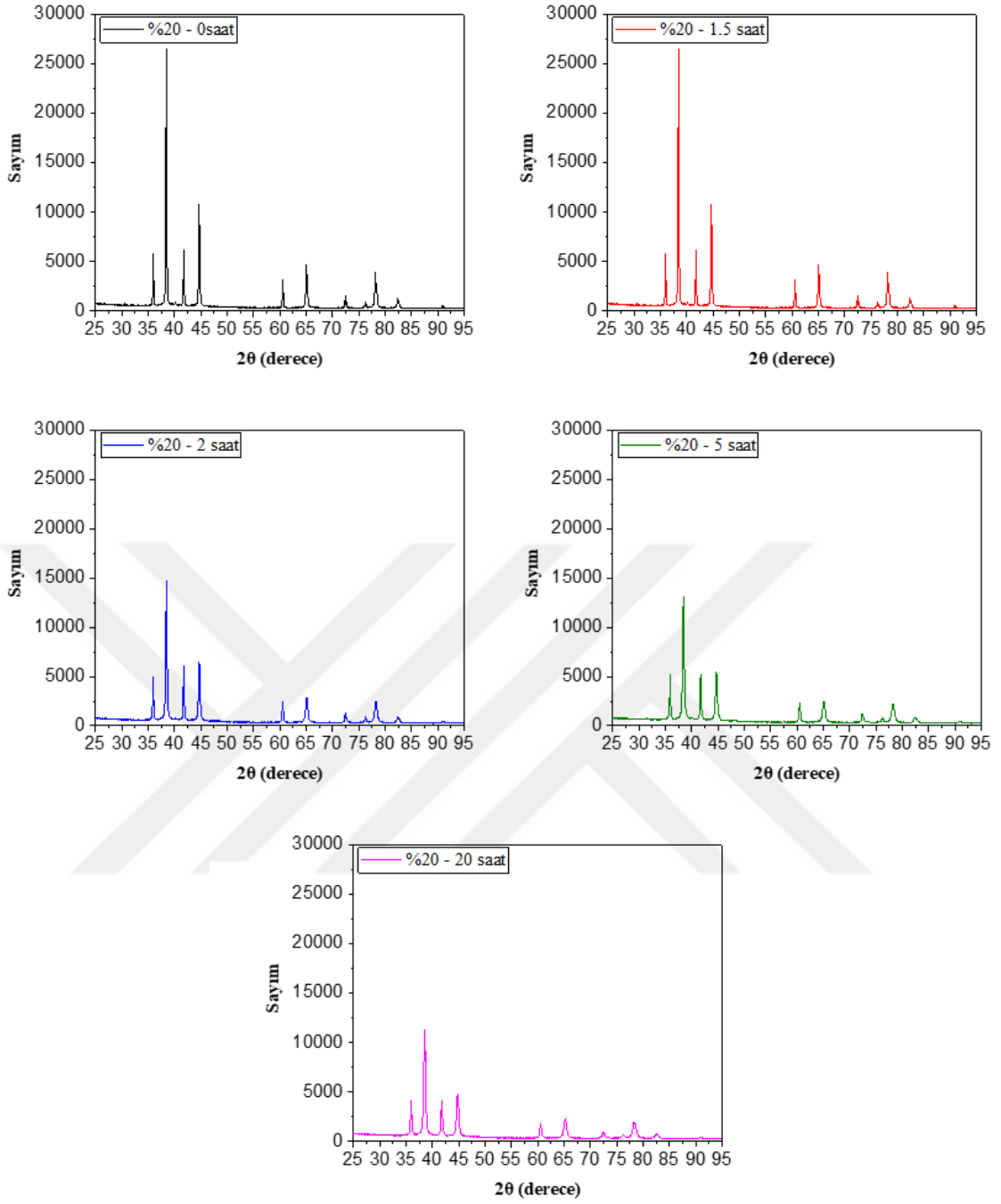
Şekil 4.17 incelendiğinde, %10 TiC takviyeli tozlar, %5 TiC takviyeli tozla ile benzer davranışlar göstermiştir.



Şekil 4.17. Öğütme süresinin değişimi ile %10 TiC takviyeli tozlarda meydana gelen değişimleri gösteren X-ışını kırınımı desenleri

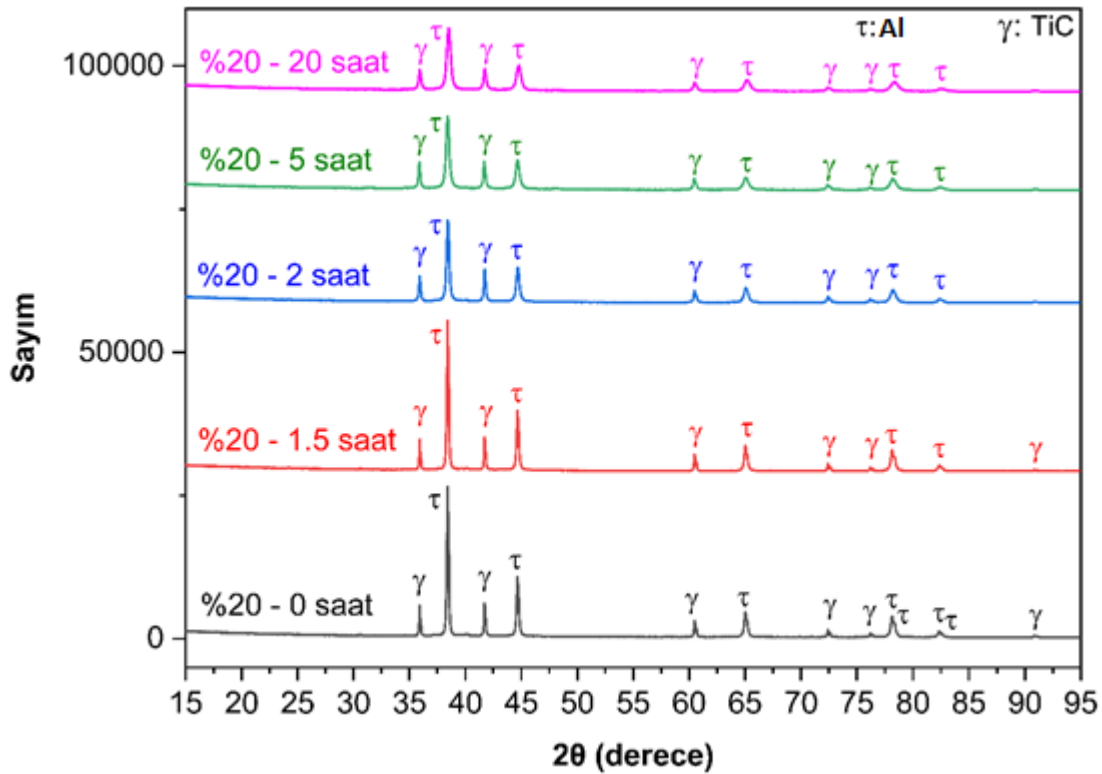
4.1.5.4. %20 TiC takviyeli tozların kristalografik özellikleri

%20 TiC takviyeli tozlara ait XRD analizlerinde, %5 ve %10 TiC takviyeli tozlarda olduğu gibi öğütme süresinin artışı ile pik sayımları düşmüş ve pik genişlikleri artmıştır (Şekil 4.18). XRD analizleri %5 TiC takviyeli tozlar ile kıyaslandığında, başlangıca göre (27500), 2 saatlik öğütme sonrasında pik sayımlarında sert bir düşüş gözlemlenmiştir (15000).



Şekil 4.18. %20 TiC takviyeli tozlara ait X-ışını kırınım desenleri

Şekil 4.19 incelendiğinde, %20 TiC takviyeli tozlar, %5 ve %10 TiC takviyeli tozla ile benzer davranışlar göstermiştir.



