



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALÜMİNYUM MATRİSLİ B_4C PARÇACIK TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE ÜRETİMİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Cihad NAZİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz-2013
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALÜMİNYUM MATRİSLİ B_4C PARÇACIK TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE ÜRETİMİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Cihad NAZİK

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU

2013, 108 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU
Prof. Dr. Remzi ÇETİN
Doç. Dr. Hüseyin ARIKAN

Bu çalışmaya; gaz atomizasyonu yöntemiyle ortalama tane boyutu 43,9 μm olan AA7075 metal tozu üretilerek başlanmıştır. Daha sonra toz metalurjisi üretim yöntemlerinden olan mekanik alaşımlama yöntemi ile AA7075 metal matrisi içerisine; (ortalama tane boyutu 49,5 μm olan) B_4C parçacık takviyeleri; %5, %10, %15 ve %20 oranlarında katılarak kompozit toz karışımları hazırlanmıştır. Bu karışımlar farklı öğütme sürelerinde (8 saate kadar), planetary tipi yüksek enerjili bilyeli öğütücüde öğütülmüştür. Öğütülen bu tozlardan; 550 ^oC de ve (650 Mpa önyükleme olmak üzere) 500 MPa basınç altında sıcak presleme yöntemi ile kompozit malzemeler üretilmiştir. Öğütmeden sonra toz karışımlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri; Taramalı elektron mikroskobu(SEM) ve X ışınları kırınımı(XRD) deneyi ile araştırılmıştır. Yapılan SEM analizlerinde; mekanik alaşımlama yöntemi ile B_4C parçacıklarının 4 saatten sonra AA7075 matris içerisine homojen olarak dağıldığı görülmüştür. Üretilen tozların sertliklerine, mikrosertlik cihazında bakılmıştır. Tozların sertlikleri; artan öğütme süresi ve takviye oranı ile artmıştır. Üretilen kompozit malzemelerin mikroyapı özelliklerinin belirlenmesi amacıyla SEM analizleri ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla çekme deneyi ve sertlik deneyi yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda çekme mukavemetinin 1 saate kadar arttığı ve daha sonra azaldığı görülmüştür. En yüksek çekme mukavemeti 1 saat öğütülmüş ve %10 B_4C takviyeli kompozit malzemede elde edilmiştir. Sertliğin ise artan takviye oranı ve öğütme saati ile arttığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak; üretilen kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine bakıldığında, öğütme zamanı, takviye oranı, matris ile takviye malzemesinin tane boyutlarının birbirine yakınlığı gibi faktörler 7075 alaşım malzemesinin çekme mukavemetini yaklaşık % 40, sertlik değerini yaklaşık % 600 arttırmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, B_4C, Mekanik Alaşımlama, Mekanik Özellikler, Metal Matrisli Kompozit, Toz Metalurjisi,

ABSTRACT

MS THESIS

THE PRODUCTION OF ALUMINIUM MATRIX-B_4C PARTICLE REINFORCED COMPOSITES BY POWDER METALLURGY METHOD AND INVESTIGATION OF THEIR MECHANICAL PROPERTIES

Cihad NAZİK

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF METALLURGICAL AND MATERIALS ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU

2013, 108 Pages

Jury
Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU
Prof. Dr. Remzi ÇETİN
Assoc. Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN

In this study,firstly, AA7075 metal powder which average particle size 43,9 µm were manufactured by using gas atomization method. Thereafter with mechanical alloying method which powder metallurgy manufacturing methods, different amounts of B_4C particle reinforcements (%5, %10, %15 and %20) that average particle size of 49.5µm by participating into AA7075 metal matrix, composite powder mixtures were prepared.They were milled for different times (0 h from to 8 h) in a high energy planetary ball mill. From these milled powders; 550 ^oC and (650 Mpa = pre-loading) under pressure 500 MPa, composite materials produced by the method of hot pressing. Physical and chemical properties of powder mixtures after milling, with scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction (XRD) experiment was investigated. In SEM analysis, after 4 hours with mechanical alloying method, B4C particles into the matrix of AA7075 that homogenously distributed was seen. Produced powders hardness , examined in micro-hardness tester. Hardness of powders increased with increasing milling time and the rate of reinforcement. In order to determine produced composite material's microstructural properties SEM analysis and determine mechanical properties, tensile test and hardness test was practiced. As a result of the experiments, the tensile strength increased to 1 hour and then decreased.The highest tensile strength was obtained 1h and 10% B4C reinforced composite material was obtained. Additionally, increased rate of reinforcement and with grinding time rigidity of composite materials rised as a consequeance, Looking at the characteristics of composite materials are produced, milling time, amount of reinforcements and closeness of each other the particle size of the matrix with reinforced material increased pure material of tensile strength at the rate of about % 40 and hardness value by % 600.

Keywords: Aluminium, B_4C, Mechanical Alloying, Mechanical Properties Metal-Matrix Composite, Powder Metallurgy

ÖNSÖZ

Kompozit malzemeler, ileri bilimsel ve teknik gelişmelerin yaşandığı mühendislik malzemelerinin bir türünü temsil etmektedir. Bu malzemelerin kullanım alanları hayatımızın bütün alanlarına girmeye başladıkları bu yüzyılda giderek artmaktadır. Maliyet performans karakteristikleri, hafiflik, mükemmel mekanik ve termal özelliklerinden dolayı kompozit malzemelere olan ilgi ve bu malzemeler üzerine yapılan araştırmalar giderek artmaktadır.

Bu çalışmada AA7075 Matrisli B_4C Parçacık Takviyeli Metal Matrisli Kompozitler toz metalurjisi yöntemi ile üretildi. Üretilen tozların karakterizasyonu ve üretilen kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri araştırıldı. Çalışmada takviye malzemesi olarak B_4C parçacıkları dört farklı oranda (% "5, 10, 15, 20") kullanılmıştır. Toz karakterizasyonu olarak öğütme süresi, takviye boyutu ve takviye oranının toz morfolojisi, toz boyutu ve toz sertliğine etkisi araştırıldı. Ayrıca kompozit özellikleri olarak öğütme süresi, takviye boyutu, takviye oranı ve presleme basıncının yoğunluk, sertlik ve çekme mukavemeti değerlerine etkisi araştırılmıştır.

Yüksek lisans çalışmamın her aşamasında desteğini esirgemeyen ve deneyimleri ile bana yol gösteren değerli hocalarım, Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU ve Yrd. Doç. Dr. Aykut ÇANAKÇI'ya, asistan arkadaşlarım başta "başkanım Arş. Gör. Serdar ÖZKAYA" olmak üzere; Arş. Gör. Temel VAROL'a, Arş. Gör. Fatih ERDEMİR'e, Arş. Gör. Hüseyin İPEK'e, Arş. Gör. Aydın GÜNEŞ'e, Arş. Gör. Eyüp CANLI'ya, , Arş. Gör. Harun SEPET'e, Arş. Gör. Hüseyin KÖSE'ye, Arş. Gör Soner ŞEN'e ve Arş. Gör. M. Turan DEMİRCİ'ye teşekkür ederim.

Maddi ve manevi olarak beni sürekli ve sabırla destekleyen, bugünlere gelmeme vesile olan başta anne ve babam; Saniye NAZİK ve Hüseyin NAZİK'e, abilerim Tahsin NAZİK ve Faruk NAZİK'e, kardeşlerim Furkan NAZİK ve Rıdvan NAZİK'e ve eğitim hayatım boyunca benden maddi manevi desteklerini esirgemeyen kadim dostlarım Mesut TÜRLÜ'ye, Uğur ÇINAR'a, Harun AYDIN'a ve Arş. Gör Rıfat IŞIK'a teşekkür ederim.

Son olarak yaptığım bu tez çalışmasını hayatımda tanıdığım günden beri, hep doğru yolda ve doğru adımlarla gitmem için bana maddi ve manevi destek olan arkadaştan da öte değerli "kardeşim" Fatih ULUDAĞ'a ithaf ediyorum.

Cihad NAZİK
KONYA-2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **x**

1. GİRİŞ **12**

1.1. Kompozit Malzemeler 13
1.2.1. Islatılabilirlik 15
1.3. Metal Matrisli Kompozitler 17
1.3.1. Matris malzemeleri 18
1.3.1.1. Alüminyum ve alaşımları 18
1.3.1.2. Magnezyum ve Alaşımları 19
1.3.1.3. Titanyum ve Alaşımları 20
1.3.1.4. Bakır ve Alaşımları 20
1.3.2. Takviye malzemeleri 20
1.3.2.1. Bor Karbür (B_4C) 21
1.3.2.2. Alümina (Al_2O_3) 21
1.3.2.3. Silisyum Karbür (SiC) 22
1.4. Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri 22
1.4.1. Katı faz üretim yöntemleri 22
1.4.2. Sıvı faz üretim yöntemleri 22
1.4.2. Diğer Yöntemler 22
1.5. Toz Metalurjisi 23
1.5.1. Giriş 23
1.5.2. Toz metalurjisi yönteminin avantaj ve dezavantajları 23
1.5.3. Metal tozların üretimi 24
1.5.3.1. Elektrolitik ayrıştırma yöntemi 25
1.5.3.2. Kimyasal yöntemler 25
1.5.3.3. Atomizasyon yöntemi 26
1.5.3.4. Mekanik yöntemler 27
1.5.3.4.1. Talaşlı Üretim 27
1.5.3.4.2. Öğütme 27
1.5.3.4.3. Mekanik alaşımlama 29
1.6. Mekanik Alaşımlama 29
1.6.1. Giriş 29
1.6.2. Kullanılan öğütücü türleri 31
1.6.2.1. SPEX tipi öğütücü 31
1.6.2.2. Planetary tipi öğütücü 32
1.6.2.3. Atritör tipi öğütücü 33
1.6.3. Mekanik alaşımlamada işlem parametreleri 33
1.6.3.1. Giriş 33

1.6.3.2. Öğütme tipi 34
1.6.3.3. Öğütücü kap 35
1.6.3.4. Öğütme Hızı 35
1.6.3.5. Öğütme zamanı 36
1.6.3.6. Bilye/Toz ağırlık oranı 36
1.6.3.7. Kap doluluk oranı 37
1.6.3.8. Öğütme atmosferi 37
1.6.3.9. İşlem kontrol katkıları 37
1.6.3.10. İşlem kontrol katkılarının yapısı 37
1.6.3.11. Öğütme sıcaklığı 39
1.7. Mekanik Alaşımlama Mekanizması 39
1.7.1. Giriş 39
1.7.2. Bilye-toz-bilye çarpışmaları 39
1.7.3. Mekanik alaşımlama safhaları 40
1.7.3.1. Sürecin ilk safhası 41
1.7.3.2. Sürecinin orta safhası 41
1.7.3.3. Sürecin bitiş safhası 43
1.7.4. Öğütme Sistemleri 43
1.7.4.1. Sünek Sünek Sistem 44
1.7.4.2. Sünek-Gevrek Sistem 46
1.7.4.3. Gevrek-Gevrek Sistem 46

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 47

3. MATERYAL VE YÖNTEM 51

3.1. Malzeme 52
3.2. Mekanik Alaşımlama İşlemleri 54
3.3. Parçacık Morfolojisi 55
3.4. Parçacık Boyutu 55
3.5. X-Işınları Kırınımı (XRD) 56
3.6. Mikrosertlik 56
3.7. Sıcak Presleme 57
3.8. Metalografi Çalışmaları 59
3.9. Çekme Deneyi 60

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 61

4.1. Toz Karakterizasyonu 61
4.1.1 Toz Morfolojisi 61
4.1.2. Öğütme zamanı ile toz morfolojilerinin değişimi 62
4.1.2.1. AA7075 ve AA7075-%(5,10,15,20) B_4C toz morfolojileri 62
4.1.3. Toz sertliği 62
4.1.3. Toz Boyutu 63
4.1.4. XRD analizleri 64
4.2. Kompozit Malzeme Özelliklerinin İncelenmesi 64
4.3. 650 Mpa Basınçla Soğuk Preslenen ve 550 Mpa Basınçla Sıcak Preslenen Numunelerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri 65
4.3.1. AA7075 ve kompozitlerin yoğunluk değerleri 65
4.3.2. AA7075 ve kompozitlerin çekme mukavemeti değerleri 66
4.3.3. AA7075 ve kompozitlerin sertlik değerleri 67

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 68

5.1. Sonuçlar 68
5.2. Öneriler 69

6. EKLER 70

KAYNAKLAR 104

ÖZGEÇMİŞ.....108

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

d_{50} : Ortalama tane boyutu (mastersizer)

μm : Mikrometre

B_4C : Bor karbür

Al : Alüminyum

Al_2O_3 : Alümina

SiC : Silisyum karbür

TiC : Titanyum karbür

Ti : Titanyum

Mg : Magnezyum

Ni : Nikel

C : Karbon

Pb : Kurşun

Fe : Demir

Sn : Kalay

Ag : Gümüş

Si : Silisyum

TiO_2 : Titanyum dioksit

H_2SO_4 : Sülfürik asit

HNO_3 : Nitrik asit

HF : Hidroflorik asit

Fe_3O_4 : Manyetit

Mo : Molibden

Ga : Galyum

Å : Angström

ρ : Yoğunluk

Kısaltmalar

AA7075: 7075 alüminyum alaşımı

BSD : Brinell sertlik değeri

BSE : Backscatter elektron

HV : Hardness Vickers

HB : Hardness Brinell

MA : Mekanik alaşımlama

TM : Toz metalurjisi

İKK : İşlem kontrol katkısı

PCA : Process control agent

BTO : Bilye toz ağırlık oranı

SEM : Taramalı elektron mikroskobu

MMK : Metal matrisli kompozit

ODS : Oksit dağılımı ile güçlendirilmiş

XRD : X-ışınları difraktometresi

MPa : Megapascal

GPa : Gigapascal

1. GİRİŞ

Teknoloji alanındaki hızlı gelişmeler, geleneksel malzemelere oranla daha üstün özelliklere sahip yeni malzemelerin kullanımını gerekli kılmaktadır. Bu nedenden dolayı, bilim adamları; doğal veya alaşım maddelerinden daha üstün özelliklere sahip yeni malzemeler üretmek için bir çok araştırma yapmışlardır. Bu sayede diğer malzemelerden daha üstün niteliklere sahip "Kompozit Malzemeler" adı altında yeni malzemeler üretilmiştir(Çıtak, 1998)(Sur, 2002)(Acılar, 2002).

Kompozit malzemeler, ileri teknolojik malzemelerinin bir türünü temsil etmektedir. Bu malzemeler insanoğlunun kendisini dış etkilerden korumak için geliştirdiği ilk malzemelerdir ve hayatımızın hemen hemen her safhasına girmeye başladıkları bu asırda kullanım alanları giderek artmaktadır. Maliyet, hafiflik, mükemmel mekanik ve termal özelliklerinden dolayı kompozit malzemelere üzerine yapılan araştırmalar giderek artmaktadır(Sabau, 2009).

Son yıllarda Alüminyum matrisli kompozitler (Al-MMK), hafiflikleri, yüksek mukavemetleri, yüksek elastik modülleri ve yüksek aşınma dirençleriyle otomotiv endüstrisinde özellikle motor pistonu, silindir gömleği, fren disk ve kampanaları gibi uygulamalarda kullanılmaktadır(Kumdalı, 2008).

Alüminyum matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için kullanılan takviyelerin başında SiC, Al_2O_3, TiC ve B_4C gibi seramikler gelmektedir. Bu seramikler arasında B4C, sahip olduğu üstün fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ülkemizin sahip olduğu zengin bor kaynakları nedeniyle göze çarpmaktadır(Kumdalı, 2008).

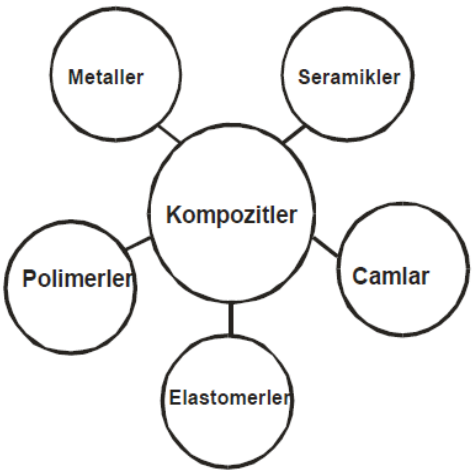
Al-B_4C kompozitleri üzerinde özellikle otomotiv endüstrisindeki uygulamalarda yapılan çalışmalar yeni olmakla birlikte artmaya başlamıştır. Bu kompozitlerin üretimindeki ana sorun, matris metali ile takviye partikülleri arasındaki düşük ıslanmadır. Üretim yöntemlerinden biri olan infiltrasyon yöntemi uygulama koşullarının zorluğuna sahip olup, döküm yöntemi ıslanılabilirliğin en düşük elde edildiği yöntemdir. Bunun yanında toz metalurjisi (TM) yöntemiyle teorik olarak ara yüzey kinetiğinin kontrolü iyi bir şekilde sağlanabilmektedir. Bu yüzden TM ile yapılan çalışmalar ara yüzeydeki ıslatılabilirlik seviyelerini arttırmak üzerine yoğunlaştırılmış olup, gelişmiş fiziki ve mekanik özellikleri verecek olan ekonomik bir yöntem henüz standartlaştırılamamıştır(Kumdalı, 2008).

Bu çalışmada AA7075 matrisli B_4C parçacık takviyeli kompozitler mekanik alaşımlama yöntemiyle üretilmiştir. Farklı parçacık boyutunun, faklı takviye oranlarının ve *farklı üretim parametrelerinin mekanik alaşımlama işlemi, toz özellikleri ve kompozit malzeme özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Toz özellikleri olarak; toz morfolojsi, toz boyutu ve toz sertliği incelenmiş olup, kompozit özellikleri olarak ise mikro-yapı özelliklerine, yoğunluk, sertlik ve çekme mukavemeti değerlerine bakılmıştır.

1.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzeme, birbirinden biçimleri ve kimyasal bileşimleriyle ayrılmış ve esas olarak birbiri içersinde çözünmeyen, iki veya daha çok mikro veya makro bileşenin karışımı veya birleşimiyle oluşan malzemedir(Smith, 2001).

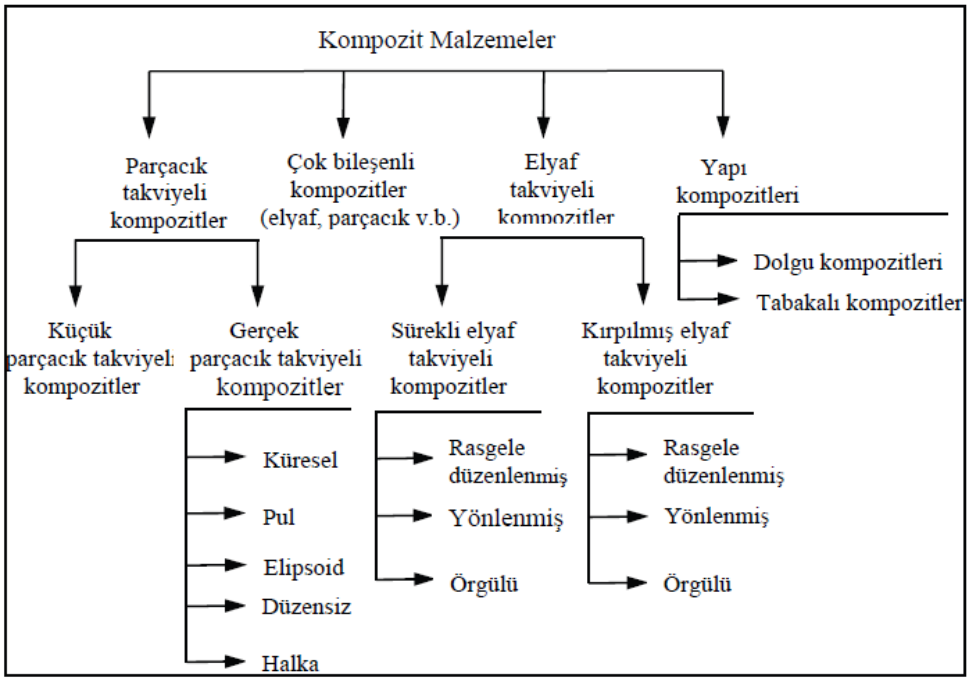
Bugün istenilen özellikleri sağlamada ileri teknoloji malzemelerine duyulan ihtiyaç giderek artmakta ve tek bileşenli malzemeler ileri mühendislik uygulamalarının ihtiyaçlarını karşılamamaktadır. Bu nedenle üstün özelliklere sahip kompozit malzemelere duyulan ihtiyaç günden güne artmaktadır. Kompozit malzemeler şekil 1.1'de görüldüğü gibi farklı malzemelerin birleştirilmesiyle oluşmaktadır(Varol, 2012).



Şekil 1.1 Matris Malzemeleri

Kompozit malzemeler değişik kriterler esas alınarak sınıflandırılabilir. Doğal veya yapay olmasına göre doğal kompozitler (kemik, kas, deri, ağaç) ve yapay kompozitler (cam elyaf takviyeli, karbon-karbon, kevlar-epoksi v.b.) olarak sınıflandırılır. Kompozitin ana dokusunu oluşturan matris malzemesine göre yapılan sınıflandırma ise plastik

(polimer), metal ve seramik matrisli kompozit malzemeler olarak yapılır. Ancak uygulamada en yaygın olarak kullanılan sınıflandırma kompozite mukavemet kazandıran takviye malzemesine göre yapılır. Bu sınıflandırma Şekil 1.2'de verilmiştir.

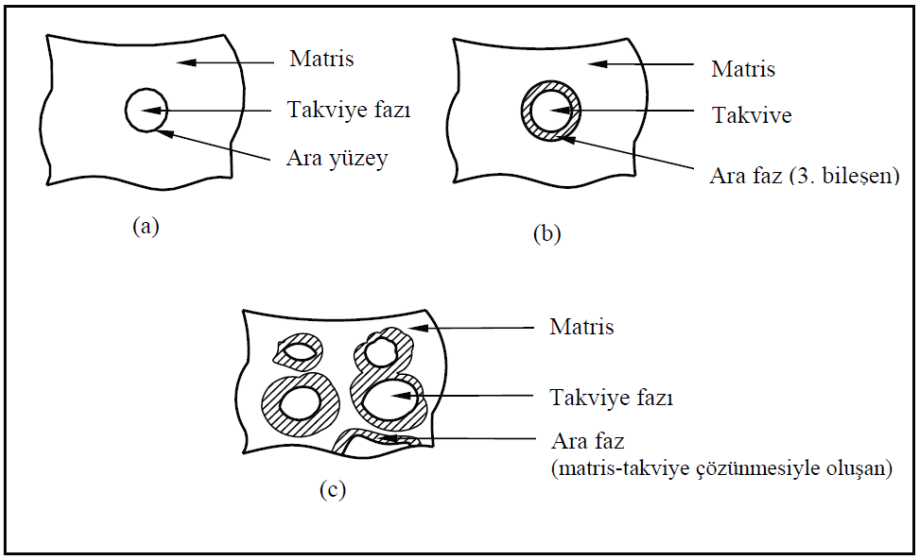


Şekil 1.2 Kompozit malzemelerin takviye malzemesine göre sınıflandırılması (Çanakçı, 2006).

1.2. Kompozitlerin Yapısı

Kompozit malzemeler genellikle; matris ve takviye malzemesi olmak üzere iki kısımdan meydana gelir. Kompozit içinde genellikle daha sert ve daha yüksek dayanıma sahip bileşen kısım takviye olarak adlandırılır. Kompozitin ana yapı malzemesi olarak da tanımlanan, nispeten daha düşük dayanıma sahip olan fakat genellikle sünekliği yüksek olan kısım matris olarak adlandırılır. Matris malzemesinin kompozit sisteminde kompozit malzemeye gelen yükleri takviye malzemelerine iletmek, kompozit malzemenin tokluğunu artırmak, kırılan elyaflardan çatlağın yayılmasını önlemek, kompozit malzemenin mukavemetine katkıda bulunmak, takviye elemanlarını bir arada tutmak (bağlayıcı faz görevi yapmak), takviye ma/lzemelerini ortamın etkilerinden ve darbelerden korumak gibi görevleri vardır. Kompozit malzemenin mekanik özellikleri üzerinde kompoziti oluşturan matris ve takviye malzemelerinin özellikleri, matris ve takviye malzemelerinin hacim oranları, matris takviye arasındaki bağın özellikleri, takviye malzemesinin şekli, yapısı ve kompozit içerisindeki yönlenmesi etkili olmaktadır.

Kompozitin tarifine göre matris ve takviye fazı birbiri içinde çözünmemelidir. Ancak çok az miktarda çözünürlük matris-takviye arasında güçlü bir bağın oluşumunu olumlu yönde etkiler (Şekil 1.3c).



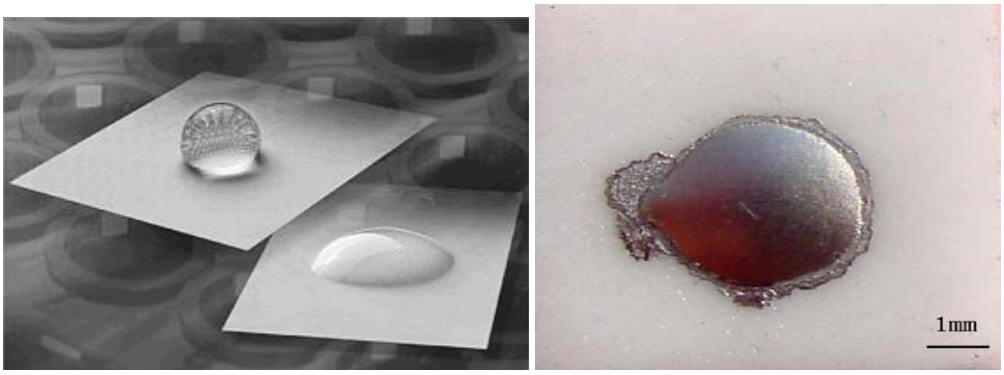
Şekil 1.3 Kompozit malzemede matris-takviye bağı oluşumunda ara yüzey ve ara fazlar a) Doğrudan (arafazsız) birleşme, b) Kaplanmış takviye kullanımı c) Karşılıklı sınırlı oranda çözünmeyle ara faz oluşumu

Matris-takviye ara yüzeyinin yapısı ve özellikleri kompozit malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerini büyük ölçüde etkiler. Çünkü matris üzerine etki eden gerilmelerin takviye elemanına aktarılması ara yüzey aracılığı ile olur(Hull, 1996)(Çanakçı, 2006).

1.2.1. Islatılabilirlik

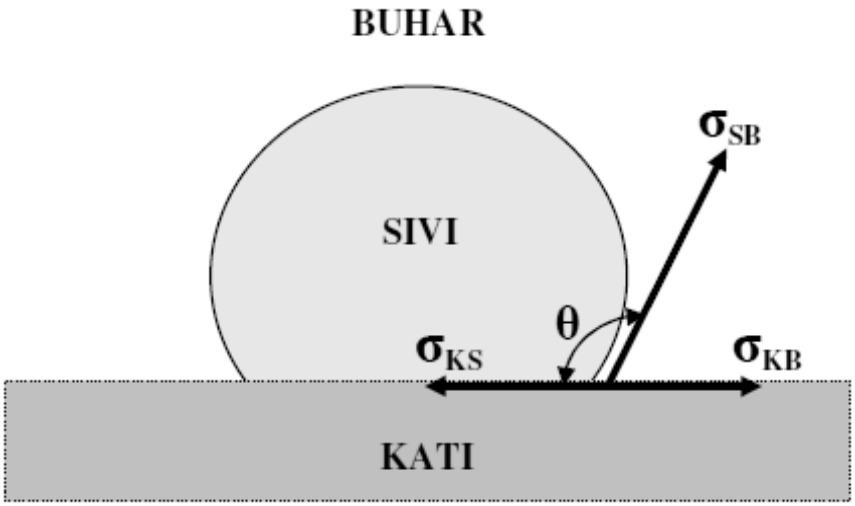
Aristotle, ince altın sac veya maun ağacından küçük bir tahta parçasının su yüzeyinde batmadan yüzdüğünü keşfettikten yüzyıl sonra, Archimedes özgül ağırlık kavramını keşfetmiştir. Altın ve maun ağacının özgül ağırlıkları suyunkinden daha büyük olduğundan suyun üzerinde yüzen bu katıların içinde bulundukları şartlar aynı olamazdı. Aristotle ve Archimedes arasındaki bu tezatlık uzun süren bir tartışmaya neden olmuştur. Bu tezatlık 1612 yılında Galileo'nun, düz ve ince bir katı cismin suda yüzerken katı cismin üst yüzeyinin su yüzeyinin altında kaldığını fark etmesiyle son bulmuştur. Galileo, yüzey gerilmesi ile ilgili kavramı bilmediğinden ve ayrıca katı ve sıvı arasındaki temas açısını ölçemediğinden savunması yetersizdi ancak, yayılma ve ıslanabilirlik ile ilgili fikirleri doğruydu. Galileo'nun o tarihte keşfettiği kavram bugün bildiğimiz "kapiler çökme" (batma) idi. Galileo'dan yaklaşık 200 yıl sonra temas açısı üzerine yapılan bilimsel

araştırmalar, Young'ın da adını aldığı denklem ile bugüne kadar gelinmiştir(Tekmen, 2006).



Şekil 1.4 Islatılabilirlik, a) Bir sıvı damlasının katı altık üzerinde yayılmasını gösteren temsili bir resim, b) Metal matris üzerindeki seramik damlacığın yayılımını gösteren bir resim.

Islatılabilirlik, genel anlamda, sıvının katı yüzeyinde yayılabilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Sekil 1.4'de görüldüğü üzere, katı altık üzerinde duran bir sıvı damlasının katı yüzeyi ile yaptığı temas açısı (Θ) ıslanabilirliğin fiziksel bir ölçüsüdür(Liu ve ark., 2010).



Şekil 1.5 Katı yüzey üzerindeki sıvı damlası, ıslatmanın iyi olmadığı sistemde ıslatma açısı ve yüzey enerjilerinin şematik gösterimi.

Sekil 1.5.'de görüldüğü gibi, ıslanabilirliğin bir ölçüsü olan Θ değeri;

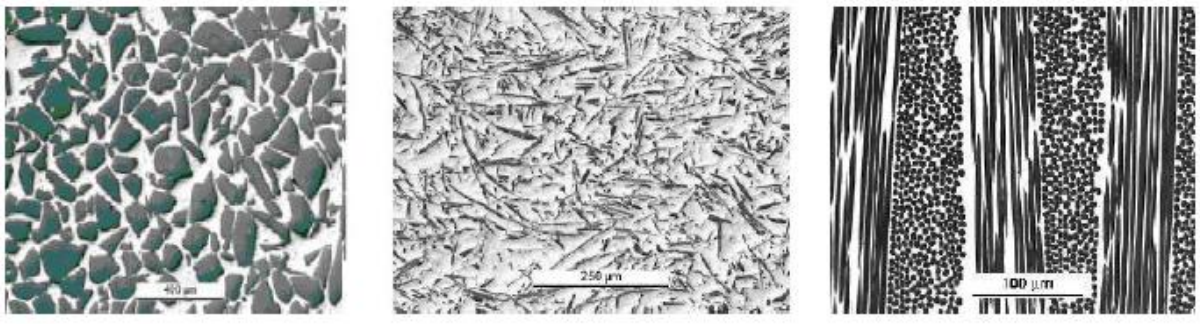
- $\Theta = 0^0$ ise mükemmel ıslatılabilirlik
- $\Theta = 0^0 < \Theta < 180^0$ ise kısmen ıslatılabilirlik
- $\Theta = 180^0$ ise ıslatılabilirliğin olmadığını göstermektedir.

Sekil 1.5'da, Θ : temas açısını, σ_{KB}: katı-buhar arayüzey enerjisi, $\sigma_{KS:}$ katı-sıvı arayüzey enerjisini ve σ_{SB}: sıvı-buhar arayüzey enerjisini göstermektedir. Young-Dupré denklemine göre bu ifadeler arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlik ile verilmiştir:

$$\sigma_{KB} = \sigma_{KS} + \sigma_{SB} . \cos\Theta \qquad (1.1)$$

1.3. Metal Matrisli Kompozitler

Metal matrisli kompozitler ve özellikle de süreksiz (parçacık, kısa fiber, wisker) parçacık takviyeli MMK'in, havacılık ve otomotiv uygulamalarındaki kullanım alanları giderek artmaktadır. Son yıllarda yapısal kompozit alanında aluminyum esaslı süreksiz parçaçık takviyeli MMK'lere ait pratik uygulamalar ve araştırmalar üzerinde durulmaktadır. Araştırmaların büyük çoğunluğu bu ileri malzemelerin üretim işlemi ve özelliklerinin tahmini üzerine olmakla birlikte ikincil üretim teknolojileri olan talaşlı işleme, birleştirme, plastik şekil verme üzerine de araştırmaların yapılması gerekmektedir(Zhang ve ark., 1999).