Şekil 4.19. Öğütme süresinin değişimi ile %20 TiC takviyeli tozlarda meydana gelen değişimleri gösteren X-ışını kırınımı desenleri

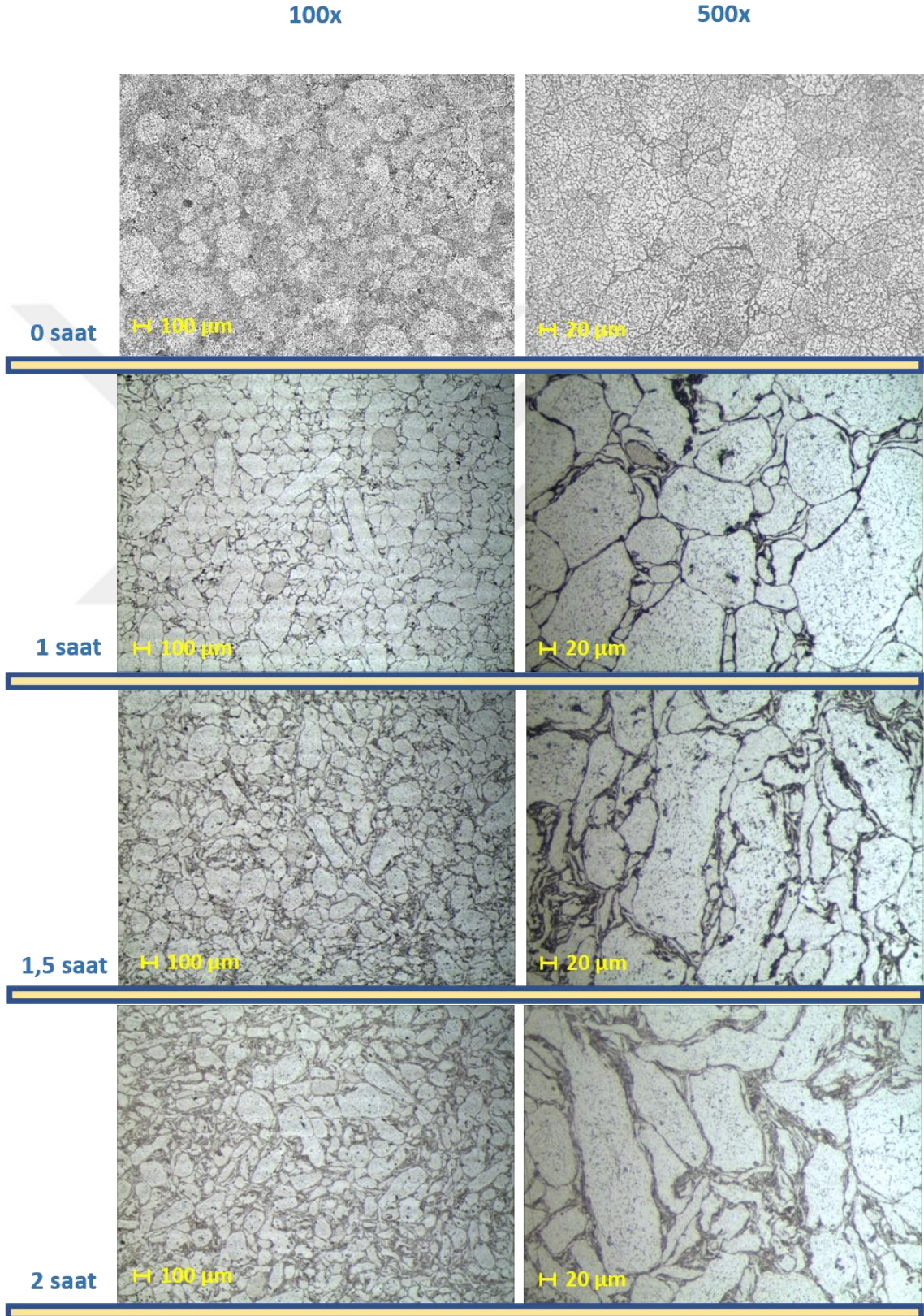
4.2. Üretilen Malzemelerin Karakterizasyonu

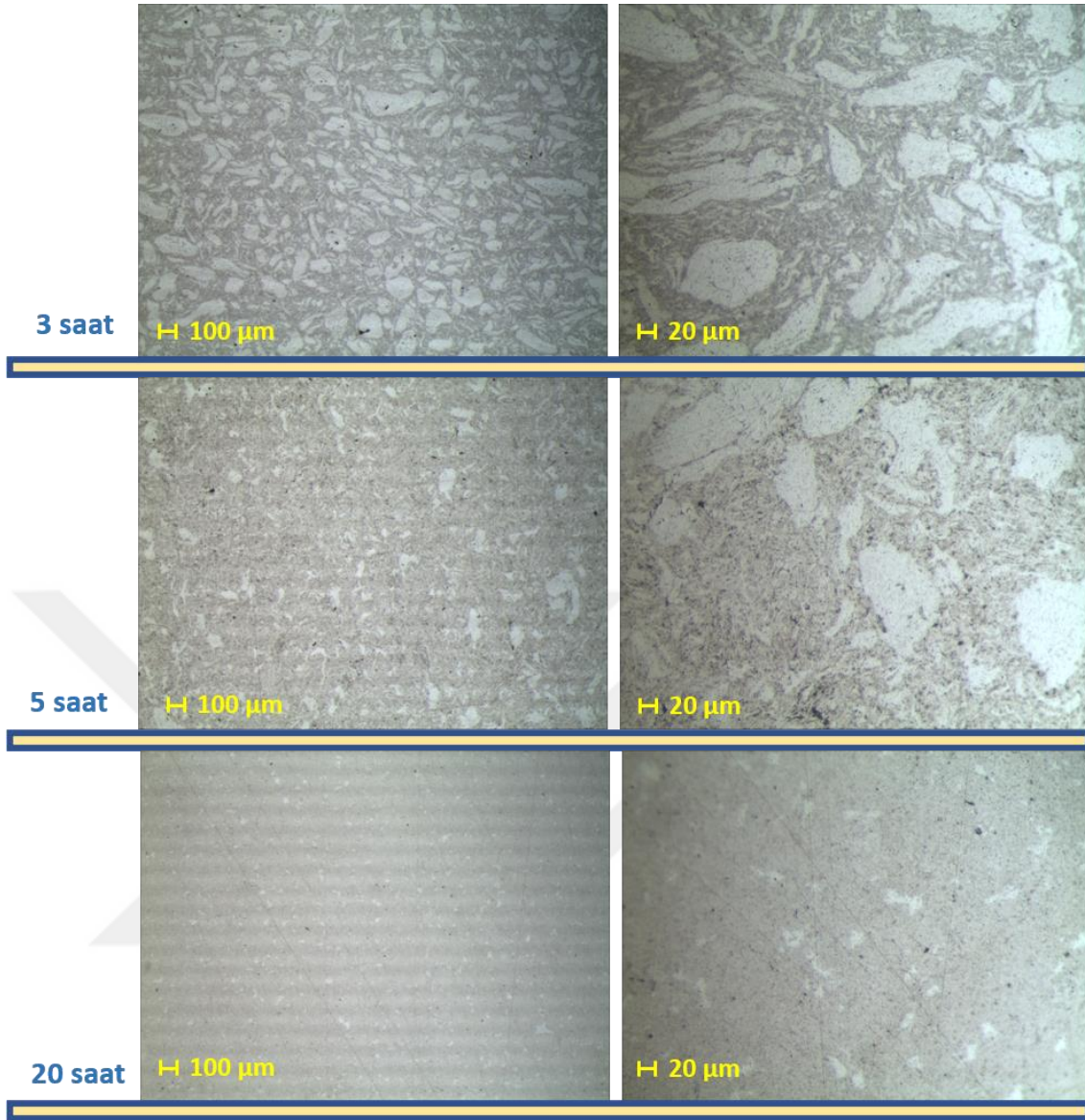
4.2.1. Takviyesiz AA7075'in mikroyapısında meydana gelen değişimler

Şekil 4.20'deki takviyesiz AA7075 alaşımına ait optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde;

- 1 saatlik öğütme sonunda küresel yapılı tane morfolojisinin, pulsu yapılı tane morfolojisine dönüşmeye başladığı görülmektedir. Aynı zamanda mikroyapı içerisinde küresel yapılı tanelerde bulunmaktadır.
- 1.5 saatlik öğütme sonunda mikroyapıda az miktarda küresel yapılı taneler görülmektedir. Tane boyutunda bir azalma gözlemlenmektedir.
- Öğütme süresi 2 saate çıkarıldığında mikroyapıdaki küresel yapılı morfolojinin neredeyse tamamı pulsu yapılı morfolojiye dönüşmüştür. Ayrıca tane boyutunda gözle görülür bir büyüme vardır.