Şekil 1.6 Takviye malzemesinin geometrisine göre metal matrisli kompozitler, a) Parçacık Takviyeli b) Kısa Fiber Takviyeli c) Sürekli Fiber Takviyeli

1.3.1. Matris malzemeleri

Matrisin temel görevi bağlayıcılara yükü transfer etmek ve dağıtmaktır. Yükün transferi matris ve bağlayıcılar arasındaki ara yüzey bağına bağlıdır (Şahin, 2006). Belirli uygulama alanı için matris seçimi; yoğunluk, çekme dayanımı, yüksek sıcaklık özelliği ve süneklik gibi faktörler yanında üterim metodu ve bunlar arasındaki uyumada bağlıdır. Genelde Al, Ti, Mg, Ni, Pb, Fe, Sn, Zn, Ag, ve Si matris malzemesi olarak kullanılır (Akbulut, 2001). Fakat genelde düşük yoğunluğa sahip Al, Mg, Ti gibi matrislerle en iyi özellikler elde edilir ve en sık kullanılanlardır (Clyne ve Withers, 1993).

1.3.1.1. Alüminyum ve alaşımları

Deschams ve ark.,2001, Durmuş ve ark.,2009 'un açıklamalarına göre; İşlenmiş alüminyum ve alaşımları için dünyada en yaygın olarak kullanılan simgeleme dizisi, Amerikan Standartlar Birliği (ASA) tarafından belirlenen simgeleme dizisidir. Daha önceleri Amerikan Alüminyum Birliği tarafından kullanılan bu simgeleme 1957 yılında standart yapılmıştır. Bu simgeleme ilk elde dört rakam kullanan bir sayılma üzerine Çizelge 1.1 de açıklandığı biçimde kurulmuştur. Buna göre dört rakamlı sayısal simgenin ilk rakamı, hangi temel alaşım elementini içeren alüminyum alaşımı olduğunu belirtmektedir(Burgucu, 2011).

Çizelge 1.1 Alüminyum işlem alasımlarında simgeleme dizisi (Deschams ve ark., 2001)

SIMGE	Temel Alasım Elementi
1xxx	-
2xxx	Bakır (Cu)
3xxx	Mangan (Mn)
4xxx	Silis (Si)
5xxx	Magnezyum (Mg)
6xxx	Magnezyum + Silis
7xxx	Çinko (Zn)
8xxx	Diğer elementler
9xxx	Kullanılmayan dizi

1XXX dizisi, arı alüminyum (% 99,00) belirtir. Son iki rakam ise % 99 değerinin noktadan sonraki rakamlarını ve alüminyum en az aralık değerini belirtir. 1XXX dizisinde soldan ikinci rakam ise özel olarak denetlenen empurite elementlerinin sayısını belirtir ve 1'den 9'a değişebilir. 1042 simgesini örnek verirsek alaşımın arı alüminyum ve arılık değerinin de en az % 99,42 olduğunu belirtir. 1042'deki 0 ise geri kalan % 1,00- % 0,42 = % 0,58 içinde özellikle denetlenen hiçbir elementin bulunmadığını gösterir.

2XXX den 8XXX e kadar olan diziler Çizelge 1.1 de belirtilen alaşımları simgeler. İlk rakam alaşım türünü, ikinci rakam ise değişimleri simgeler. Özellikle denetlenen alaşımların sayısı, 1 ile 9 arasında bir rakamla simge sayısının ikinci rakamı olarak kullanılır. 5065 örneğinde özellikle denetlenen hiçbir alaşım elementi bulunmayan bir Al-Mg alaşımını simgeler.

İşlenmiş alüminyum alaşımları ısıl işlem davranışlarına göre iki bölüme ayrılırlar: Isıl işlem uygulanabilenler ve ısıl işlem uygulanamayanlar. Genellikle 2XXX, 4XXX, 6XXX, 7XXX dizileri ısıl işlemle özellileri yükseltilebilen alaşımlardır. 3XXX ve 5XXX dizilerine ise ısıl işlem uygulanmaz. Bunların dayanımları bileşimlerindeki mangan ve magnezyumdan kaynaklanır. Bu son iki dizi alaşım soğuk islem ile deformasyon sertleşmesine uğrarlar(Burgucu, 2011)(Durmuş ve ark., 2009).

1.3.1.2. Magnezyum ve Alaşımları

Hafif metal alaşımlarından olan magnezyum alaşımlarının endüstriyel uygulamalardaki kullanım alanlarının gelecekte oldukça yaygınlaşacağı ve buna bağlı olarak da magnezyum esaslı kompozit malzemelerin kullanımının da artacağı beklenmektedir. Magnezyumun yoğunluğu 1.74 gr/cm^3 olup, yapısal uygulamalarda kullanılan en hafif metaldir. Düşük ergime sıcaklığı (650°C) ve iyi kaynak kabiliyetine sahip olan magnezyumun ağırlığı alüminyumun üçte ikisi demirin dörtte biri bakır ve nikelin ise beşte biridir. Magnezyum alaşımları, yüksek özgül dayanıma iyi dökülebilirlik özelliğine ve yüksek sönümleme kapasitesine sahiptirler. Bununla birlikte oksijene olan ilgisinin fazla olması, düşük elastik modülü ve düşük yorulma direncine sahip olması ve yüksek sıcaklıklarda sürünme dayanımının düşük olması gibi nedenler kullanım alanlarını sınırlandırmıştır. Alaşım elementi olarak Alüminyum (%2.5-8) ve çinko (%0.5-4) katılarak dayanımları arttırılabilmektedir(Eker, 2008).

1.3.1.3. Titanyum ve Alaşımları

Ti ve alaşımları metal matrisli kompozitlerde matris malzemesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu malzemeler yüzeylerinde ince bir TiO_2 tabakası oluşturduğundan korozyon dirençleri çok iyidir. Titanyum ve alaşımları biyouyum özelliğine sahip olduğundan biyomalzeme olarak da kullanılmaktadır (Ni-Ti alaşımları). Çok pahalı bir malzeme olmakla birlikte ısıl genleşme katsayısı çok düşük olduğundan yüksek sıcaklık uygulamalarında tercih edilmektedir. Özellikle çok iyi mukavemet/Özgül ağırlık oranına sahip olduğundan dolayı uzay ve uçak sanayinde kullanılmaktadırlar(Varol, 2012).

1.3.1.4. Bakır ve Alaşımları

Metal matrisli kompozit malzemelerde bakır ve alaşımlarının kullanımı genellikle elektrik devre elemanları gibi elektronik sistemlerde görülmektedir. Genellikle bakır matris içersine grafit parçacıklar ilave edilerek düşük termal genleşme katsayısına sahip iletkenliği iyi olan malzemeler elde edilebilir. Ayrıca katı yağlayıcı olarak grafitin kullanıldığı metal matrisli kompozit malzemelerin yatak malzemesi olarak kullanımı kurşun kullanımından kaynaklanan zehirleyici etkiyi ortadan kaldırmaktadır(Varol, 2012).

1.3.2. Takviye malzemeleri

MMK malzemelerin üretiminde, temin edilebilmelerindeki kolaylık, matris malzemesi ile uyumluluk, elastiklik modülü, çekme dayanımı, yoğunluk, ergime sıcaklığı, ısıl kararlılık, ısıl genleşme katsayısı, boyut ve şekil, kimyasal bileşim, partikül yapı gibi özellikler göz önünde tutularak, kimyasal yapılarına göre oksitler, karbürler, nitrürler ve diğer (paslanmaz çelik, karbon vs.) olmak üzere dört ana grupta incelenebilecek takviye malzemeleri kullanılmaktadır(Toptan, 2006).

Metal matrisli kompozitlerde ana hedef, düşük yoğunluklu ve yüksek dayanımlı malzemeler elde etmektir. Bu özellikler yapı içersine katılan ve yukarıda adı geçen seramik fazlarla sağlanır.

Çizelge 1.2 MMK'lerde kullanılan bazı takviye malzemelerinin özellikleri(Toptan, 2006).

Takviye Malzemesi	Yoğunluk ($x10^{3}kgm^{-3}$)	Isıl Genleşme Katsayısı ($10^{-6}C^{-1}$)	Ergime Sıcaklığı ($^{\circ}C$)	Mukavemet (Mpa)	Elastiklik Modülü (GPa)
Al_2O_3	3.98	7.92	2100	221 (1090 $^{\circ}C$)	379 (1090 $^{\circ}C$)
SiC	3.21	5.40	2750	-	324 (1090 $^{\circ}C$)
C	2.18	-1.44		-	690
SiO_2	2.66	<1.08	1710	-	73
AlN	3.26	4.84	2375	2069 (24$^{\circ}C$)	310 (1090 $^{\circ}C$)
B_4C	2.52	6.08	2420	2759 (24$^{\circ}C$)	448 (24 $^{\circ}C$)

1.3.2.1. Bor Karbür (B_4C)

Sahip olduğu yüksek sertlik, mukavemet ve düşük yoğunluk özelliklerine rağmen yüksek maliyeti sebebiyle kompozit malzemelerdeki kullanımı henüz istenene seviyeye gelmemiştir. Çok az malzemede bulunan, sıcaklıkla çekme mukavemetinin artması da Bor Karbür'ü diğer takviye malzemelerine göre ön plana çıkarmaktadır. B_4C takviyeli kompozitin işleme problemleri ve mekanik özelliklerdeki sınırlamalar alüminyumun matris malzemesi olarak kullanımıyla önemli ölçüde azaltılabilmektedir(Kumdalı, 2008).

Yoğunluğu 2,51 g/cm3, Ergime Sıcaklığı 2450°C, Çekme Dayanımı 155 N/mm2, (980°C)-162 N/mm2(1425°C), Eğme dayanımı 345 N/mm^2, ve Basma Mukavemeti 2850 N/mm^2 olan Bor Karbür(B_4C) yalnızca HF, H_2SO_4, HNO_3 karışımlarında yavaşta olsa çözünebilmektedir(TMMOB, 2003).

1.3.2.2. Alümina (Al_2O_3)

Alüminanın takviye malzemesi olarak en yaygın kullanıldığı matris malzemesi alüminyum ve alaşımlarıdır. Metal matrisli kompozit üretimi ile ilgili literatür araştırması yapıldığında bu durum net bir şekilde görülmektedir(Ying, 2000). Alüminanın sahip olduğu yüksek sıcaklık dayanımı, yüksek modül ve rijitlik, takviye elemanı olarak kullanılmasının en önemli nedenlerindendir.

1.3.2.3. Silisyum Karbür (SiC)

Metal matrisli kompozitlerde kullanılan önemli takviye elemanlarından biri de SiC'dür(Gan, 2008). Parçacık ve whisker tipinde SiC takviyeleriyle üretilen metal matrisli kompozit malzemelere ekstrüzyon, haddeleme vb. plastik şekil verme işlemleri uygulanabilmektedir. SiC'ün en önemli avantajı maruz kaldığı yüksek sıcaklık şartlarında özelliklerini koruyabilmesidir.

1.4. Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Farklı matris ve takviye malzemelerinin kullanılıyor olması MMK'lerin üretiminde farklı tekniklerin geliştirilmesine sebep olmuştur. Üretim sırasında matrisin sıvı, katı veya buhar fazında olmasına göre MMK'lerin üretim yöntemleri şekilde gösterildiği gibi sınıflandırmak mümkündür(Eker, 2008).

1.4.1. Katı faz üretim yöntemleri

- Difüzyonla bağlama
- Toz metalurjisi (TM)
- Haddeleme

1.4.2. Sıvı faz üretim yöntemleri

- Sıvı Metal İnfiltrasyon
- Basınçlı İnfiltrasyon
- Basınçsız İnfiltrasyon
- Sıkıştırma Döküm
- Sıvı Metal Karıştırma
- Plazma Püskürtme

1.4.2. Diğer Yöntemler

- Rheocasting ve Compocasting Döküm Yöntemleri
- Vidalı Ekstrüzyon
- In-Situ Tekniği
- XD Tekniği

1.5. Toz Metalurjisi

1.5.1. Giriş

Toz metalurjisinin amacı, mekanik ve fiziko-kimyasal yöntemlerle metal ve metalik alaşımların tozlarını üretmek ve tozlardan ergitmeden basınç ve sıcaklık yardımıyla iş parçası üretmektir. Sinterleme denilen bu ısıl işlem toz partiküllerinin birbirine bağlanmasını sağlayarak, malzemenin mekanik mukavemetini artırır. Böylece daha dayanıklı malzeme elde edilmesini sağlar. Tek bileşenli sistemlerde sinterleme sıcaklığı metalin mutlak ergime sıcaklığının 2/3 ile 4/5 arasındadır. Çok bileşenli sistemlerin sinterlenmesinde genellikle metalik bünye içindeki düşük oranlı karışım elemanlarının ergimesi istenir(Şahin, 2006).

Metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan en yaygın yöntemlerden biri toz metalurjisi tekniğidir. Seramik partiküllerin sıvı metal tarafından ıslatılmasındaki güçlüğü nedeniyle toz metalurjisi ile kompozit üretimi ilk geliştirilmiş tekniklerden birisidir. Bu teknikte genel olarak partikül veya whisker formunda takviye elemanları ile toz haldeki metal kullanılarak, metal matrisli kompozit malzeme oluşturulur. Yaygın kullanılan takviye elemanları silisyum karbür, grafit, titanyum karbür, en çok kullanılan matris malzemeleri ise alüminyum, titanyum ve bakırdır.

1.5.2. Toz metalurjisi yönteminin avantaj ve dezavantajları

Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen parçaların genelde sıvı hal üretim yöntemleriyle üretilmiş parçalardan daha iyi mekanik özelliklere sahip oldukları bilinmektedir. Özellikle partikül takviyeli metal matrisli kompozitlerin üretiminde bu yöntemin tercih edilmesinin nedenleri şu şekilde sıralanabilir;

- Toz metalurjisi (TM) ile üretilen metal matrisli kompozit malzemelerin üretimi daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilmektedir. Bunun sonucunda Matris ve takviye elemanı arasında daha az etkileşim olmaktadır. Böylece mekanik özelliklerin azalmasına neden olan istenmeyen arayüzey reaksiyonları en aza indirgenmiş olmaktadır.
- Takviye elemanının matris içinde homojen dağılımının sağlanabilmesi ancak TM yöntemiyle gerçekleştirilebilmektedir. Döküm metotlarında tam homojen olmayan parçacık dağılımı elde edildiğinden TM yöntemi tercih edilmektedir.

- Döküm tekniği yerine TM yöntemi kullanılarak parçacık veya Whisker takviyeli kompozit üretimi hem daha kolay olmakta hem de daha homojen yoğunluklu kompozit parça üretilebilmektedir.
- Yüksek takviye hacim oranının elde edilmesi mümkün olmaktadır. Bundan dolayı da yüksek elastisite modülüne ve düşük termal genleşme katsayısına sahip kompozitler üretilebilmektedir.

Toz Metalurjisi yönteminin üstünlüklerine rağmen bazı dezavantajları da mevcuttur;

- Toz karıştırma işlemi sırasında, kısa fiber takviyesinin yapıldığı uygulamalarda kısa fiberler kırılabilmektedir.
- Büyük parçalar için çok yüksek basınç gerektirmesi maliyeti arttırır. Sıcak presleme sonrası genelde parçaya son şeklini vermek için ekstrüzyon, haddeleme veya dövme gibi ikincil işlem yapmak gereklidir. Bunlara ek olarak, toz kullanımı temizlik gerektirir. Aksi halde yabancı maddeler, artıklar vb., malzeme içine nüfuz ederek mekanik özellikler üzerine olumsuz etki yapabilmektedir(Şahin, 2006).

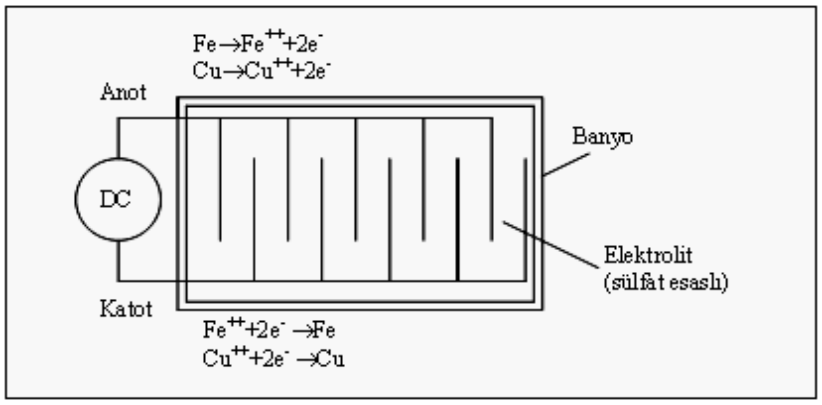
1.5.3. Metal tozların üretimi

Metal tozlarının imalinde kullanılan teknikler, tozların birçok özelliklerini tayin eder. Tozun geometrik şekli üretim yöntemine bağlı olarak küreselden, karmaşık şekle kadar çok farklı olabilmektedir. Tozun yüzey durumu da üretim yöntemine göre değişiklik göstermektedir. Malzemelerin çoğu, özelliklerine uygun bir teknik kullanılarak toz haline getirilebilir(Ünal, 2007). Bir çok toz üretim tekniği arasından, ticari olarak şu teknikler kullanılmaktadır;

- Elektrolitik ayrıştırma yöntemi
- Kimyasal yöntemler
- Atomizasyon yöntemi
- Mekanik yöntemler
  - ✓ Talaş kaldırma
  - ✓ Değirmende öğütme
  - ✓ Mekanik alaşımlama

1.5.3.1. Elektrolitik ayrıştırma yöntemi

Elektroliz yöntemiyle, oksitlerden oluşan tozlar katoda akım vermek suretiyle elektrolitik banyoda çökertilir ya da iyi kırılabilme özelliğinde katot da toplanır (Şekil 1.7). Banyo teknesi kurşun kaplıdır. Elektrolitik olarak bakır sülfat ve sülfürik asit kullanılır. Anot bakır katot ise antimuanlı kurşundur. Elektroliz yöntemi ile genel olarak bakır tozları imal edilir.



Şekil 1.7 Elektroliz ile toz üretimi

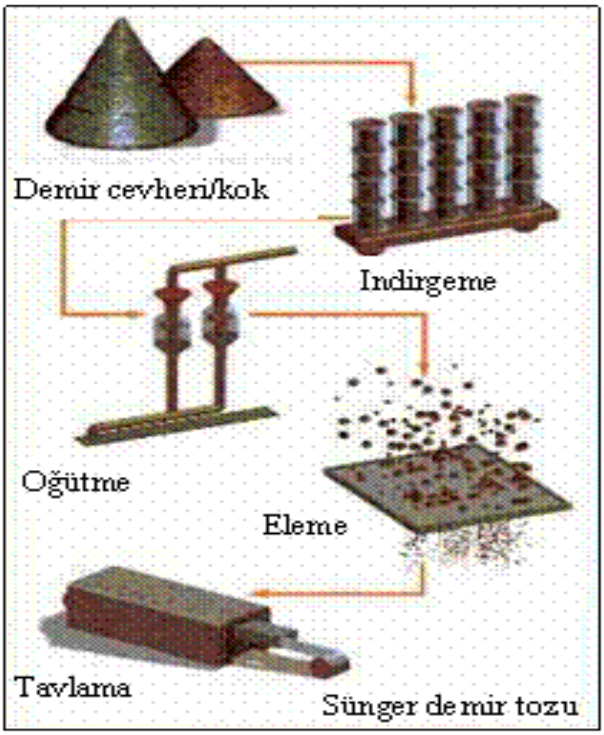
Elektroliz yönteminde, elektrolitik banyoda çökertilen veya katotta toplanan metal kolaylıkla öğütülerek ince toz haline getirilir ve üretilen tozlar yıkanarak elektrolitten iyice temizlenir. Kurutma asal gazlar altında yapılarak oksitlenme önlenir. Elektroliz sırasında oluşan parçacıklar dendritik bir yapı gösterirlerse de daha sonraki işlemlerle bu yapı kaybolur. Elektrolitik tozların en büyük avantajı yüksek safiyetleri, dolayısıyla iyi sıkıştırabilme özelliklerine sahip olmalarıdır(Ünal, 2007).

1.5.3.2. Kimyasal yöntemler

Metal tozlarının kimyasal yöntemle üretimi, metal oksitlerin (demir, bakır, tungsten, molibden, nikel ve kobalt) CO veya hidrojen gibi indirgeyici gazlarla Oksitlerinden kimyasal olarak indirgenmesidir.

Kimyasal yöntemle üretilen sünger-demir tozu bu yöntemin önemli bir uygulama örneğidir. Sünger demir, demir oksit cevherinin uygun nitelikte indirgeyici elemanlara indirgenerek süngerimsi bir kütleye dönüştürülmesiyle elde edilir. Magnetit (Fe_3O_4), kok ve kireç taşı ile karıştırılır ve seramik kaplara doldurulur. Karışım seramik kaplar içerisinde 1260 °C sıcaklıktaki fırınlarda 68 saat bekletilir. İndirgenmenin tamamlanması

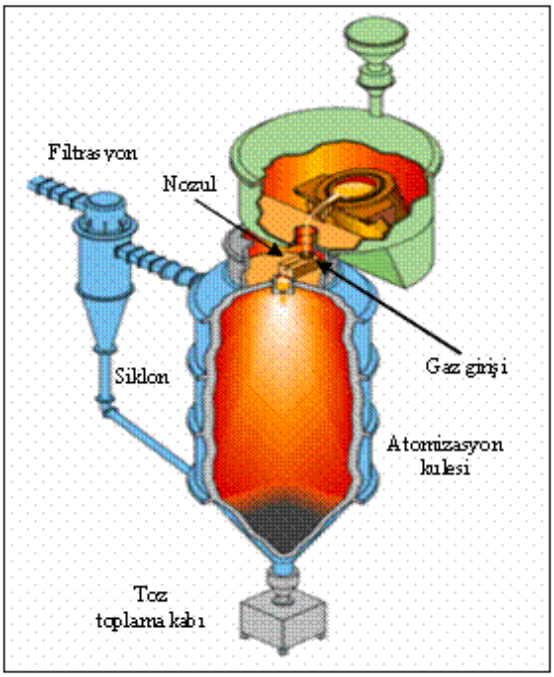
ile sünger demir elde edilir. Şekil 1.8'de kimyasal yöntemle demir tozu imalatı görülmektedir. Elde edilen sünger demir külçeleri yüksek sıcaklıkta (1260 °C) birbirine kaynak olmuş tozlardan oluştuğundan öğütülerek istenilen tane büyüklüğüne getirilir. Hidrojen gazı altında 870 °C'de tavlanarak oksijen ve karbondan mümkün olduğu kadar arıtılır ve son olarak elekten geçirilir(Ünal, 2007).



Şekil 1.8 Kimyasal yöntemle demir tozu üretimi(Ünal, 2007).

1.5.3.3. Atomizasyon yöntemi

Bir sıvı demetinin farklı boyutlarda çok sayıda parçacıklara bölünmesi olarak tanımlanır. Atomizasyon tekniği ile bir tozun ortalama boyutu, tane boyut dağılımı, toz sekli yüzey kompozisyonu da dâhil olmak üzere kimyasal bileşimi ve mikro yapısı kontrol edilebilir. Sıvı metalin gaz jeti ile parçalanması, gaz atomizasyonu, su jeti ile parçalanması ise su atomizasyonu olarak bilinir. En yaygın olarak kullanılan bu iki yönteme ilaveten merkezkaç kuvvetlerinin kullanılması olarak bilinen santrifüj atomizasyon, atomizasyon ile toz üretim tekniklerinden bazılarıdır.



Şekil 1.9 Düşey gaz atomizasyon ünitesi(Ünal, 2007).

1.5.3.4. Mekanik yöntemler

Mekanik yöntemler talaşlı üretim, öğütme ve mekanik alaşımlama olmak üzere üç grupta incelenebilir.

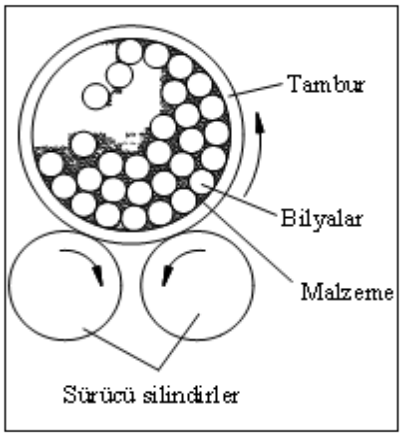
1.5.3.4.1. Talaşlı Üretim

Bu yöntemle tornalama, frezeleme ve taşlama gibi talaş kaldırma teknikleri kullanılarak çok iri ve karmaşık tozlar üretilir. Üretilen tozlar, öğütülerek ince tozlar haline getirilebilir. Toz özelliklerinin kontrolündeki zorluk, oksitlenme, yağlanma, kir tutma ve diğer malzeme hurdaları ile karışarak kirlenme problemleri olabilir. Yüksek karbonlu çelik tozları bu yöntemle üretilir(Ünal, 2007).

1.5.3.4.2. Öğütme

Bir metal tozu üretim tekniği olmakla birlikte, diğer tekniklerle üretilmiş tozların kırılması için de kullanılan öğütme, en çok bilyeli değirmenlerde yapılmaktadır. Kırılgan

malzeme tozlarının üretiminin yapıldığı bu yöntemde, temel prensip parçalanacak malzeme ile sert bir cisim arasında bir darbe meydana gelmesini sağlamaktır.

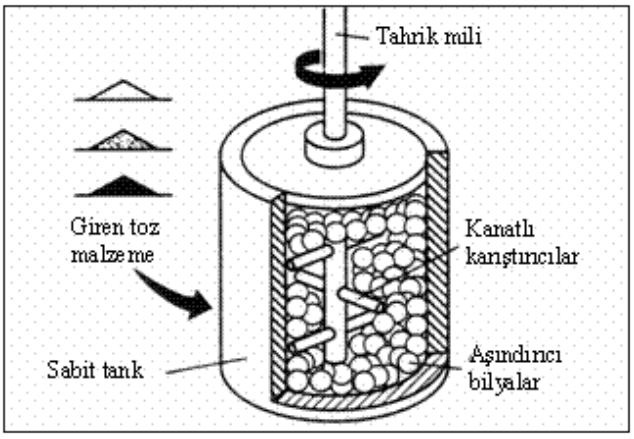


Şekil 1.10 Bilyeli Öğütme

Öğütülecek metal, içinde büyük çaplı sert ve aşınmaya karşı dayanıklı bilyelerin bulunduğu kaba, önceden kaba bir biçimde kırılmış olarak yerleştirilir. İri taneli öğütülecek malzeme öğütücü kap içinde büyük çaplı, sert ve aşınmaya karşı dayanıklı bilyeler ile birlikte döndürülerek veya titreştirilerek darbe etkisiyle çok küçük tozlara bölünür (Şekil 1.10).

Eğer öğütülen malzeme gevrek ise, bilyelerle çarpışmanın etkisiyle çok küçük tozlara bölünür. Öğütülen malzeme sünek parçacıklardan oluşuyor ise, çarpışma sonucunda şekil değiştirerek yassılaşırlar. Homojen bir karışım için kaba konulacak bilyelerin hacmi ve öğütülecek malzeme miktarı çok önemlidir. Bilyelerin hacmi kap hacminin yaklaşık yarısı ve öğütülecek malzeme miktarı kap hacminin yaklaşık % 25'i oranında olmalıdır. Demir alaşımları, demir – krom, demir – silisyum v.b. kırılgan malzemeler mekanik olarak bilyeli değirmenlerde öğütülürler.

1.5.3.4.3. Mekanik alaşımlama



Şekil 1.11 Mekanik alaşımlama yöntemi

Mekanik alaşımlama (MA) yöntemi, kuru ve katı haldeki tozların birbirlerine periyodik olarak kaynaklanmasını ve tekrar bu kaynakların kırılmasını sağlayarak daha ince ve homojen bir mikroyapıya sahip yüksek dayanımlı kompozit malzemelerin üretilmesinde kullanılır. MA yönteminde tozlar kapalı bir kap içerisine konulur ve şaft döndürülür (Şekil 1.11). Tozlar, şaft kolları ve bilyeler yardımı ile deforme edilir ve bu tozlarda kırılma ve soğuk kaynaklaşmalar meydana gelir.

1.6. Mekanik Alaşımlama

1.6.1. Giriş

MA işleminde tozlar gerekli olan yüksek enerji ile ufalanır ve ilk karışımda oluşan toz parçacıklar soğuk olarak yeniden kaynak olur. Son tozun mikroyapısı, genellikle atomizasyonla elde edilen tozlardan daha incedir. Mikroyapı hızlı soğutma teknikleri kullanılarak elde edilenler benzer tane boyutu seviyesine sahiptir. Bunun dışında, toz parçacıkları, bilyeler arasına tuzaklanır ki mikroyapının uzamasına yola açar ve bu da mekanik özelliğini arttırır.

MA tekniği özellikle metal matrisli kompozit malzemelerin üretimi için uygun bir metottur. Çünkü diğer metotlarla elde edilen özelliklerden daha iyi özelliklerin eldesine müsaade eder. Bu metotla, takviye parçacıklarının yığılmasından kaçınılır ve matris içinde takviye parçacıklarının homojen dağılması sağlanır. Bunun ötesinde, bu sürekli çarpma,

takviye elemanının içinde hata mevcutsa onu yok eder ve kompozit malzemenin ani kırılmasını geciktirir. Bu tekniğinin kullanımı ile ve bu tozlarla, sadece hammadde değil, diğer tekniklerle oluşan problemler elemine edilmektedir. Fakat daha iyi toz üretimi nedeniyle iyileştirilmiş özellikli malzemelerin elde edilmesine müsaade eder(Suryanarayana, 2001).

Mekanik alaşımlamanın avantajları;

- Yapı tamamen homojen elde edilir. Böylece segregasyon problemi ortadan kalkmış olur.
- Diğer üretim metotlarının aksine termodinamik olarak alaşımlamada kompozisyon sınırlaması yoktur. Böylece çok geniş ve alışagelmemiş alaşımlamalarda malzeme üretilir.
- Bir seferde çok miktarda toz üretmek ve dolayısıyla alaşımlamak mümkündür, fabrikasyonu kolaydır.
- Termomekanik işlem sırasında tane yapısının kontrol edilmesinden dolayı değişik özellikler ortaya çıkabilir.

Mekanik alaşımlamanın dezavantajları;

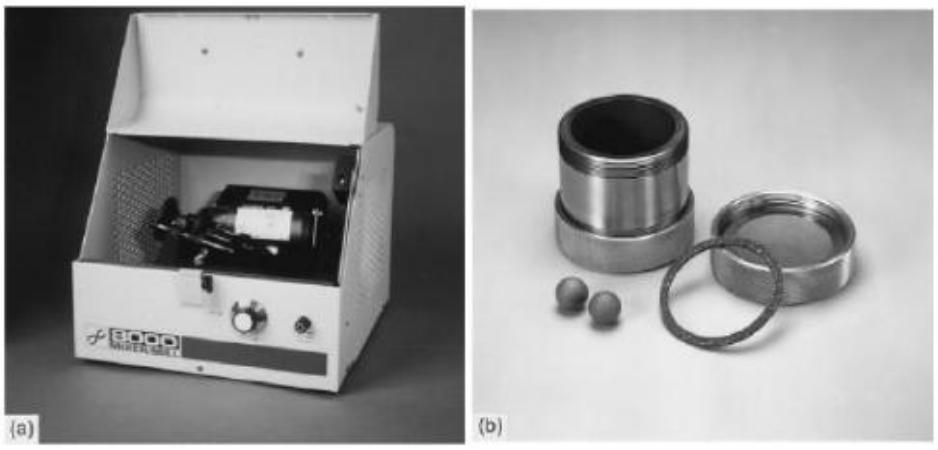
- Toz zerrelerinin çok küçük boyutu, geniş yüzey alanının mevcudiyeti ve öğütme sırasında yeni yüzeylerin oluşması gibi etkenlerin bir araya gelerek tozun kirlenmesi. Toz kirlenme düzeyini düşürmek ya da en aza indirgemek için birçok yöntem önerilmişse de, bunların en yararlıları şunlardır.
  - ✓ Saflık derecesi yüksek metallerin kullanılması,
  - ✓ Saflık derecesi yüksek atmosferin kullanılması,
  - ✓ Toz ile aynı malzemeden yapılmış bilye ve kabın kullanılması,
  - ✓ Bilyelerin öğütülmekte olan malzeme ile kaplattırılması,
  - ✓ Müsaade edilen en kısa öğütme süresinin uygulanması,
  - ✓ Mekanik alaşımlamada işlem parametrelerinin çok fazla olması

1.6.2. Kullanılan öğütücü türleri

MA'nın önemli bir kısmını teşkil eden öğütme işlemi, tane boyutunu küçültme, harmanlama ve alaşımlama gibi evreleri kapsar. Bu aşamalarda amaca yönelik çok çeşitli öğütücüler kullanılır. Öğütücüler veya değirmenler kapasiteleriyle, öğütme verimlilikleriyle, soğutma ve ısıtma gibi ek üniteleriyle farklılık gösterirler(Suryanarayana, 2001).

1.6.2.1. SPEX tipi öğütücü

SPEX tipi çalkalayıcı değirmenler bir kerede yaklaşık 10-20 gr arasında toz öğütebilen laboratuar çalışmaları amacı ile kullanılmaktadırlar. Sahip oldukları hazne, tozu ve öğütme bilyelerini tutar ve dakikada birkaç bin defa ileri-geri ve sağa-sola hareket ile çalışır. Haznenin her bir salınımıyla bilyeler tozlara çarpar ve haznedeki tozu hem öğütür hem de karıştırır. SPEX türü değirmenlerin yüksek enerjisinden kaynaklanan sıcaklık artışı ve koruyucu atmosfer karşılaşılan temel problemlerdir. Bu tip MA cihazlarının yeni tiplerinde öğütme zamanını uzatmak için basınçlı soğutma kullanılmaktadır. Şekil 1.12'de SPEX değirmen ve öğütme kabı, kapak, conta ve bilyelerden oluşan öğütme seti görünmektedir(Suryanarayana, 2001).