- Öğütme işleminin devam ettirilmesi ile (3 ila 20 saat) pulsu yapılı tanelerin artan deformasyon yoğunluğu ve gevreklik sebebiyle kırılmaya başladığı ve tane boyutunun giderek küçüldüğü görülmektedir.





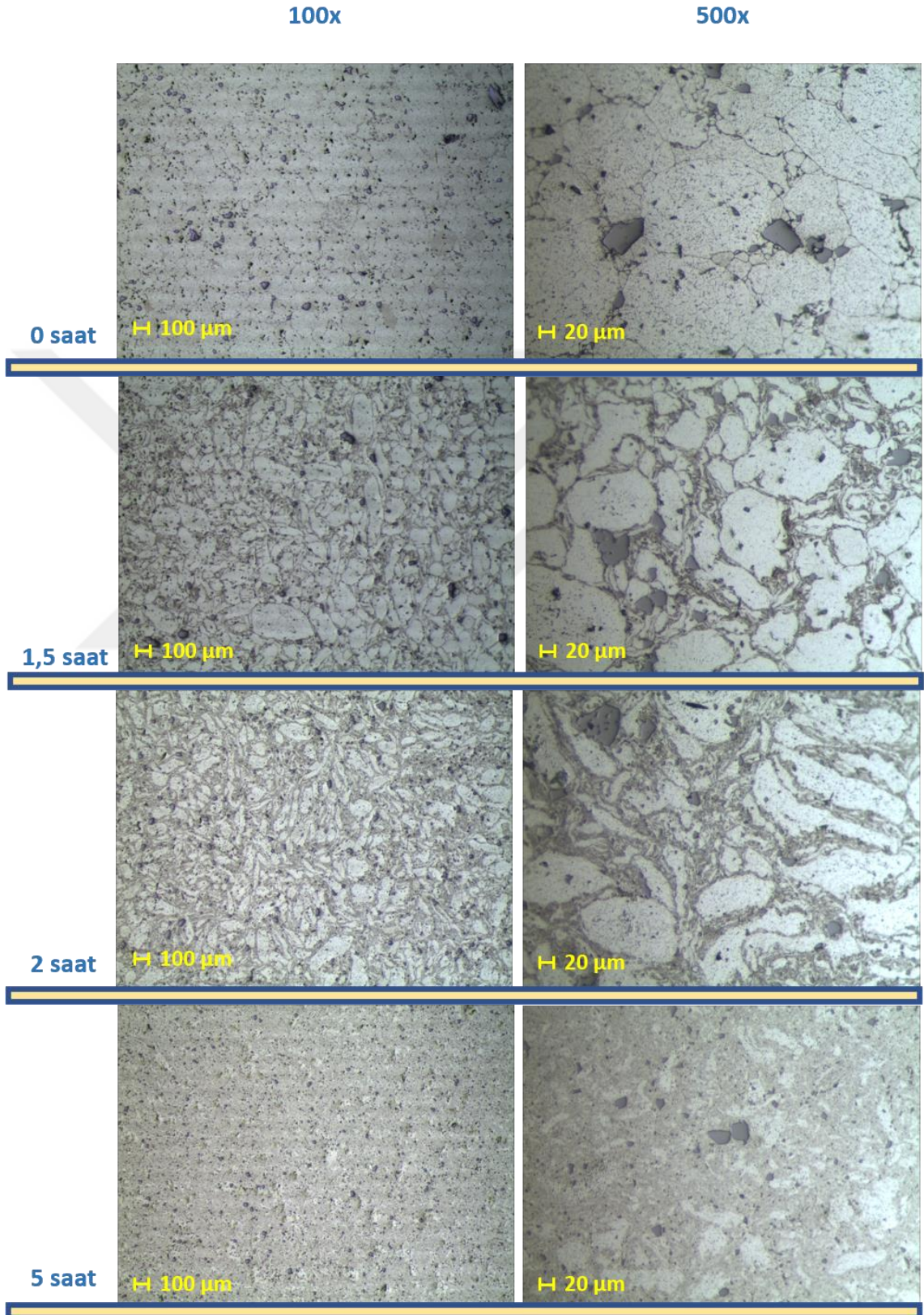
Şekil 4.20. Farklı sürelerde mekanik alaşımlama işlemine tabi tutulmuş takviyesiz AA7075 malzemelerine ait optik mikroskop görüntüleri

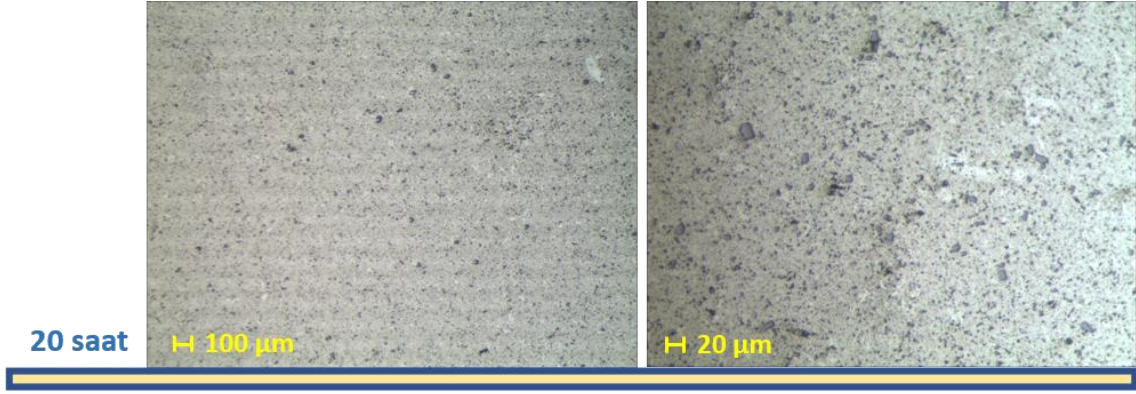
4.2.2 %5 TiC takviyeli kompozit mikroyapısında meydana gelen değişimler

Şekil 4.21'deki AA7075-%5 TiC kompozitine ait optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde;

- Mekanik alaşımlama işlemi uygulanmamış (0 saat) kompozitte, takviye malzemesi olarak kullanılan TiC'in aglomere olduğu görülmektedir.
- 1.5 saatlik mekanik alaşımlama işlemi sonucunda TiC'in homojen olarak dağılmaya başladığı görülmektedir.
- 2 saatlik mekanik alaşımlama sonucunda TiC homojen olarak dağılmış olup, istenilen pulsu yapı elde edilmiştir.

- Artan öğütme süresi ile pulsu yapılı taneler, artan deformasyon yoğunluğu ve gevreklik sebebiyle kırılmaya başlamış ve tane boyutunun giderek küçülmüştür.





Şekil 4.21. Farklı sürelerde mekanik alaşımlama işlemine tabi tutulmuş AA7075-%5 TiC kompozit malzemelere ait optik mikroskop görüntüleri

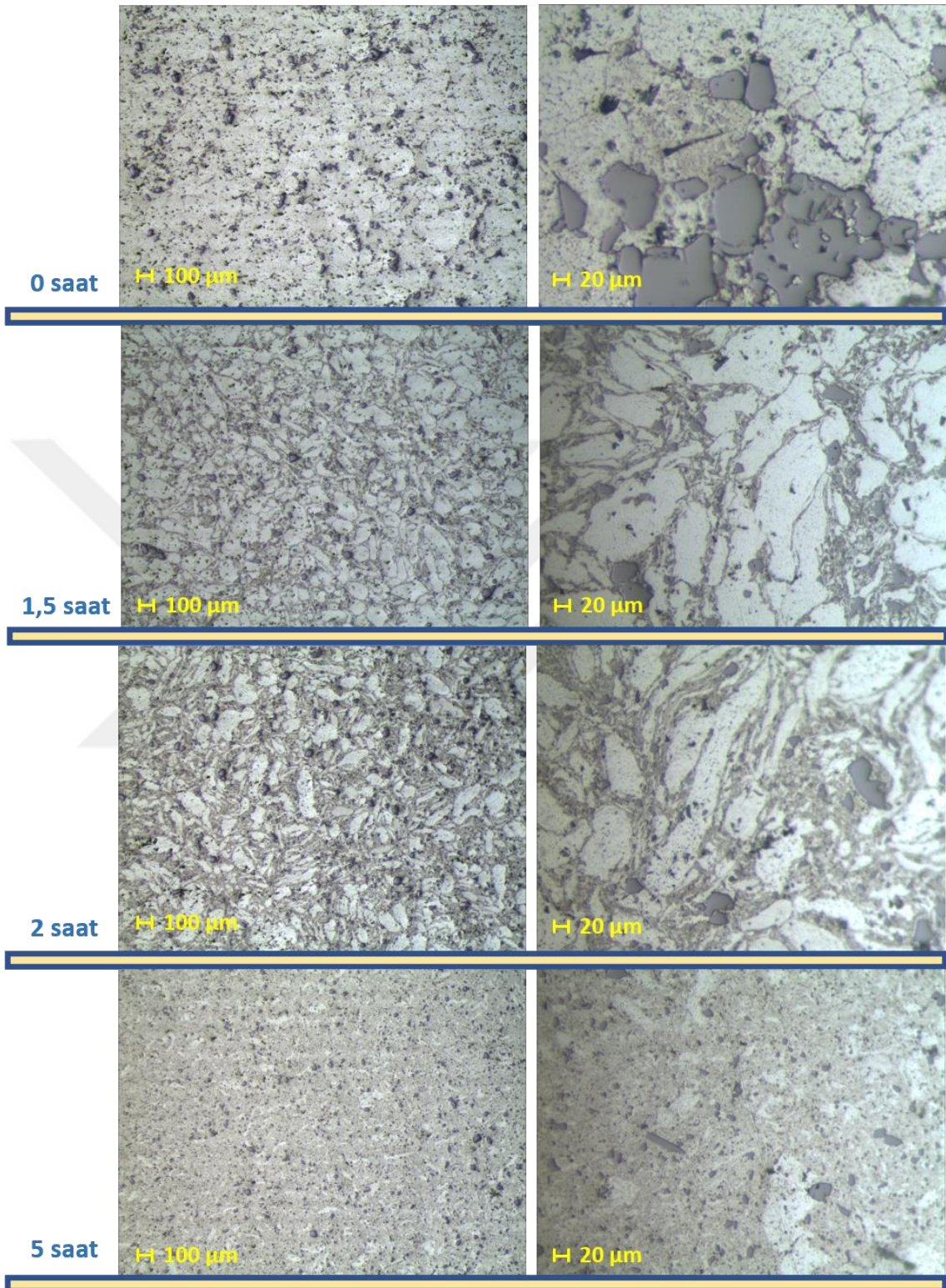
4.2.3. %10 TiC takviyeli kompozit mikroyapısında meydana gelen değişimler

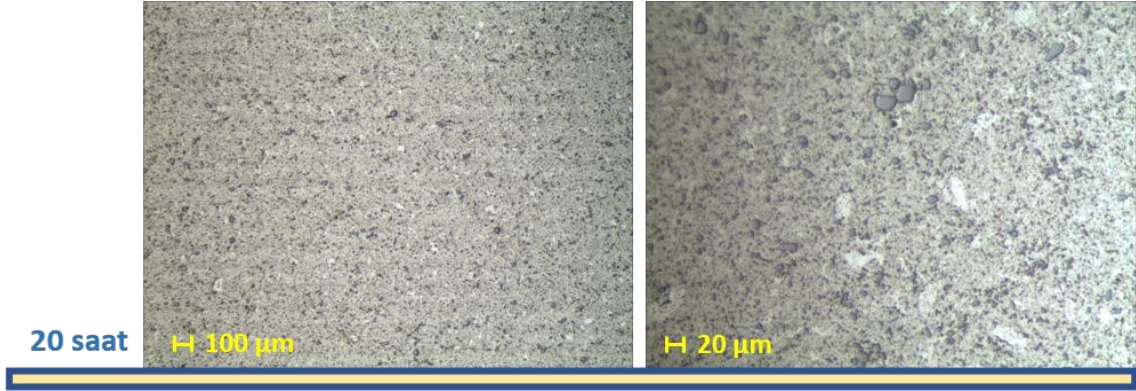
Şekil 4.22'deki AA7075-%10 TiC kompozitine ait optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde;

- Mekanik alaşımlama işlemi uygulanmamış (0 saat) kompozitte, takviye malzemesi olarak %5 TiC kullanılan kompozite göre aglomere olan TiC oranı daha fazladır
- 1.5 saatlik mekanik alaşımlama işlemi sonucunda aglomerasyon azalmıştır. Ayrıca artan TiC miktarı, pulsu yapı oluşumunu hızlandırmıştır.
- 2 saatlik mekanik alaşımlama sonucunda TiC'in homojen olarak dağılmış olup, istenilen pulsu yapı elde edilmiştir.
- Artan öğütme süresi ile pulsu yapı taneler, artan deformasyon yoğunluğu ve gevreklik ile kırılmaya başlamış ve tane boyutunun giderek küçülmüştür. Ayrıca TiC tekrar aglomere olmaya başlamıştır.

100x

500x





Şekil 4.22. Farklı sürelerde mekanik alaşımlama işlemine tabi tutulmuş AA7075-%10 TiC kompozit malzemelere ait optik mikroskop görüntüleri

4.2.4. %20 TiC takviyeli kompozit mikroyapısında meydana gelen değişimler

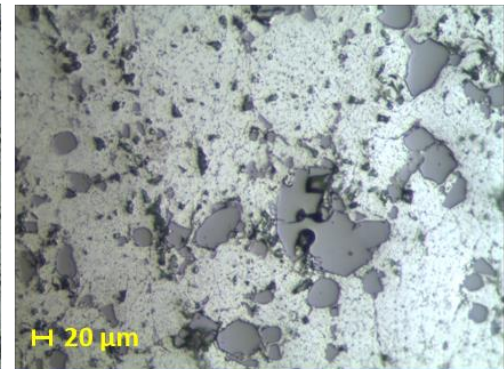
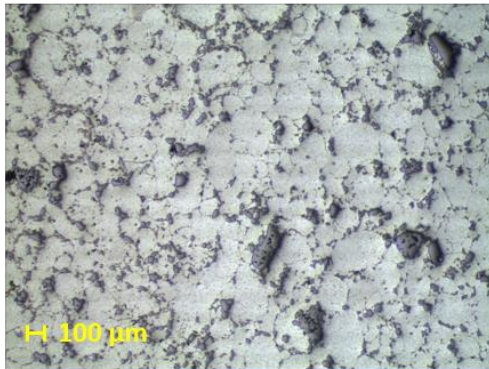
Şekil 4.23'teki AA7075-%20 TiC kompozitine ait optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde;

- Mekanik alaşımlama işlemi uygulanmamış (0 saat) kompozitte, takviye malzemesi olarak %5 ve %10 TiC kullanılan kompozite göre aglomere olan TiC oranı daha fazladır
- 1.5 saatlik mekanik alaşımlama işlemi sonucunda aglomerasyon azalmıştır.
- 2 saatlik mekanik alaşımlama sonucunda TiC takviyesi homojen olarak dağılmış olup, istenilen pulsu yapı elde edilmiştir.
- Artan öğütme süresi ile pulsu yapılı taneler, artan deformasyon yoğunluğu ve gevreklik ile kırılmaya başlamış ve tane boyutunun giderek küçülmüştür. Ayrıca aglomerasyon artmıştır.