Şekil 1.12 SPEX tipi karıştırıcı (a) SPEX bilyeli değirmen, (b) SPEX 8000 tipi karıştırıcının; öğütme kabı, kapak, conta ve bilyelerden oluşan öğütme seti

1.6.2.2. Planetary tipi öğütücü

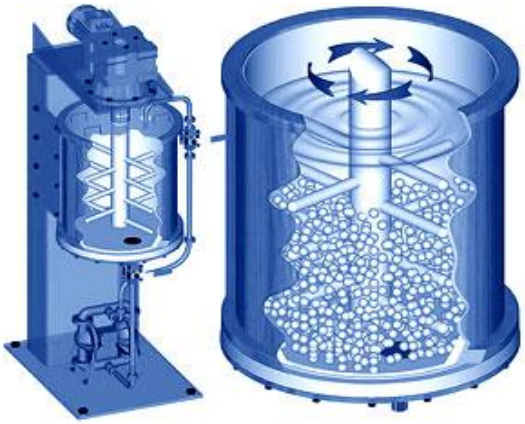
MA deneylerini yapmak için diğer bir öğütücü de “planetary” bilyeli değirmendir (şekil 1.13). Bu değirmende birkaç yüz gram toz bir defada öğütülebilir. Bu değirmenler haznelerinin gezegen gibi hareket etmesinden dolayı “planetary” ismini alırlar. Bunlar dönen bir destek diski üzerine yerleştirilirler ve kendi eksenleri etrafındaki hareketlerini, özel bir mekanizmadan alırlar. Kendi eksenleri etrafında dönen hazneler tarafından oluşan merkezkaç kuvveti ve dönen destek disk tarafından oluşturulan ilave kuvvetle beraber, hazne içinde öğütülen malzeme ve öğütme bilyelerine etki ederler. Hazne ve destek diski zıt yönlerde döndüğü için merkezkaç kuvvetler sırası ile benzer ve zıt yönde etkir. Bu öğütme, bilyelerinin haznenin iç duvarlarından aşağıya doğru kaymasına neden olur. Sürtünme etkisi, öğütülen malzeme ve öğütme bilyelerinin serbest kalıp hazne içerisinde, serbest dolaşması ve karşı duvara çarpmasıyla devam eder. SPEX değirmenlere göre daha düşük enerjili değirmenler olarak düşünülebilir(Suryanarayana, 2001).



Şekil 1.13 Planetary tipi bilyeli değirmen

1.6.2.3. Atritör tipi öğütücü

Bir diğer MA değirmeni çeşidi olan atritör, içerisinde bir seri karıştırıcılar bulunan dikey bir silindirden oluşur. Biri diğerine dik yerleştirilen karıştırıcılar, kazan içerisindeki bilyelere enerji verir. Bilyelerin, kap duvarıyla, birbirleriyle ve karıştırıcı mil arasındaki çarpışmalarıyla toz boyutunun küçülmesine neden olur. Güçlü bir motor karıştırıcıyı çevirir ve bu çevrilen karıştırıcı da sabit silindir içerisindeki çelik bilyeleri ve tozları hareket ettirir. Atritörler, içerisinde bir seferde çok miktarda tozun (0,1 kg.'dan 40 kg'a kadar) öğütülebildiği değirmenlerdir (şekil 1.14). MA işlemini farklı atmosferlerde yapmak mümkündür. Aynı zamanda, dış kazan etrafında dolaşan soğutma sıvısı yardımı ile işlem sırasında sıcaklığın kontrolü mümkündür(Suryanarayana, 2001).



Şekil 1.14 Atritör tipi (dikey) bilyeli değirmen

1.6.3. Mekanik alaşımlamada işlem parametreleri

1.6.3.1. Giriş

Mekanik alaşımlama (MA) istenilen fazı, mikroyapıyı ya da özellikleri elde edebilmek için uygulanan, çok sayıda değişken içeren karmaşık bir işlemdir. Bununla beraber toz karışımının içeriği ve yapısı bu değişkenler arasında dikkate alınmayacaktır. Bunlarla öğütülmüş tozlarda, faz oluşumunun(intermetalik, katı çözelti, amorf) yapısı belirlenecek ve sonraki bölümlerde gösterilen bu konular tartışılacaktır. Belirli bir toz içeriği için, öğütülmüş tozun son haline gelmesinde, aşağıdaki bazı önemli değişkenler büyük bir etkiye sahiptir.

- Öğütme tipi
- Öğütücü kap
- Öğütme enerjisi/hızı
- Öğütme zamanı
- Aşındırma ortamının boyut dağılımı, boyutu ve tipi
- Bilye/toz oranı
- Kap doluluk oranı
- Öğütme atmosferi
- İşlem kontrol katkısı (İKK)
- Öğütme sıcaklığı

Bu işlem değişkenleri tamamen bağımsız değildir. Mesela uygun öğütme zamanı, öğütücü tipine, aşındırıcı boyutuna, öğütücü sıcaklığına ve bilye/toz oranı gibi değişkenlere bağlıdır. Ayrıca öğütülmüş tozlara, bilye/toz oranı arttırılarak veya uzun süre öğütülerek, fazla enerji uygulanabilir. Benzer olarak diğer kısımlarda birbiri ile ilişkilidir(Suryanarayana, 2001).

1.6.3.2. Öğütme tipi

Mekanik alaşımlama için farklı öğütücü tipleri mevcuttur. Toz tipine, toz miktarına ve istenen içeriğe göre öğütücü tipi seçilebilir. Fristch Pulverisette planet, toplu öğütücü veya atritör büyük miktarda öğütülmüş tozları üretmek için kullanılır.

Kirlenme derecesi, amorf faz oluşum miktarı, partikülleşme sıcaklığı, amorf fazın partikülleşmesi için aktivasyon enerjisi, kullanılan öğütücü tipine bağlıdır. Örneğin; araştırmacılar Zoz simoloyer ve SPEX 8000D öğütücülerinde Ni- %47 Mo toz karışımında Mekanik alaşımlama deneyi yapmışlardır. Farklı yapılı amorf faz oluşumu ile sonuçlanmıştır. Örneğin SPEX öğütücüde öğütülen tozların, öğütme zamanının artması ile partikülleşme sıcaklığı azalmıştır ve partikülleşme için gerekli aktivasyon enerjisi Yüksek enerjili bilyeli değirmende öğütücüde, öğütülmüş tozdan daha düşüktür(Suryanarayana, 2001).

1.6.3.3. Öğütücü kap

Öğütülecek malzemelerin öğütme kabının iç duvarlarını aşındırması durumunda malzeme kirliliği oluşabilir. Bu durumu engellemek için öğütücü kap malzemesi çok önemlidir. Öğütücü kap aşınması tozu kirletebilir yada kimyasını değiştirebilir. Örneğin; bakır kap içersinde Cu-In-Ga-Se toz karışımının öğütülmesi boyunca, üretilen tozun içindeki bakır miktarı, başlangıçtaki miktardan daha yüksektir. Bu durum öğütücü kap ve aşındırıcı bilyelerden dolayı tozun içersine bakır tozlarının karışmasından dolayıdır. Öğütücü kap malzemelerine bakacak olursak sertleştirilmiş çelik, takım çeliği, temperlenmiş çelik, paslanmaz çelik, WC-Co gibi malzemeler yaygın olarak kullanılan malzemelerdir(Suryanarayana, 2001).

1.6.3.4. Öğütme Hızı

Mekanik alaşımlama işleminde en önemli etkenlerden biri öğütme hızıdır. Bilye çarpışmaları ile parçacıkların maruz kaldığı aşırı plastik deformasyon parçacıkların birbiri ile soğuk kaynak olması ve kırılmasını sağlamaktadır(Çanakçı, 2011). Bu da ancak optimum bir öğütme hızı ile sağlanabilir. Değirmen dönme hızı arttıkça toza aktarılan enerjinin daha fazla olacağı açıktır. Ancak, değirmen tasarımına bağlı olarak ulaşılabilecek maksimum hızda, belirli sınırlamalar vardır. Örneğin, geleneksel bilyeli değirmenlerde artan dönme hızına paralel olarak bilyeler haznenin iç duvarına yapışır ve darbe kuvveti oluşturmak için aşağı düşmezler. Bu yüzden, kullanılan maksimum hız kritik hızdan biraz az olmalıdır ki, bilyeler etkin biçimde çarpışma enerjisi oluşturmak için tepe yükseklikten aşağıya düşebilsinler veya çarpışma süreci etkin olabilsin. Maksimum hız için sınırlama yüksek hızlarda (veya öğütme yoğunluğunda) olmaktadır. Kabın sıcaklığı yüksek değerlere ulaşabilir. Difüzyon tozlardaki alaşımlama ve homojenizasyonu ilerletmek için gereklidir. Bu bazı durumlarda avantaj olabilir. Çünkü artan sıcaklık, öğütme sırasında şekillenen diğer yarı kararlı fazların veya aşırı doymuş katı çözeltilerin ayrışması ve dönüşüm işlemleriyle hızlanır. Sonradan oluşan sıcaklıklarda da tozlar kirlenebilir.

Maksimum hıza diğer bir sınırlama da yüksek hızlarda haznenin sıcaklığının yüksek değerlere ulaşmasıdır. Ayrıca, oluşan yüksek sıcaklık tozu kirletebilir. Farklı tür değirmenlerde erişilen maksimum sıcaklıklar birbirinden çok farklıdır. Isının olumsuz

yönde etkilediği sistemlerde soğutma sıvısı olarak sistemin türüne bağlı olarak gaz veya sıvı kullanılabilir.

1.6.3.5. Öğütme zamanı

Öğütülen tozlarda öğütme zamanı en önemli parametrelerden biridir. Normalde zaman, toz parçacıklarının arasında parçalanmanın ve soğuk birleşmenin dengeye ulaşmasını sağlamak için seçilir. Zaman; kullanılan değirmen tipine, öğütme şiddetine, bilye/toz oranı gibi çeşitli durumlara bağlıdır. Gerekli zaman üstteki parametreler göz önüne alınarak itinalı bir şekilde ayarlanır. Eğer gerekli zamandan fazla alaşımlama yapılırsa kirlilik seviyesi ve bazı istenmeyen fazlarda artış görülebilir. Bu yüzden istenilen süre içerisinde tozlar öğütülmelidir. Genel olarak yüksek enerjili öğütmelerde kararlı hal şartlarını sağlamak amacıyla kısa tutulurken, düşük enerjili öğütmelerde süre daha uzun tutulur. Ayrıca bilye/toz oranı daha yüksek ise zaman kısa tutulurken, düşük olduğunda öğütme süresi uzun tutulur((Suryanarayana, 2001).

1.6.3.6. Bilye/Toz ağırlık oranı

Bilyelerin ağırlığının toz ağırlığına oranı (BTO), bazen dolum oranı olarak da adlandırılır. Bu parametre, öğütme işleminde önemli bir değişkendir. Bu birçok araştırmacı tarafından 1:1 gibi küçük değerlerden 220:1 gibi büyük değerlere kadar çeşitli oranlar kullanılmıştır. Genelde, (BTO) 10:1 oranı SPEX değirmen gibi küçük kapasiteli değirmenlerde tozun öğütülmesinde en çok kullanılan orandır. Fakat öğütme büyük kapasiteli, atritör benzeri bir değirmende gerçekleştirilirse, yüksek bir bilye-toz oranı olan 50:1 ya da daha yüksek 100:1 oranı da kullanılabilir. Bu oranın artması elde edilen toplam enerjiye bağlı olarak alaşımlama zamanını azaltırken, tozların kirlenmesi gibi olumsuz etkileri de hızlandırabilir. Bilye-toz oranı ne kadar yüksek olursa gerekli zaman da o kadar kısa olur. Yüksek bilye-toz oranında, bilyelerin ağırlık oranındaki artıştan dolayı, birim zamandaki çarpışma sayısı artar ve sonuç olarak toz parçacıklara daha çok enerji iletilir. Bu yüzden alaşımlama daha çabuk gerçekleşir. Örneğin, bir toz karışımı SPEX değirmende 10:1 oranında 7 saat, 50:1 oranında 2 saat ve 100:1 oranında 1 saat öğütüldüğünde elde edilmektedir. Yüksek bilye toz oranı, her birim zamanda çarpışmaların miktarını artırır ve

sonuçta daha fazla enerjiyi toz parçacıklarına transfer eder. Böylece alaşımlama daha hızlı olur(Aktaş, 2007).

1.6.3.7. Kap doluluk oranı

Toz parçacıkları arasındaki çarpma enerjisinden dolayı, arasında alaşımlama meydan gelir. Bilyeler için yeterli boşluk, tozlar içinse öğütme kabında serbestçe hareket etmeleri gerekir. Bundan dolayı kap doldurma aralığı toz ve bilyeler için önemlidir. Bilye ve toz miktarı düşükse üretim miktarı da düşük olur. Diğer bir deyişle miktar büyükse, bilyelerin hareketi için yeterli alan olmayacak ve çarpma enerjisi daha düşük olacaktır. Sonuç olarak alaşımlama oluşmayabilir ve oluşsa da gereğinden uzun sürer. Bu yüzden kabın fazla doldurulmamasına dikkat edilmelidir ve genel olarak kabın %50 si ya da daha fazlası boş olmalıdır (Suryanarayana, 2001).

1.6.3.8. Öğütme atmosferi

MA işlemi öğütülen tozların kirlenmesini engellemek ya da minimum oksitlenmeyi sağlamak amacıyla vakum ya da inert gaz ortamında yapılır.

1.6.3.9. İşlem kontrol katkıları

Toz parçacıkları arasında soğuk kaynak olur. Eğer toz parçacıkları sünek ise öğütme sırasında yüksek plastik deformasyondan dolayı bazen fazla soğuk kaynak oluşur. Bir işlem kontrol katkısı (İKK) aşırı soğuk kaynak etkisini azaltmak amacıyla öğütme süresince toz karışımına eklenir. İKK'ler katı, sıvı veya gaz olabilir. İşlem kontrol katkıları toz parçacıklarının yüzeyleri tarafından emilerek toz parçacıkları arasındaki soğuk kaynağı minimize ederler ve dolayısıyla topaklanmaları engeller (Suryanarayana, 2001).

1.6.3.10. İşlem kontrol katkılarının yapısı

İşlem kontrol katkılarının birçok çeşidi araştırmalarda toplam toz ağırlığının ortalama %1-5 seviyelerinde kullanılmışlardır. En önemli İKK'lar stearik asit, hekzan metanal ve etanoldür. Farklı araştırmalarda kullanılan İKK'ların ve miktarlarının kısmi

listesi Çizelge 1.3'de verilmiştir. Bu bileşimler düşük ergime ve buharlaşma sıcaklığına sahiptirler. Bu yüzden öğütme sırasında sıcaklı yükseldikçe ergirler ve buharlaşırlar (Suryanarayana, 2001).

Çizelge 1.3. İşlem kontrol katkısı ve işlem kontrol katkısının farklı araştırmalarda kullanılan miktarları (Suryanarayana, 2001).

İşlem Kontrol Katkısı	**Kimyasal Formül**	**Miktar**
Alkol	-	---
Benzen	C_6H_6	-
C wax	$H_{35}C_{17}CONHC_2H_4NHC$ $OC_{17}H35$	1,5 %ağ
Didodesil dimetil amonyum sülfat	$C_{28}H_{59}NO_2$	
Dihegzatil dimetil amonyum asetat	$C_{36}H_{75}NO_2$	--
Dodesin	$CH_3(CH_2)_{10}\ CH_3$	-
Etanol	C_2H_5OH	4 %ağ
Etilenbisdistearamid	C_2H_2-$2(C_{18}H_{36})_{10}$	2 %ağ
Nopcowax-22 DSP		
Grafit	C	0,5 %ağ
Heptan	$CH_3(CH_2)_5\ CH_3$	0,5 %ağ
Hekzan	$CH_3(CH_2)_4\ CH_3$	-
		5 %ağ
Lityum-1,2 bisdodecyloxy carbonyl sulfasuccinate	-	-
Metanol	CH_3OH	-
		1 %ağ
		3 %ağ
		4 %ağ
Oktan	$CH_3(CH_2)_6\ CH_3$	1 %ağ
Parafin	-	-
Petrol	-	3 damla
Polietilen glikol	$HO(CH_2CH_2)_nOH$	0,5-2 %ağ
Slikon gres	-	-
Sodyum klorit	NaCl	2 %ağ
Sodyum-1,2 bis(dodesilcarbonly) etan-1-sulfonate	-	-
Stearik asit	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	1 %ağ
		4 %ağ
		0,5-3 %ağ

Çizelge 1.4. Mekanik alaşımlamada kullanılan çeşitli işlem kontrol katkılarının ergime ve kaynama noktaları (Suryanarayana, 2001).