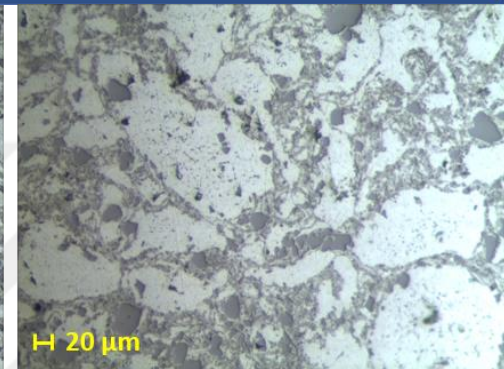
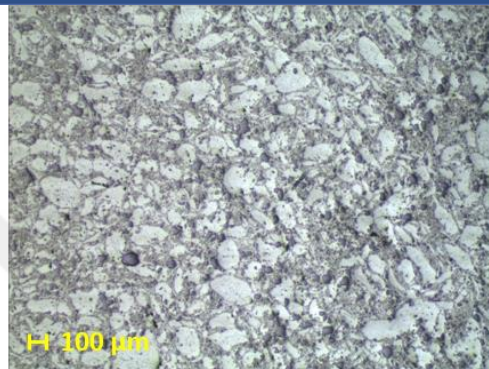
100x

500x

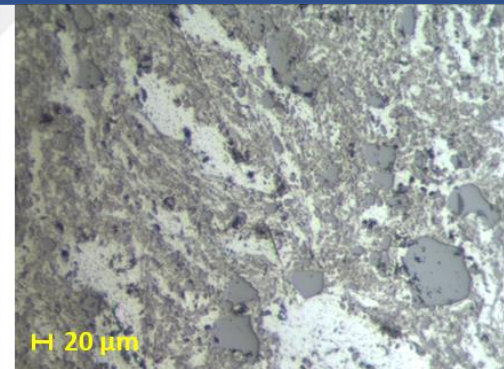
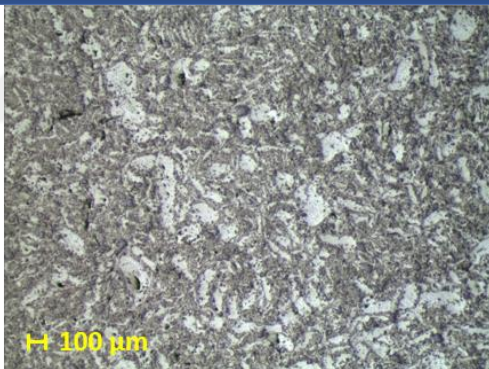
0 saat



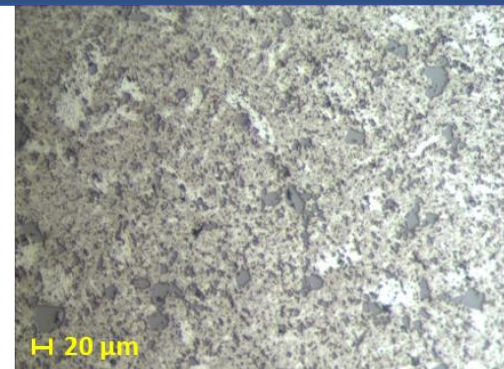
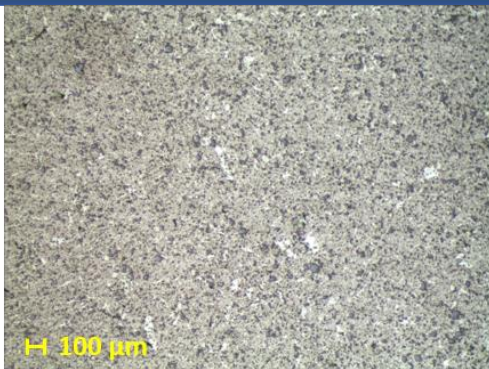
1,5 saat

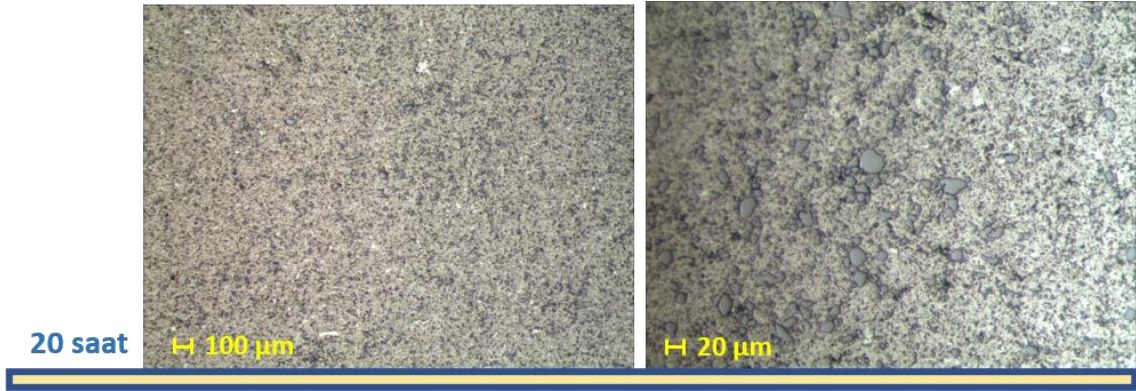


2 saat



5 saat





Şekil 4.23. Farklı sürelerde mekanik alaşımlama işlemine tabi tutulmuş AA7075-%20 TiC kompozit malzemelere ait optik mikroskop görüntüleri

4.3. Üretilen Kompozit Numunelerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

4.3.1. Takviyesiz AA7075 ve AA7075-TiC kompozitlerin yoğunluk değerleri

Toz metalurjisinde dikkat edilmesi gereken en önemli özelliklerden biriside üretilen malzemelerin yoğunluğudur. Yoğunluk, malzemenin mekanik özelliklerini direkt olarak etkilemektedir.