İşlem Kontrol Katkısı	**Ergime Noktası(^{0}C)**	**Kaynama Noktası(^{0}C)**
Dodesin	-12	216.2
Etil asetat	-84	76.5 -77.5
Etil alkol	-130	78
Etilen bidisteramit	141	259
Heptan	-91	98
Hegzan	-95	68-69
Metil alkol	-98	64.6
Polietilen glikol	59	205
Stearik asit	67 -69	183 -184

Kullanılan İKK miktarı ve öğütülmüş toz tipi, toz parçacıklarının son toz boyutunu, saflığını ve şeklini belirler. Zhang ve ark, toz ağırlığının %0,5-4 aralığındaki ağırlıktaki polietilen glikol ve stearik asit olarak iki farklı İKK kullanılarak planet bilyeli öğütmede mekanik alaşımlanmış magnezyum ve alüminyum toz parçacıklarının boyutlarındaki etkiyi incelemiştir. Bu çalışma sonucunda, İKK miktarı ve öğütme süresi arttıkça dönüşen toz oranı da artmıştır. Bu da İKK kullanılmasından dolayı soğuk birleşmenin azalmasına sebep olmuş ve kırılan toz parçacıklarının artmasına neden olmuştur(Suryanarayana, 2001).

1.6.3.11. Öğütme sıcaklığı

Öğütme sıcaklığı, öğütülen tozun içeriğinin kararlaştırılmasında bir diğer önemli parametredir. Üretilen son fazın, bir katı çözelti, intermetalik, nanoyapı veya bir amorf faz olmasında, bağımsız olarak alaşım fazlarının oluşumunda difüzyon işlemi etkin olduğundan, öğütme sıcaklığının alaşım sisteminde önemli bir etkiye sahip olduğu söylenebilir. Genellikle MA işlemleri malzemenin türüne bağlı olarak oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda yapılmaktadır. Genellikle bu sıcaklığın sabit tutulmasında kazan çevresinde soğutucu gaz ya da sıvıların sirkülasyonu sağlanır. Aksi halde sıcaklık artışları hem aşırı miktarda aşınmalara hem de tozun kirlenmesine neden olabilir(Varol, 2012).

1.7. Mekanik Alaşımlama Mekanizması

1.7.1. Giriş

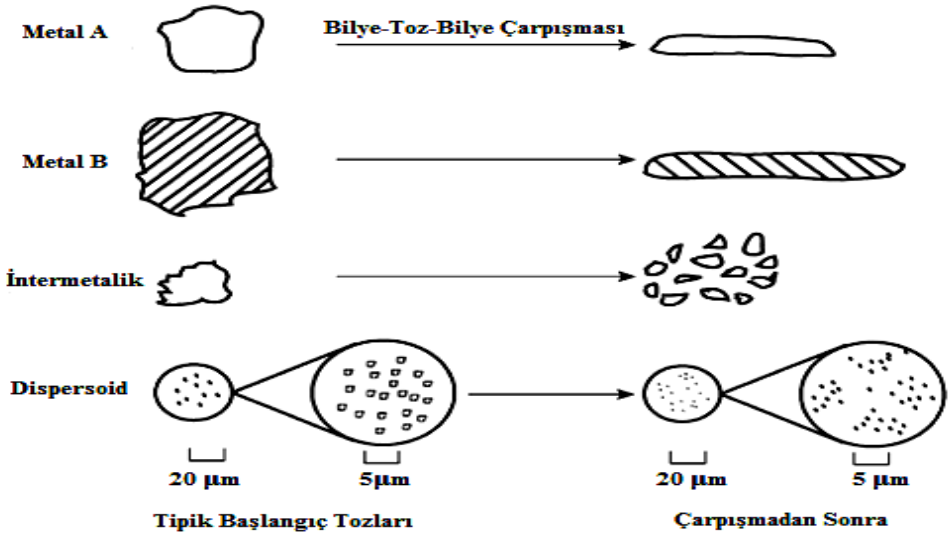
Farklı içerikli alaşım türleri mekanik alaşımlama kullanılarak sentezlenebilir. Bu alaşım fazlarını katı çözeltiler ((kararlı ya da yarı kararlı) orta fazlar (yarı partikül, kararlı ya da yarı kararlı partikül fazları)) ve amorf alaşımları içermektedir. Alaşımlama mekanizmalarını anlamak için çok sayıda araştırma yapılmıştır.

1.7.2. Bilye-toz-bilye çarpışmaları

Mekanik alaşımlama da karışmış tozlar ya da ön alaşımlı tozlar, aşındırıcı ile birlikte aşındırma kabına yüklenir ve ağır deformasyona maruz kalırlar. Bu süreç içerisinde toz parçacıkları döngü halinde düzleşirler, soğuk kaynakla kırılırlar ve tekrar kaynarlar.

Kırılma ve kaynama süreci ile birlikte onların hızları ve baskın halleri çoğunlukla başlangıçtaki tozun deformasyon özelliklerine bağlıdır.

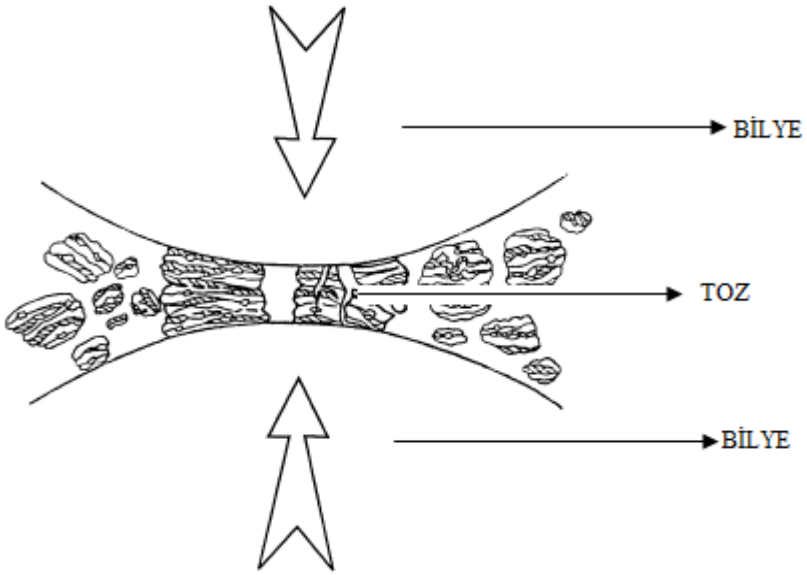
Her bir toz tipinin çarpışma etkileri şekil 1.15 'de gösterilmektedir. Aşındırıcı bilyelerin ilk çarpmaları sünek metal tozlarının düzleşmesine ve soğuk deformasyonuna neden olurlar. Şiddetli plastik deformasyonla parçacıkların yüzey hacim oranları ve absorbe edilen kirlenmelerin yüzeylerindeki çatlakları arttırır. Gevrek ara metal tozlar parçalanırlar ve boyutları küçülür. Oksit dağılımlı parçacıklar çok daha şiddetli parçalanırlar (Suryanarayana, 2001).



Şekil 1.15 Mekanik alaşımlamada başlangıç tozlarının tipik bileşenlerinin deformasyon karakteristikleri. Sünek metal tozları (Metal A ve Metal B) yassılaşır. Buna karşın gevrek intermetalik ve dispersoid parçacıkları daha küçük partiküller şeklinde malzeme içerisinde homojen dağılır.

1.7.3. Mekanik alaşımlama safhaları

İki aşındırıcı bilye çarptığında, iki bilye arasında küçük miktarlarda toz kalır(şekil 1.16). Bu süre sırasında toz yüzeyleri iki farklı yolla değişir. Başlangıçtaki sünek metal toz parçacıkları ise yassılaşmış hale gelir ve soğuk kaynama oluşur. Bu başlangıçtaki içeriğin değişik kombinasyonlarını içeren tabakalı kompozit parçacıklarının oluşumuna yol açar. Daha fazla gevrek içerik sünek içeriğin oluşumunu engeller ve kompozit içerisinde sıkışırlar.



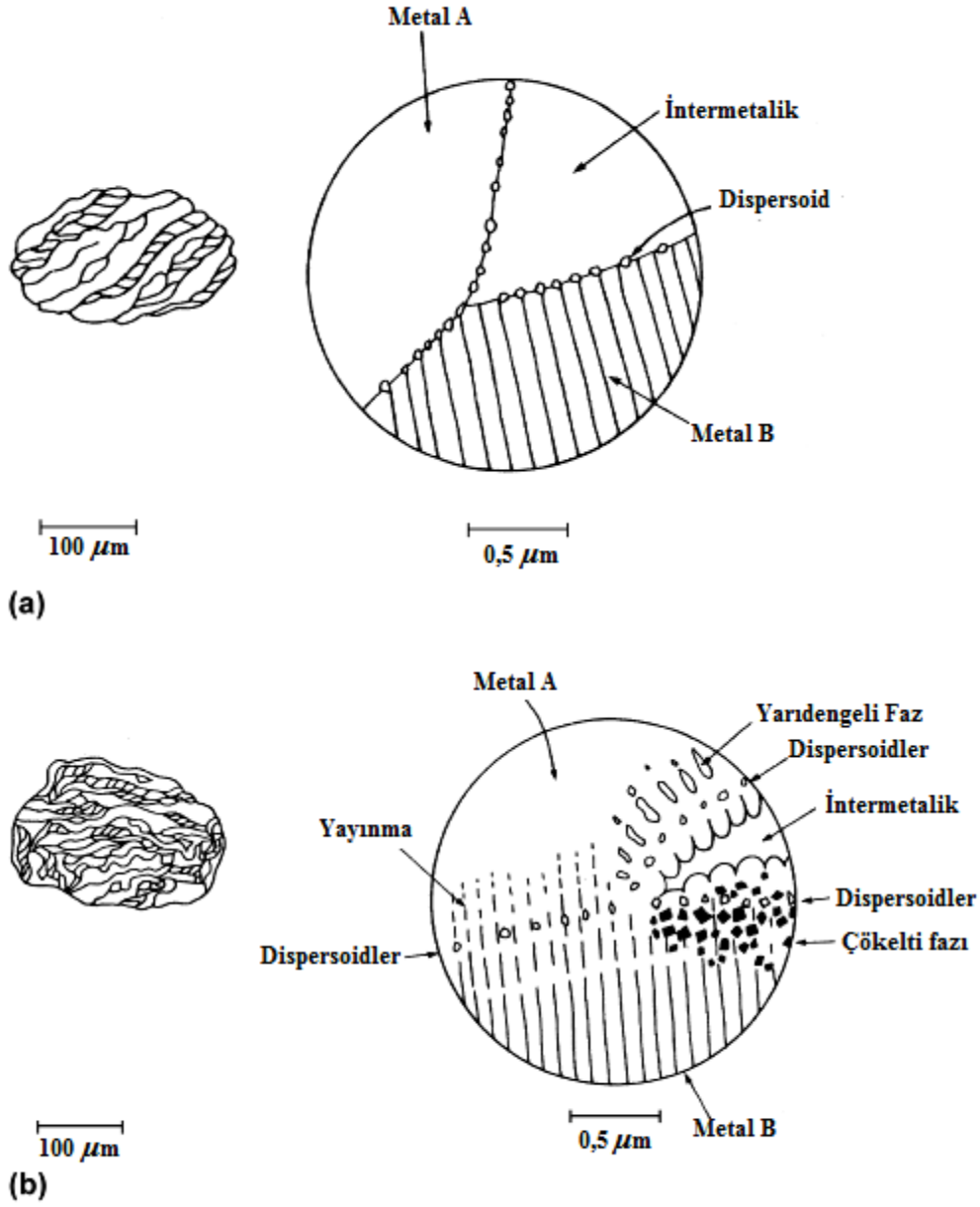
Şekil 1.16 Mekanik alaşımlama boyunca bilye-toz-bilye çarpışması ile tozların karıştırılması ve yassılaşan tozlar.

1.7.3.1. Sürecin ilk safhası

Sürecin ilk safhasında sünek metal toz partiküllerinin her biri yassılaşır. (Şekil 1.17 (a)). Bu, mekanik alaşımlama kaynaklarında katmanlı yapı olarak adlandırılır. Bu kompozit partiküllerin boyutu önemli ölçüde değişime uğrar(Suryanarayana, 2001).

1.7.3.2. Sürecinin orta safhası

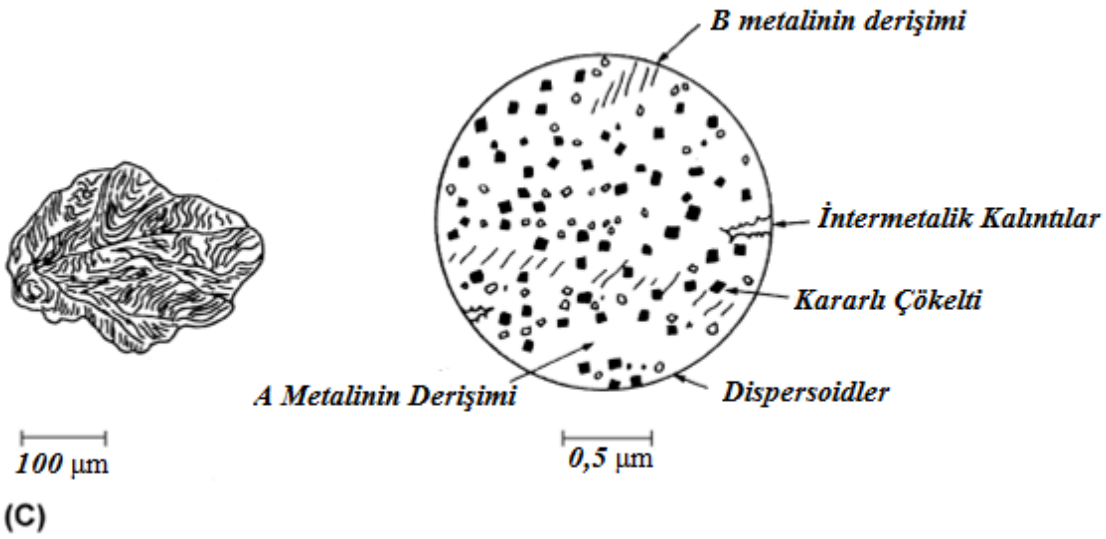
Öğütme devam ettikçe soğuk kaynama ve kırılma olayları devam eder ve mikroyapı iyileşmesine yol açar. Bu safhada parçacıklar sarmal lameller içerir (şekil 1.17 (b)). Soğuk deformasyon miktarının artmasından dolayı partikül hataları, boşluklar, tane sınırlarının sayısı zamanla artar ve bunlar kısa döngülü difüzyon yoluyla sağlanır. Bilye-bilye, bilye-toz ve bilye-duvar çarpışmalarının etkisi tozun sıcaklığının artışına neden olur ve difüzyonu kolaylaştırır. Alaşım tüm bu etkilerin karışımından dolayı oluşur. Bu safhada mikroyapı iyileşmesi devam eder ve oksit dağılımı daha üniformdur (Suryanarayana, 2001).



Şekil 1.17 (a) Sürecin ilk safhası: toz partikülleri ile başlangıç elementlerinden katmanlaşmış kompozit oluşumu (b) Sürecin orta safhası: toz partiküllerinin sarmal lamellerden meydana gelmesi

1.7.3.3. Sürecin bitiş safhası

Bu safhada lameller daha ince ve daha karmaşık hale gelir (şekil 1.14 (c)). Toz parçacıklarının miktarı başlangıçtaki tozun miktarı ile benzerdir. Lamel aralığı ve dağılım aralığı 1μm den daha azdır ve parçacıkların mikro sertliği doygunluk seviyesine ulaşır. Kafes gerilimlerinin toplanmasından dolayı sürecin tamamında lameller optik mikroskop altında uzun süre çözümlenemezler. Sonraki süreçte oksitlerin dağılımı artmayacaktır ve yalnız tozların içerikleri başlangıç toz karışımındaki eşeksenli bu duruma kararlı hal safhası olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 1.18 (c) Sürecin son aşaması: mikroyapının kararlı hale ulaşması.