Preslemenin, kalıp içerisindeki tozlar üzerinde çeşitli etkileri vardır. Bunlar;

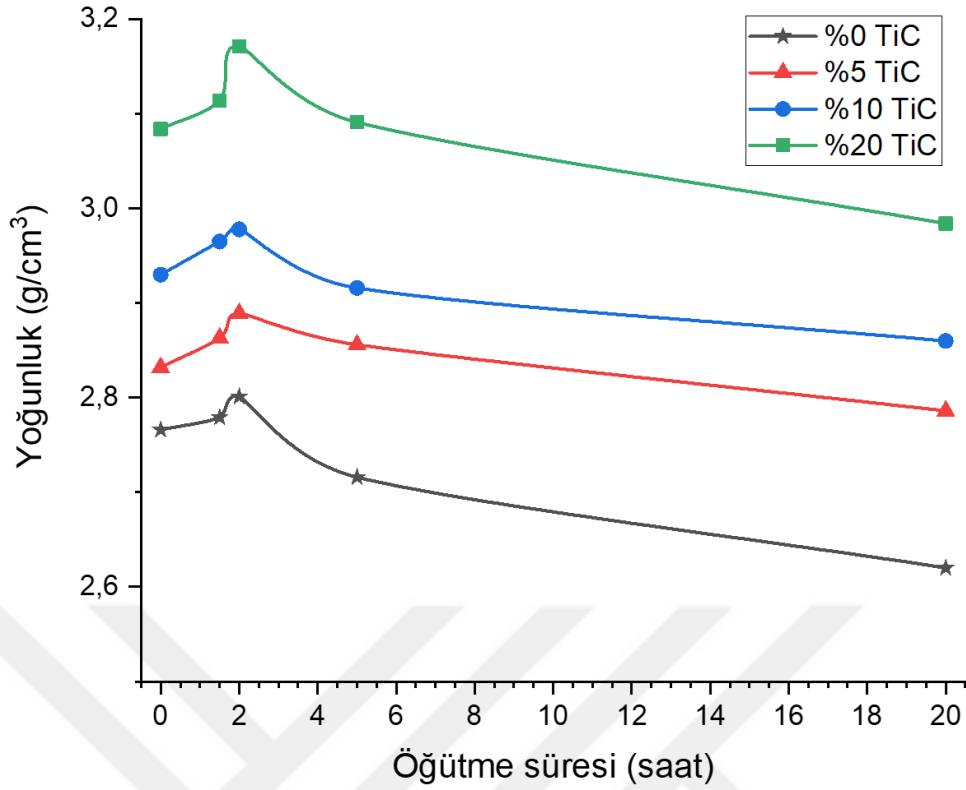
- İlk aşamada tozlar, kalıp içerisindeki toz kalan boşlukları doldurur
- İkinci aşamada, elastik ve plastik deformasyon mekanizmaları etkilidir. Basıncın etkisiyle birlikte tozlar arasında mekanik bir birleşme meydana gelir.
- Üçüncü aşamada ise tozların kırılması ve plastik deformasyonun artması ile boyutu küçülen tozların boşlukları doldurması ile porozite bir miktar azalır.

Tozların preslenmesinde etkili olan bir diğer faktör ise kullanılan tozların sertliğidir. Mekanik alaşımlama sonucunda deformasyon sertleşmesine maruz kalan tozların sertliği artmaktadır. Tozların gevrekleşmesi ile sıkıştırılması daha zor olacağından yoğunluk düşecektir. Ayrıca kullanılan takviye malzemeleri de gevrek olduğundan yoğunluk üzerinde aynı etkiye sahiptirler.

Bu çalışma sonucunda üretilen alaşımların ve kompozitlerin yoğunluk değerleri Şekil 4.24 ve Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Ölçülen yoğunluk değerleri

MA Süresi ve TiC Miktarı / Yoğunluk	Deneysel Yoğunluk (g/cm ³)	Teorik Yoğunluk (g/cm ³)	%
<i>0.0 saat MA %0 TiC</i>	2.76	2.81	98,43%
<i>1.0 saat MA %0 TiC</i>	2.77	2.81	98,72%
<i>1.5 saat MA %0 TiC</i>	2.77	2.81	98,90%
<i>2.0 saat MA %0 TiC</i>	2.80	2.81	99,68%
<i>3.0 saat MA %0 TiC</i>	2.72	2.81	96,90%
<i>5.0 saat MA %0 TiC</i>	2.71	2.81	96,65%
<i>10.0 saat MA %0 TiC</i>	2.68	2.81	95,37%
<i>20.0 saat MA %0 TiC</i>	2.62	2.81	93,24%
<i>0.0 saat MA %5 TiC</i>	2.83	2.92	97,12%
<i>1.5 saat MA %5 TiC</i>	2.86	2.92	98,18%
<i>2.0 saat MA %5 TiC</i>	2.88	2.92	99,07%
<i>5.0 saat MA %5 TiC</i>	2.85	2.92	97,94%
<i>20.0 saat MA %5 TiC</i>	2.78	2.92	95,54%
<i>0.0 saat MA %10 TiC</i>	2.93	3.02	96,96%
<i>1.5 saat MA %10 TiC</i>	2.96	3.02	98,11%
<i>2.0 saat MA %10 TiC</i>	2.97	3.02	98,54%
<i>5.0 saat MA %10 TiC</i>	2.91	3.02	96,49%
<i>20.0 saat MA %10 TiC</i>	2.86	3.02	94,64%
<i>0.0 saat MA %20 TiC</i>	3.08	3.23	95,48%
<i>1.5 saat MA %20 TiC</i>	3.11	3.23	96,41%
<i>2.0 saat MA %20 TiC</i>	3.17	3.23	98,17%
<i>5.0 saat MA %20 TiC</i>	3.09	3.23	95,70%
<i>20.0 saat MA %20 TiC</i>	2.98	3.23	92,38%



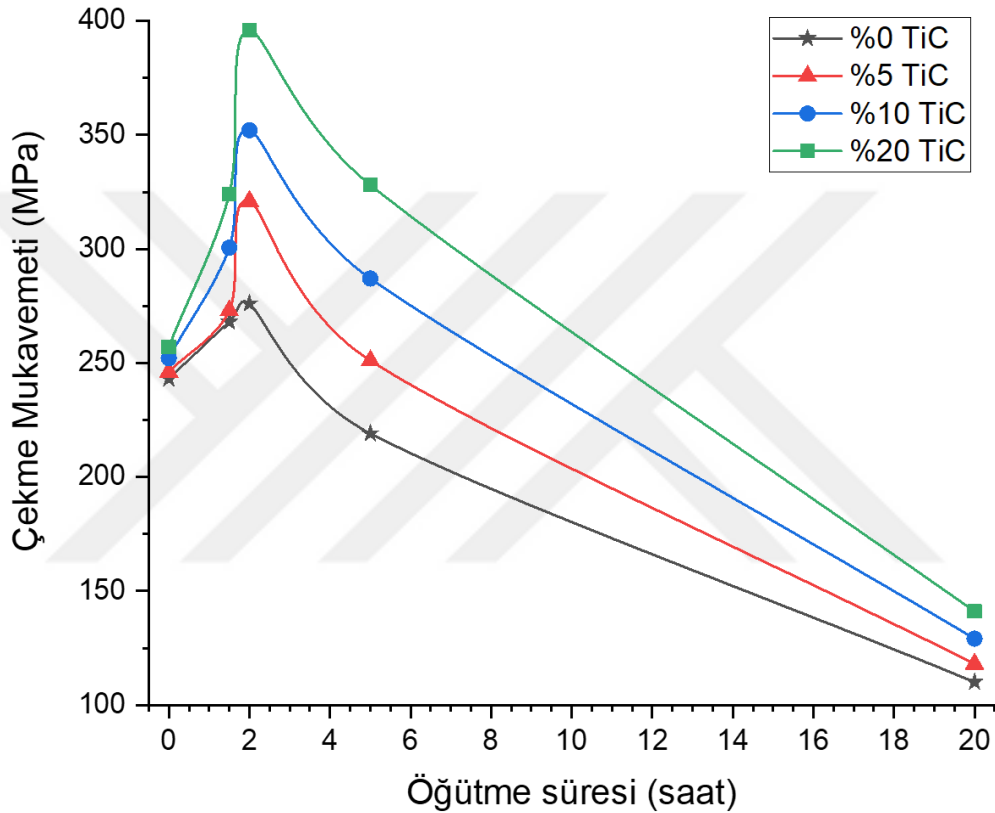
Şekil 4.24. Takviyesiz AA7075 ve TiC takviyeli kompozitlerin mekanik alaşımlama süresine bağlı olarak yoğunluk değerlerinin değişimi

4.3.2. Takviyesiz AA7075 ve AA7075-TiC kompozitlerin çekme mukavemeti değerleri

Şekil 4.25'te görüldüğü gibi takviyesiz AA7075 alaşımının ve %5-10-20 TiC takviyeli kompozitlerin çekme mukavemetleri 2 saate kadar artmıştır ve daha sonra düşmeye başlamıştır. En yüksek çekme mukavemeti 2 saat mekanik alaşımlama işlemine tabi tutulmuş %20 TiC takviyeli kompozit malzemede elde edilmiştir. 2 saatten fazla mekanik alaşımlamaya tabi tutulmuş kompozit ve alaşımın çekme mukavemetinin düşmesinin sebebi ise şunlardır;

- Artan öğütme süresi ile toz sertliğinin artması, buna bağlı olarak da tozlar arasındaki paketlenme kabiliyetinin azalması,
- Azalan paketlenme kabiliyeti ile üretilen numuneler içerisindeki porozitelerin artması
- Yapı içerisindeki kalan porozitelerin çentik etkisine sebep olması

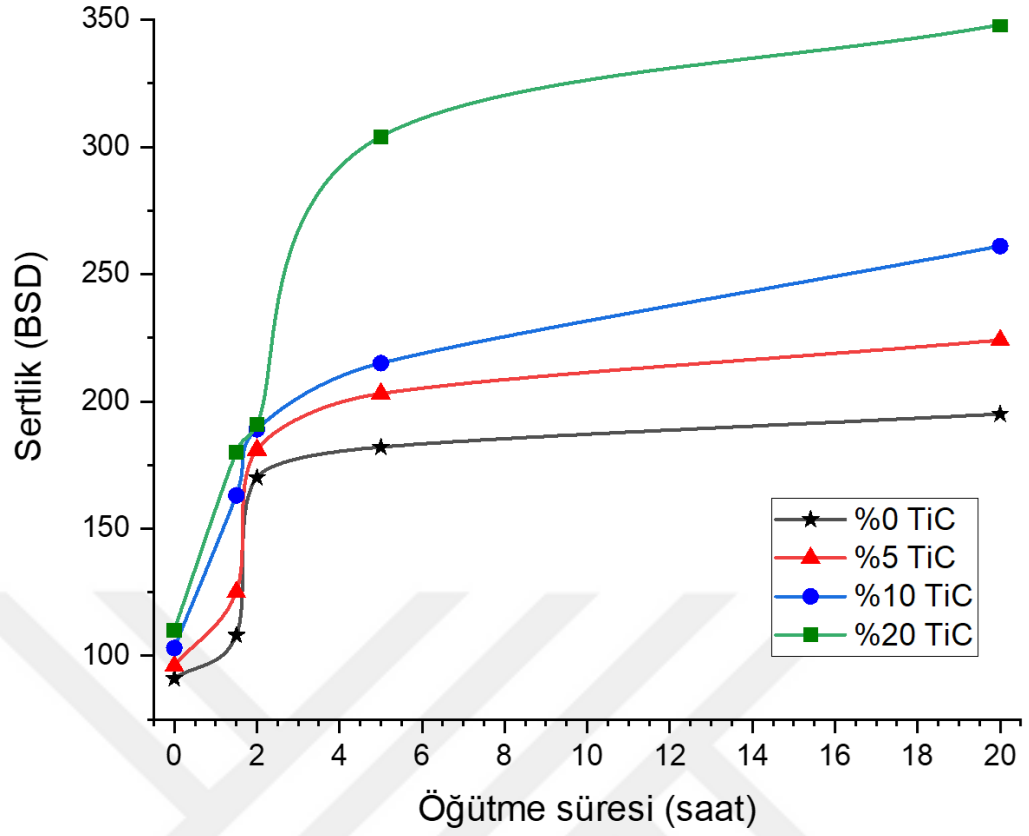
- Yapı içerisindeki pulsu yapının, artan mekanik alaşımlama süresi ile kırılması ve tozların şekillerinin düzensiz bir hal alması, dolayısıyla porozitelerin içeride hapis olmasına neden olması
- 2 saat sonunda homojen olarak dağılan TiC partiküllerinin, artan öğütme süresi ile aglomere olması ve çentik etkisine sebep olması çekme mukavemeti düşürmüştür.



Şekil 4.25. Takviyesiz AA7075 ve TiC takviyeli kompozitlerin mekanik alaşımlama süresine bağlı olarak çekme mukavemetinin değişimi

4.3.3. Takviyesiz AA7075 ve AA7075-TiC kompozitlerin sertlik değerleri

Artan öğütme süresi ve TiC takviye miktarına bağlı olarak AA7075 ve kompozit numunelerin sertlik değerleri de artmıştır (Şekil 4.26). Bunun ilk nedeni dislokasyon yoğunluğunun artması ile meydana gelen deformasyon sertleşmesi, ikinci sebebi ise sert bir seramik malzeme olan TiC takviyesi yapı içerisinde homojen olarak dağılmasıdır.



Şekil 4.26. Takviyesiz AA7075 ve TiC takviyeli kompozitlerin mekanik alaşımlama süresine bağlı olarak sertlik değerlerinin değişimi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Yapılan bu çalışma ile elde edilen veriler doğrultusunda;

1. Artan öğütme süresi ile takviye malzemesi olan TiC'in, matris malzemesi içerisinde homojen dağıldığı görülmüştür.
2. Takviye malzemesinin artması ile matris tozlarının kırılması artmış, ortalama toz boyutu düşmüştür.
3. XRD sonuçlarına bakıldığında, mekanik alaşımlama işlemi sonucunda yeni bir faz oluşumu görülmemiştir.
4. Artan takviye oranı ile kompozitlerin sertlik değerleri artmıştır. Ayrıca, deformasyon sertleşmesinin etkisiyle artan mekanik alaşımlama süresi ile doğru orantılı olarak sıcak presleme ile üretilen kompozitlerin sertlik değerleri artmıştır.
5. Geleneksel yöntemler ile üretilen kompozitlere kıyasla sıcak presleme sayesinde üretilen kompozitler içerisindeki poroziteler minimuma indirgenmiş ve yoğunluğu daha yüksek malzemeler elde edilmiştir.
6. Artan öğütme süresinin yoğunluk üzerinde negatif bir etkiye sebep olduğu belirlenmiştir. Artan öğütme süresi tozların gevrekleşmesine sebep olmuş, sıkıştırılabilme kabiliyetini azaltmıştır. Porozitenin artması ile de yoğunluk değerlerinde düşüş meydana gelmiştir.
7. 1.5 saatlik mekanik alaşımlama işlemi sonunda pulsu yapı oluşmaya başlamış 2 saat sonunda ise yapı tamamen pulsu bir morfolojiye dönüşmüştür. Küçük boyuttaki partiküllerin, pulsu yapılar arasındaki boşluklara girmesi ile yoğunluğu yüksek bir yapı elde edilmiştir. 2 saatten sonra, pulsu yapı artan deformasyon serleşmesinin etkisi ile kırılmış, yoğunluktaki düşüğe bağlı olarak (porozite artışı) çekme mukavemetini negatif etkilemiştir.
8. 2 saat mekanik alaşımlama işlemi uygulanmış %20 TiC takviyeli kompozit numunede en yüksek çekme mukavemeti değerine erişilmiştir. Bu kompozitin çekme mukavemeti 396 MPa dır.
9. Mekanik alaşımlama süresi arttıkça ortalama toz boyutu azalmıştır.
10. En yüksek sertlik değeri 348 BSD olarak, %20 TiC takviyeli 20 saat mekanik alaşımlama uygulanmış kompozitte elde edilmiştir.

5.2. Öneriler

1. Daha stabil presleme ve sinterleme şartlarına sahip bir ortamda daha iyi sonuçlar elde edilebilir.
2. Farklı presleme basıncı, sinterleme süresi ve sinterleme sıcaklığı denenebilir.
3. Nano boyutlu matris ve/veya takviye malzemesi kullanarak kompozitlerin yoğunluğu, çekme mukavemeti, sertliği ve mikroyapısal kusurları iyileştirilebilir.
4. Uygulanan deneylere ek, yorulma ve sürünme deneyleri gibi deneyler yapılabilir.