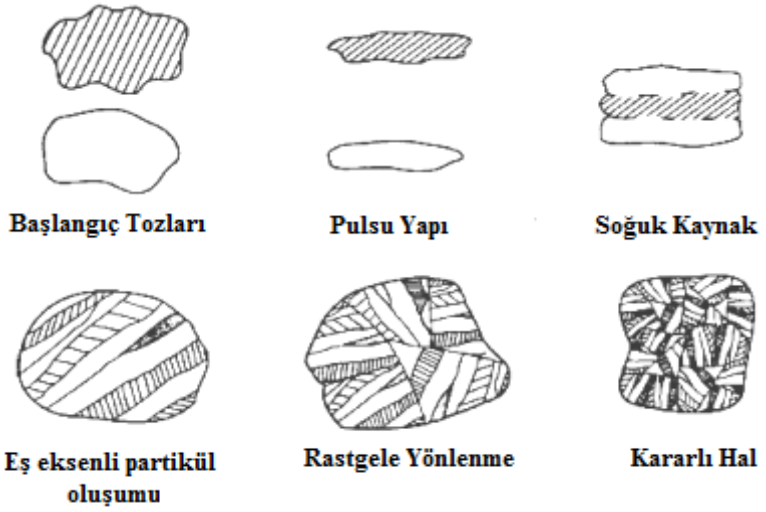
1.7.4. Öğütme Sistemleri

Mekanik alaşımlamada üç tür sistem mevcuttur;

- Sünek-Sünek,
- Sünek-Gevrek,
- Gevrek-Gevrek

1.7.4.1. Sünek Sünek Sistem

Mekanik alaşımlamada kullanılan tozlardan bir tanesi alaşımlamayı iyileştirmek için sünek olmalıdır. Mekanik alaşımlanan başlangıç tozları ve bu tozların alaşımlama boyunca morfolojik değişimleri şekil 1.19'da gösterilmiştir.

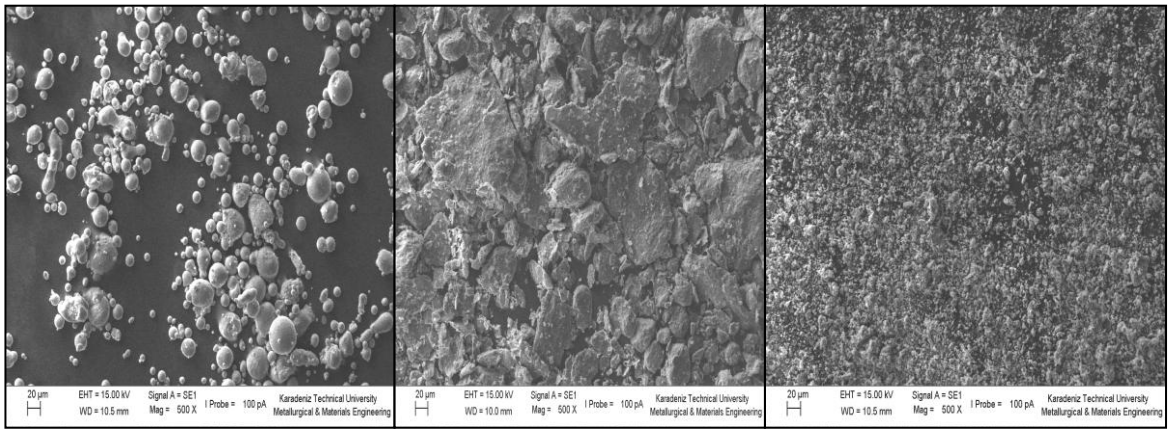


Şekil 1.19 Sünek-Sünek sistemde mekanik alaşımlama safhalarının gelişimi (Adamiak, 2008).

Alaşımlama işlemi sırasında bilyelerin birbirleriyle çarpışması sırasında bilyelerin merkezleri doğrultusunda arada kalan tozlar, darbe etkisiyle plastik deformasyona maruz kalırlar. Bunun sonucunda tozlarda ezilme olur ve tozlar yassılaşmış hal alır. Bu durum şekil 1.16'da gösterilmişti. Bu çarpışmalar esnasında arada kalan toza bir miktar darbe enerjisi yüklenir. Yüklenen darbe enerjisi sebebiyle toz parçacıkları levhalaşır, birbiriyle kaynaklaşır, kırılır ve tekrar kaynaklaşır. Bu darbe kuvveti toz parçacıklarını deformasyona uğratarak sertleşmelerine ve kırılmalarına sebep olur.

Öğütmenin ilk aşamalarında toz parçacıkları sünektir. (eğer sünek-sünek veya sünek-gevrek toz kombinasyonları kullanılıyorsa) ve birbirleriyle kaynaklaşarak büyük toz partikülleri oluşturma yönelimleri yüksektir. Bu aşamada parçacık boyutu büyüyerek başlangıç parçacık boyutunun üç katına kadar ulaşabilir. Bu durumu kontrol etmek amacıyla bileşime işlem kontrol katkıları (Process Control Agent-PCA) ilave edilir. Öğütmenin bu aşamasında kompozit parçacıklar başlangıç toz karışımlarının çeşitli kombinasyonlarını içeren tabakalaşmış bir yapıya sahiptir. Devam eden deformasyonlarla birlikte, bir yorulma mekanizmasıyla veya kırılgan levhalaşmış toz parçacıklarının tekrar kırılmasıyla sertleşme devam eder. Güçlü aglomerasyon kuvvetlerinin olmaması

durumunda bu mekanizmanın oluşturduğu toz parçacıklarının boyutu azalmaya devam eder. Öğütücü bilyelerin devam eden darbe etkisinden dolayı, parçacıkların yapısı kararlı ve başlangıç kompozisyonu açısından homojen bir hale dönüşür. Fakat parçacık boyutu aynı kalmaya devam eder. Neticede, her bir toz parçacığı içerisinde bulunan alaşım tabakaları arasındaki boşluklar azalırken, aynı zamanda bu alaşım tabakalarının sayısı artar. Belirli bir süre öğütmenin ardından, ortalama parçacık boyutunu arttıran kaynaklaşma ve ortalama kompozit parçacık boyutunu azaltan kırılma miktarları arasında bir dengeye varıldığında kararlı hal durumuna ulaşılır. Kararlı asamaya gelinceye kadar mekanik alaşımlama sırasında toz parçacıkları ağır bir deformasyona maruz kalırlar. Toz parçacıklarındaki dislokasyonlar, boşluklar ve tane sınırlarındaki artma gibi pek çok kristal hatalarının varlığı bu durumu açıklamaktadır. Bu kusurların varlığı bir katı hal çözeltisini oluşturacak olan element veya elementlerin matris içerisine difüzyonunu arttırır. Devam eden mekanik alaşımlamayla birlikte, homojen ve incelen mikro yapı sebebiyle difüzyon mesafeleri azalır. Bununla beraber, öğütme sırasındaki çok az sıcaklık artısı difüzyona yardımcı olur ve sonuçta bileşenler arasında gerçek alaşımlama ortaya çıkar(Varol, 2012)(Güler, 2006). Sekil 1.20'de AA7075 alaşımının farklı öğütme sürelerindeki toz morfolojisi görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi 1 saat sonunda yassılaşmış bir morfoloji oluşurken 8 saat sonunda eş eksenli bir morfoloji mevcuttur.

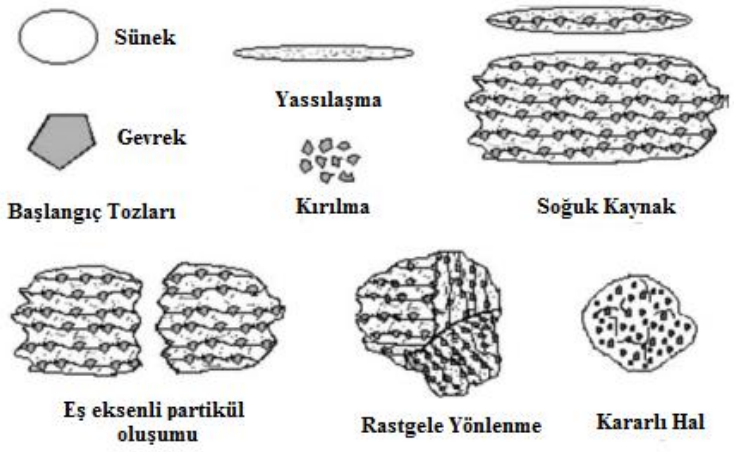


0 (h) 1 (h) 8(h)

Şekil 1.20 AA7075 alaşım tozlarının 0, 1 ve 8 saatlik öğütme sonundaki morfolojileri

1.7.4.2. Sünek-Gevrek Sistem

Sünek-Gevrek sistemde ilk önce sünek metal tozları bilye-toz-bilye çarpışmaları ile yassılaşmış hale gelirken gevrek tozlar ise kırılırlar. Kırılan gevrek tozlar sünek bileşen içersine gömülürler. Gevrek bileşenler katmanlar arası boşluklar boyunca yerleşirler. İlerleyen öğütme süreleri sonucunda tozlar deformasyon sertleşmesine uğrar katmanlar çoğalır ve daha küçük boyutlara inerler. Devam eden öğütme ile tabakalar daha da küçülür tabakalar arası boşluk artar ve gevrek tozlar çözünmezse düzenli olarak sünek matrise içine dağılırlar(Özgün,2008).



Şekil 1.21 Sünek-Gevrek sistemde mekanik alaşımlama safhalarının gelişimi(Çanakçı ve ark., 2011)

Şekilde görüldüğü gibi gevrek parçacıkları içeren sistemlerde kırılma etkinliği daha fazla olmakta ve sistem eş eksenli morfolojiye daha erken saatlerde ulaşmaktadır.

1.7.4.3. Gevrek-Gevrek Sistem

İki veya daha çok gevrek malzemeden oluşan bir sistemde alaşımlamanın olması beklenmeyebilir. Çünkü sünek bileşenin olmaması herhangi bir kaynak ya da birleşmeyi engeller ve kaynaklanmanın olmadığı durumda da alaşımlamanın olması beklenmez. Bununla beraber, Si-Ge ve Mn-Bi gibi bazı gevrek-gevrek sistemlerde alaşımlamanın olduğu da belirlenmiştir. Gevrek tozlar, öğütme sırasında parçalanır ve parçacık boyutları sürekli azalır. Bununla beraber çok küçük boyutlardaki toz parçacıklar sünek bir davranış gösterir ve daha sonra boyut azalması mümkün değildir. Bu öğütülebilme sınırı da denir(Cebeci, 2008).

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Topçu ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada; Saf Al matrisli B_4C takviyeli kompozitleri toz metalurjisi yöntemi ile üretmiş ve sertlik, çentik darbe dayanımı ve sürünme testlerini yapmışlardır. Deney parametreleri olarak; takviye oranı: %5, 10, 15 ve 20, öğütücü tipi: atritör, BTO: 6:1, Öğütme hızı: 400 rpm, bilye çapı ve malzemesi: 10 mm çelik bilye , işlem kontrol katkısı(İKK): %ağ 1 Acrowax($C_{38}H_{76}N_2O_2$), presleme basıncı: 250 MPa(soğuk izostatik pres), sinterleme atmosferi : argon (yüksek saflıkta), sinterleme sıcaklığı : 600 ^oC, 625 ^oC, 640 ^oC seçilmiştir. SEM analiz sonuçlarına göre takviye malzemesi matris içerisine homojen şekilde dağıtılmıştır. Sinterleme sıcaklığının artması ve takviye oranının azalması ile teorik yoğunluğa daha çok yaklaşılmıştır. Artan takviye miktarı ile kompozitin sertliği artmış fakat darbe direnci düşmüştür(Topçu ve ark., 2009).

Abenojar ve ark., B_4C takviyeli – saf Al matrisli kompozitlerinin mekanik alaşımlama üretim parametrelerinin optimizasyonunu çalışmışlardır. Deney parametreleri olarak; takviye oranı: %10 , öğütücü tipi: Planetary, BTO: 10:1, öğütme süresi: 12 saate kadar(her iki saatte bir inceleme yapılmıştır), öğütme hızı: 600 rpm, bilye çapı ve malzemesi : 10 mm çelik bilye , işlem kontrol katkısı(İKK): %ağ 1 Çinko Stearat, presleme basıncı: 500,600,700 MPa, sinterleme atmosferi : argon (yüksek saflıkta) ve $N_2/10H_2/0.1CH_4$, sinterleme sıcaklığı : 600 ^oC, 610 ^oC, 620 ^oC, 635 ^oC, 650 ^oC seçilmiştir. Matris ve takviye malzemeleri karıştırıldıktan sonra içerisine %1 çinko stearat yağlayıcı katılmıştır. Her iki saatte bir düzenli incelemeye alınan tozların akış hızı ve görünür yoğunlukları ölçülmüştür. Daha sonra parça üretimi için; tek eksenli pres makinesinde 500,600 ve 700 MPa basınçta tozlar preslenmiş ve ham yoğunlukları ölçülmüştür. Daha sonra $N_2/10H_2/0.1CH_4$ ve argon atmosferi altında parçalar sinterlenmiştir. 8 saatten sonra görünür yoğunluk sabit kaldı. Mekanik alaşımlamanın ilk safhalarında gevrek tozlar kırılmış ve sünek tozlar uzamıştır. 8 saatten sonra daha fazla alaşımlama meydan gelmemiştir. En düşük porozite 700 MPa da meydana gelmiştir. B_4C partikülleri homojen olarak dağıtıldığı SEM analiz sonuçlarında gözlemlenmiş ve bor karbür taneleri arasında çok kısa mesafelerden dolayı matris ile takviye arasında bağ zayıflamıştır bu da çatlak oluşumunu tetiklemiştir. 600 ºC de malzemeler arasında reaksiyon meydana gelmemiştir. 650 ºC de sinterleme esnasında neredeyse alüminyumun ergime noktasına ulaşıldığı için

mikroyapı değişmiş, porozite artmış ve malzemenin dayanımı düşmüştür(Abenojar ve ark., 2006).

Kumdalı, F., yaptığı çalışmada saf Al-MMK'lerin TM yönteminde göz önünde bulundurulan parametrelerin optimizasyonu amaçlamıştır. Üretilen numunelerin mekanik ve mikroyapı özelliklerine takviye oranının, takviye tane boyutunun, tozlara uygulanan kurutmanın, presleme basıncının, sinterleme atmosferinin ve sinterleme sıcaklığının etkisini belirlemek amacıyla mikroyapılar taramalı elektron mikroskobu(SEM)'de incelenmiş; mikrosertlik ve yoğunlukları ölçülmüştür. Yapılan değerlendirmeler ışığında;

- Optimum üretim parametreleri; Presleme basıncı: 800 MPa Sinterleme ortamı: Atmosferik, Sinterleme sıcaklığı: 590 ^{O}C olarak belirlenmiştir.
- Sinterlenmiş numunelerin mikroyapısal görüntüleri incelendiğinde toz boyutunun 22-59 μm olduğu numunelerde, yapıda tozların homojen dağıldığı gözlemlenmiştir.
- Toz boyutunun <10μm olduğu numunelerde ise aglomerasyonun meydana geldiği ve artan B_4C yüzdesinin bunu tetiklediği gözlemlenmiştir.
- Matris ile takviye tane boyutlarının birbirine yakın olmayışı iyi bir karışım elde edilmesini engeller ve B_4C'nin Al taneleri arasındaki boşluklara birikmesine neden olur. Bunu önlemek için matris ile takviye tane boyutu birbirine yakın seçilmelidir.
- Sinterleme sıcaklıkları arttırıldıkça Al un artan yüzey enerjisi ve enerjiyi iyi absorblaması sinterlemenin iyi olması yönünde fayda sağlamaktadır(Kumdalı, 2008).

Aktaş, H., yaptığı çalışmada takviye elemanlarının tane boyutları küçüldükçe kompozit bünyesinde topaklanmaların çoğalarak, gözeneklerin oluştuğunu tespit etmiştir. Takviye elemanı boyutunun artmasıyla yoğunluk değerlerinin arttığı, porozite değerlerinin düştüğü görülmüştür. Ancak, takviye elemanın ağırlıkça % oranının artmasıyla yoğunluk ve porozite değerleri artmıştır. Üretilen MMK'lerin sertlik değerleri ölçüldüğünde, takviye elemanının % oranının artmasıyla ve seramik parçacıkların tane boyutlarının artmasıyla sertlik değerlerinin arttığı görülmüştür. Ayrıca MA süresinin artması ile sertliğin arttığı tespit edilmiştir. Takviye elemanın % oranının artmasıyla ve seramik parçacıkların tane boyutlarının artmasıyla aşınma miktarları azalmıştır. MA süresinin artmasıyla asınma direnci daha yüksek MMK'ler üretilmiştir. Deneyler esnasında MA süresinin uzun olduğu numunelerde asınma miktarının daha az olduğu görülmüştür(Aktaş, 2007).

Cunzhu ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, B_4C takviyeli 2024Al Matrisli Kompozit malzeme mekanik alaşımlama ve sıcak ekstrüzyon ile üretmiştir. Sonuçlara göre, B_4C takviye malzemesi matris içerisine homojen şekilde dağıtılmışltır. Tane boyutu 400nm nin altında olan mikroyapı elde edilmiştir. Sıcak şekillendirme esnasında B_2O_3 ve Mg reaksiyonu sonucu oluşan MgO ve B_4C ün yüzeyinde oluşan B_2O_3 filminin meydana gelmesindeki ana neden; yüksek enerjili bilyeli öğütme sırasında mekanik alaşımlamanın neden olduğu sıcaklık artışıdır. MgO nun varlığı takviye ile matris arasındaki ıslatma kabiliyetini iyileştirir. İntermetalik faz olarak Al_7Cu_2Fe oluşmuştur. Deney parametreleri olarak; takviye oranı: % 10, öğütücü tipi: planetary, BTO: 20:1, Öğütme hızı: 420 rpm, bilye çapı ve malzemesi: 10 mm paslanmaz çelik bilye , işlem kontrol katkısı(İKK): %ağ 2 Stearik asit ($CH_3(CH_2)_{16}COOH$), presleme basıncı: 400 Mpa, sinterleme atmosferi : argon (yüksek saflıkta), sıcak presleme ve sinterleme sıcaklığı : 570 ºC seçilmiştir (Cunzhu ve ark., 2008).