KAYNAKLAR

- Adamiac, M., 2008, Mechanical alloying for fabrication of aluminium matrix composite powders with Ti-Al intermetallics reinforcement, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 31 (2).
- Akbarpour, M. R., Najafi, M., Alipour, S. ve Kim, H. S., 2019, Hardness, wear and friction characteristics of nanostructured Cu-SiC nanocomposites fabricated by powder metallurgy route, *Materials Today Communications*, 18, 25-31.
- Anas, N. S., Ramakrishna, M., Dash, R. K., Rao, T. N. ve Vijay, R., 2019, Influence of process control agents on microstructure and mechanical properties of Al alloy produced by mechanical alloying, *Materials Science and Engineering: A*, 751, 171-182.
- Azimi, A., Shokuhfar, A. ve Nejadseyfi, O., 2015a, Mechanically alloyed Al7075–TiC nanocomposite: Powder processing, consolidation and mechanical strength, *Materials & Design (1980-2015)*, 66, 137-141.
- Azimi, A., Shokuhfar, A., Nejadseyfi, O., Fallahdoost, H. ve Salehi, S., 2015b, Optimizing consolidation behavior of Al 7068–TiC nanocomposites using Taguchi statistical analysis, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 25 (8), 2499-2508.
- 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.
- Callister, W. D. ve Rethwisch, D. G., 2011, *Materials Science and Engineering*, New Jersey, Wiley, p.
- 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.
- Chung, D. D. L., 2010, *Composite Materials: Science and Applications*, New York, Springer, p.
- Çanakçı, A., 2006, AA2024 Matrisli B4C Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Vorteks Yöntemiyle Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi*.
- da Silva, C. C., Volpato, G. M., Fredel, M. C. ve Tetzlaff, U., 2019, Low-pressure processing and microstructural evaluation of unidirectional carbon fiber-reinforced aluminum-nickel matrix composites, *Journal of Materials Processing Technology*, 269, 10-15.
- Erdoğan, E. B., 2016, Niyobyum Borür Karkılı Al₅Si Hibrit Tozların ve Kompozitlerin Mekanik Alaşım ve Basıncısız Sinterleme Yöntemiyle Geliştirilmesi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*.
- Erek, H. B., 2016, Toz Metarlurjisi Yöntemi ile Üretilen AA7075 Alüminyum Alaşımına Ti ve B4C İlavesinin Korozyon ve Elektrik İletkenliğine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi*.
- Fu, Y., Chen, X., Zhang, B., Gong, Y., Zhang, H. ve Li, H., 2018, Fabrication of nanodiamond reinforced aluminum composite coatings by flame spraying for marine applications, *Materials Today Communications*, 17, 46-52.
- 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.
- Goff, A., 2003, Modelling and Synthesis of a Piezoelectric Ceramic-Reinforced Metal Matrix Composite, Master Thesis, *Virginia Polytechnic Institute and State University*, Virginia.

- Gorbatyuk, S., Pashkov, A. ve Chichenev, N., 2019, Improved Copper-Molybdenum Composite Material Production Technology, *Materials Today: Proceedings*, 11, 31-35.
- Gökçe, O. S., 2018, Sıcak Pres ile Metal Partikül Takviyeli Magnezyum Kompozitlerin Üretimi ve Kaplanması, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi*.
- Güler, Ö., 2006, Oksit Takviyeli Bakır Kompozitin Mekanik Alaşımlama Yöntemi ile Üretilmesi ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi*, Elazığ.
- Huang, L., Wang, L., Qian, M. ve Zou, J., 2017, High tensile-strength and ductile titanium matrix composites strengthened by TiB nanowires, *Scripta Materialia*, 141, 133-137.
- Li, J., Ni, J., Huang, B., Chen, J., Xu, Z., Liao, S., Wang, C. ve Luo, W., 2019, Long-term ball milling and hot pressing of in-situ nanoscale tungsten carbides reinforced copper composite and its characterization, *Materials Characterization*, 152, 134-140.
- Mihalache, V., Mercioniu, I., Velea, A. ve Palade, P., 2019, Effect of the process control agent in the ball-milled powders and SPS-consolidation temperature on the grain refinement, density and Vickers hardness of Fe14Cr ODS ferritic alloys, *Powder Technology*, 347, 103-113.
- Milli, A., 2017, Mekanik Alaşımlama Yöntemi ile (B4C+FeTi) Takviyeli Fe Esaslı Kompozit Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi*.
- Nazik, C., 2013, Alüminyum Matrisli B4C Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi*.
- Özdemir, K., 2018, Ti4Al4Mo ve Ti6Al4V Alaşımlarının Sıcak Pres ile Üretimi ve Erozyon Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi*.
- Özgün, E. C., 2008, Mekanik Alaşımlama Yöntemiyle Sentezlenen Al-TiC ve Al-Ti-C Toz ve Sinter Kompozitlerin Mikroyapısal ve Fiziksel Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*.
- Prabha, N. R. ve Dhas, J. E. R., 2017, Effect of Tic and Mos2 Reinforced Aluminium Metal Matrix Composites on Microstructure and Thermogravimetric Analysis, *Rasayan Journal of Chemistry*, 30 (3).
- 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.
- Somunkıran, İ. ve Çelik, H., 2007, T/M Yöntemiyle Üretilmiş Co Esaslı Co-Cr-Mo Alaşımlarının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Cr Oranının Etkisi, *Science and Engineering Journal of Fırat University*, 19 (2).
- Suryanarayana, C., 2001, Mechanical Alloying and Milling, *Progress in Materials Science*, 46, 1-184.
- Şenel, M. C., 2018, Grafen-Seramik Tanecik Takviyeli Alüminyum Matrisli Hibrit Kompozitlerin Toz Metalurjisi Metoduyla Üretimi, Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi*, Samsun.
- Şimşek, İ., 2017, Toz Metalurjisi ile Üretilen Titanyum Alaşımı Biomazemelerin Korozyon ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi*.

- Tekoğlu, E., 2015, Mekanik Alaşımlama Yöntemleri ile Üretilmiş Al15Si2,5Cu0,5Mg Matrisli ve CeO2, Y2O3, La2O3 Pekleştiricili Kompozitlerin Geliştirilmesi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Istanbul Teknik Üniversitesi*.
- Topcu, I., Gulsoy, H. O., Kadioglu, N. ve Gulluoglu, A. N., 2009, Processing and mechanical properties of B4C reinforced Al matrix composites, *Journal of Alloys and Compounds*, 482 (1-2), 516-521.
- Varol, T., 2012, AA2024 Matrisli B4C Parçacık Takviyeli Metal Matrisli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi*, Trabzon.
- 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.
- 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.
- Yıldırım, M., 2016, Mekanik Alaşımlama Yöntemi ile AA7075-Karbon Nanotüp Takviyeli Metal Matrisli Kompozit Üretimi Karakterizasyonu ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi*.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Emre Can ARSLAN
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi : Çorlu 30/01/1994
Telefon : 05522274859
Faks :
e-mail : emrecn2626@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: İdeal Koleji, Meram, Konya	2012
Üniversite	: Sakarya Üniversitesi, Serdivan, Sakarya Anadolu Üniversitesi	2016 -
Yüksek Lisans	: Technical University of Ostrava, Çek Cumhuriyeti Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2019 2019
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
-----	-------	--------

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

Yükseköğretim Kurumları Yabancı Dil (YÖKDİL) Sınavı, İngilizce, 77.5

YAYINLAR

Arslan, E. C., Tarakçıoğlu, N., Nazik, C. ve Salur, E., 2018, 'Effect of Milling Time on Properties of AA7075 Powders Enhanced by Mechanical Alloying Method', *ICENTE'18*, 393-396.