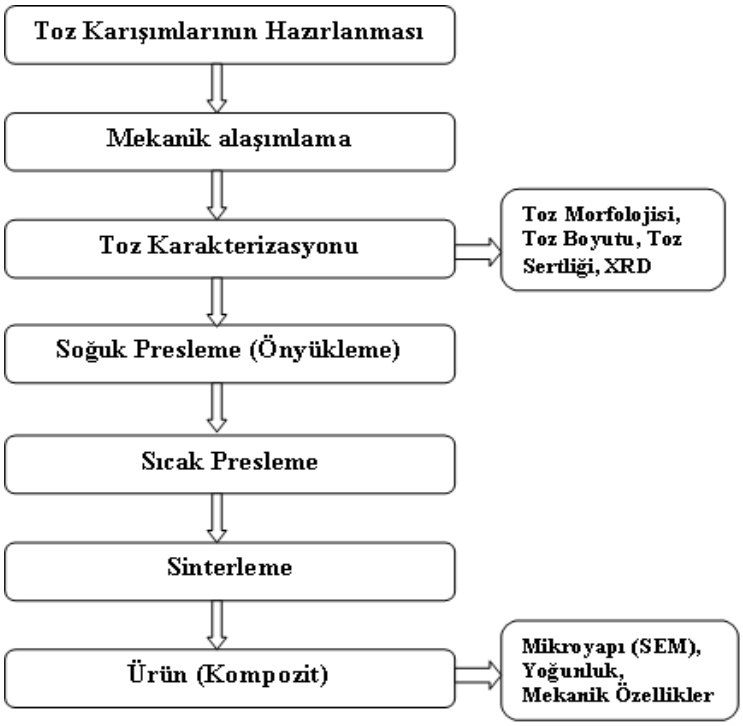
Toptan ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada AA1070 ve AA6063 Al - $B_4C_{(p)}$ matrisli kompozitlerinin üretimi ve mikroyapı karakterizasyonunu amaçlamıştır. Al - B_4C matrisli kompozitlerin döküm yöntemi ile üretiminde en çok karşılaşılan problem ıslatma problemi olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada kompozit malzeme; döküm yöntemi ile 850 ^oC de üretildi ve sıvı alüminyum ile B_4C arasındaki ıslatma problemeinin üstesinden gelmek amacı ile titanyum içerikli (K_2TiF_6) flux kullanıldı. Deney sonucunda, Islatma kabiliyeti; arayüzeyde oluşan, 80-180 nm kalınlığındaki TiC ve TiB_2 reaksiyonları sayesinde iyileştirilmiştir (Toptan ve ark., 2010)

Literatür çalışmalarına bakıldığında, toz metalurjisi ile üretilmiş olan Bor Karbür takviyeli Alüminyum matrisli kompozitler üzerine çok çalışma bulunmamaktadır. Genelde takviye malzemesi olarak Al_2O_3 ve SiC kullanılmaktadır. B_4C; Sahip olduğu yüksek sertlik, mukavemet ve düşük yoğunluk özelliklerine rağmen yüksek maliyeti sebebiyle kompozit malzemelerdeki kullanımı henüz istenene seviyeye gelmemiştir. Fakat Bilindiği gibi ülkemiz bor cevheri rezervi bakımından dünya ülkeleri arasında ilk sırada yer almaktadır. Bu nedenle bor ürünlerinin üretimi ve kullanımının yaygınlaştırılması ülkemiz adına çok önemlidir.

Bu çalışmada; 7075 Al matrisli B_4C parçacık takviyeli kompozitlerin toz metalurjisi yöntemi ile üretimi ve mekanik özelliklerini iyileştirilerek, bu kompozitlerin yeni alanlarda kullanılması amaçlanmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada mekanik alaşımlama yöntemi kullanılarak AA7075-B_4C kompozitlerinin üretimi gerçekleştirilmiş ve işlem parametrelerinin kompozitin mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. İlk olarak kompozit tozlar mekanik alaşımlama yöntemi ile üretilmiş ve bu tozların morfolojisi, boyutu ve sertliği ölçülerek toz karakterizasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Takviye malzemesi olarak B_4C (49,5 μm) takviye oranı olarak da ağırlıkça dört farklı oran (% 5, % 10, % 15 ve % 20) seçilmiştir. MA yöntemi ile üretilen kompozit tozların karakterizasyon çalışmaları, taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışınları kırınımı (XRD), lazer parçacık boyutu analiz cihazı (Mastersizer 2000e, Malvern Instruments) ve İnstron mikrosertlik ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Toz karakterizayon işlemleri tamamlandıktan sonra kompozit tozlar 650 MPa basınçta soğuk preslenmiş ve daha sonra 550 MPa basınçta 550 ^oC de sıcak presleme ile sinterleme yapılarak kompozit numuneler üretilmiştir. Üretilen bu kompozitlerin; çekme mukavemetleri, yoğunluk değerleri, makro sertlik değerleri ve mikroyapı özellikleri incelenmiştir. Yapılan çalışma boyunca uygulanan işlem akış şeması şekil 3.1 de verilmiştir.



Şekil 3.1 Deneysel çalışmalardaki iş akış şeması

3.1. Malzeme

Matris malzemesi olarak ρ=2.81 gr/cm^3 olan AA7075 tozları seçilmiştir. AA7075 tozları Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde, gaz atomizasyon ünitesinde üretilmiştir (şekil 3.2). AA7075 tozlarının spektral analizi Çizelge 3.1 de, mekanik özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir. Takviye malzemesi olarak ρ=2.52 gr/cm^3 olan B_4C tozları Alfa-Aesar firmasından temin edilmiştir ve mekanik Özellikleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 AA7075 Tozlarının Ağırlıkça Bileşimi (%) (ASTM, B316-10)

Cu	Mg	Mn	Fe	Si	Zn	Cr	Ti	Al
1,2 - 2	2.1 - 2.9	0.3(max)	0.5(max)	0,4(max)	5.1 - 6.1	0.18 - 0.28	0.2(max)	87.1 -91.4

Çizelge 3.2 AA7075 alaşımının fiziksel ve mekanik özellikleri(ASM, 2001)

Teorik Yoğunluk (gr/cm^3)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Elastiklik Modülü (GPa)	Kopma Uzaması (%)	Sertlik (BSD)
2.81	228	103	71,7	16	60

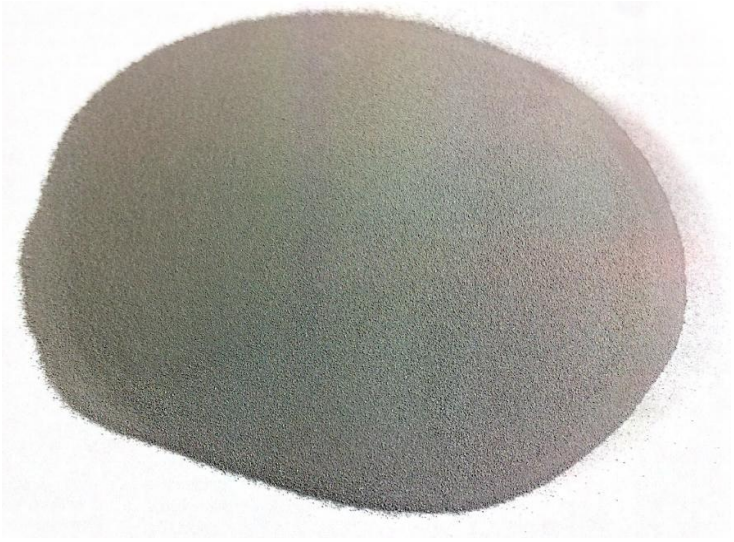
Çizelge 3.3 B_4C tozlarının fiziksel ve mekanik özellikleri(Pierson, 1996 ; TMMOB, 2003)

Teorik Yoğunluk (gr/cm^3)	Erime Noktası(^{o}C)	Eğme Dayanımı (MPa)	Çekme Mukavemeti (Mpa)	Elastiklik Modülü (GPa)	Basma Dayanımı (MPa)	Sertlik (Vickers) (GPa)
2.52	2400	345	155 – 162 (980-1425) ^{o}C	290-450	2750	27,4 - 34,3

Başlangıç tozları olarak, ortalama tane boyutu 43,9 µm olan AA7075 tozları ve takviye malzemesi olarak, ortalama tane boyutu 49,5 µm olan B_4C tozları kullanılmıştır. AA7075 tozları ve B_4C takviye tozlarının başlangıç morfolojileri taramalı elektron mikroskobunda incelenmiştir.



a)



b)

Şekil 3.2 a) Gaz atomizasyon ünitesi b) Üretilen AA7075 metal tozu

Çizelge 3.4. Kompozitlerin gruplandırılması ve teorik yoğunlukları

İsim	Bileşim (Ağırlıkça)	Matris Boyutu (µm) (d_{50})	Takviye Boyutu (µm) (d_{50})	Teorik Yoğunluk (gr/cm^3)
AA7075	Katkısız	43,956	-	2.810
AA7075-%5	%95 AA7075-%5 B_4C	43,956	49,5	2.795
AA7075-%10	%90 AA7075-%10 B_4C	43,956	49,5	2.781
AA7075-%15	%85 AA7075-%10 B_4C	43,956	49,5	2.766
AA7075-%20	%80 AA7075-%20 B_4C	43,956	49,5	2.752

3.2. Mekanik Alaşımlama İşlemleri

Bu çalışmada Topçu ve ark., 2009; Abenojar ve ark., 2006' da yaptıkları çalışmalar referans alınarak; toz karışımları gezegen tip bilyeli öğütücüde (Fritsch Pulveristte Premium 7) (Şekil 3.3) 400 rpm öğütme hızında mekanik alaşımlama işlemine tabi tutulmuş; öğütme süresi olarak 0.5, 1, 2, 4, 6 ve 8 saat seçilmiştir. Öğütme işlemi tungsten karbür değirmen ve bilyeler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Öğütücü kap hacmi 80 ml ve bilye boyutu 10 mm dir. Öğütücü kaba şarz edilen toz miktarı 16 gr ve bilye-toz ağırlık oranı 10:1 (1 adet bilye = 7.6 gr) olarak seçilmiştir. Öğütme cihazı, öğütücü kap ve bilye resimleri Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3 Öğütme elemanları a) Fritsch Pulveristte Premium 7 gezegen tipi öğütücü b) Öğütücü hazne ve tungsten karbür bilyeler

3.3. Parçacık Morfolojisi

Başlangıç tozlarının, MA yöntemi ile üretilen kompozit tozların; farklı öğütme zamanı ve takviye oranlarında, morfolojilerindeki değişim ve üretilen kompozitlerin mikroyapıları, taramalı elektron mikroskobunda (SEM) incelenmiştir.



Şekil 3.4 Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

3.4. Parçacık Boyutu

Başlangıç tozları ve mekanik alaşımlanmış kompozit tozların partikül boyutu ölçümleri Malvern Instruments^{TM} marka Mastersizer 2000e (şekil 3.5) model lazer parçacık boyut ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümler; saf su ortamında yapılmıştır.



Şekil 3.5 Partikül boyutu ölçüm cihazı

3.5. X-Işınları Kırınımı (XRD)

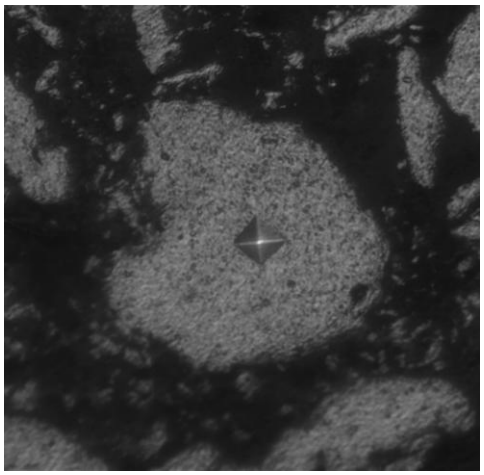
Mekanik alaşımlama yöntemi ile üretilen kompozit tozların X ışınları analizi yapılarak farklı öğütme sürelerinin kompozit tozların partikül yapısına etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmalar, X ışınları difraktometreleri 40kV ve 30mA koşullarında ve Cuk_{α} (1,54059 Å radyasyonu altında gerçekleştirilmiştir.

3.6. Mikrosertlik

Üretilen kompozit tozların mikrosertlik değerleri instron marka mikrosertlik ölçüm cihazı (Şekil 3.6 a)) ile 10 gr yük altında 10 sn süre ile gerçekleştirilmiş olup en az 5 başarılı ölçümün ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Toz üzerinde oluşan iz şekli şekil 3.6 b) 'de verilmiştir. Sertlik ölçüm yöntemi Vickers ve tepe açısı 130^{o} derece olan konik uç kullanılmıştır(ASTM, standart E384-11).



a)



b)

Şekil 3.6 a) Mikrosertlik ölçüm cihazı b) Toz üzerinde oluşan iz şekli (%20 B_4C takviyeli toz)

Kompozit sertlikleri ise aşağıda şekli verilen Brinell sertlik ölçüm cihazı (şekil 3.7) yardımıyla ölçülmüştür. Cihazdan alınan iz çapları Brinell sertlik ölçüm formülünde yerine konarak kompozit sertlikleri bulunmuştur.

$$BSD = \frac{2P}{\pi.D.(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \qquad (3.1)$$

Burada;

BSD: Brinell Sertlik Değeri

P: Kuvvet

d: Oluşan iz çapı(mm)

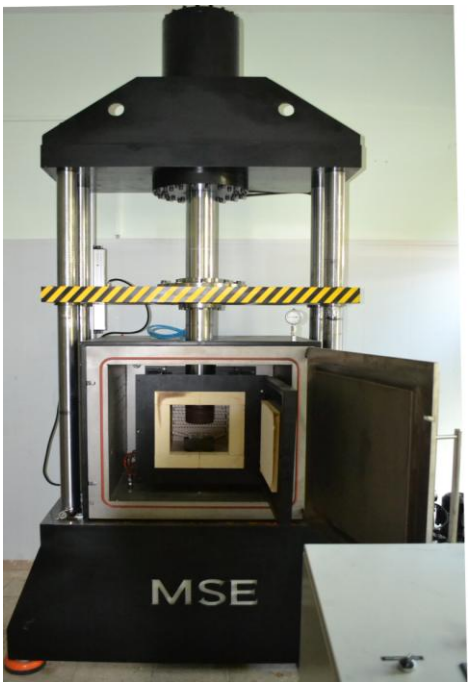
D: Bilye çapı (mm)



Şekil 3.7 Brinell sertlik ölçüm cihazı

3.7. Sıcak Presleme

Üretilen AA7075 ve kompozit tozlarına ilk olarak soğuk presleme işlemi uygulanmıştır. Soğuk presleme basıncı 650 MPa dır. Soğuk preslenen numuneler 550 $^{\circ}$C sıcaklıkta 550 MPa basınç altında 100 ton kapasiteli tek eksenli preste sıcak preslenerek kompozit numuneler üretilmiştir (Şekil 3.8). Presleme esnasında kalıp yüzeylerine yağlayıcı olarak çinko stearat sürülmüştür.



a)

Şekil 3.8 Sıcak presleme cihazı

Üretilen numunelerin teorik yoğunlukları karışımlar kuralına göre bulunmuş deneysel yoğunlukları ise hem geometrik şekle göre hem de piknometre ile ölçülmüştür.

$$\delta_t = [(\%W)_1 * \delta_1] + [(\%W)_2 * \delta_2] + \ldots + [(\%W)_n * \delta_n] \quad (3.2)$$

δ_t: Kompozitin teorik yoğunluğu

$(\%W)_n$: Her bir takviyenin karışım içindeki ağırlıkça oranı

δ_n: Her bir takviyenin yoğunluğu

Burada;

δ_d:deneysel yoğunluk

3.8. Metalografi Çalışmaları

MA yöntemi ile üretilen kompozit tozların ve kompozitlerin sertlik ölçümleri ve kompozitlerin içyapı incelemeleri için gerekli metalografik işlemler yarı otomatik (Şekil 3.9 a) ve b)) ve tam otomatik zımparalama ve parlatma cihazları ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.9 c)). Ayrıca numuneler için bakalite alma işlemi de yapılmıştır(Şekil 3.9 d))



a)



b)



c)



d)



e1) e2)

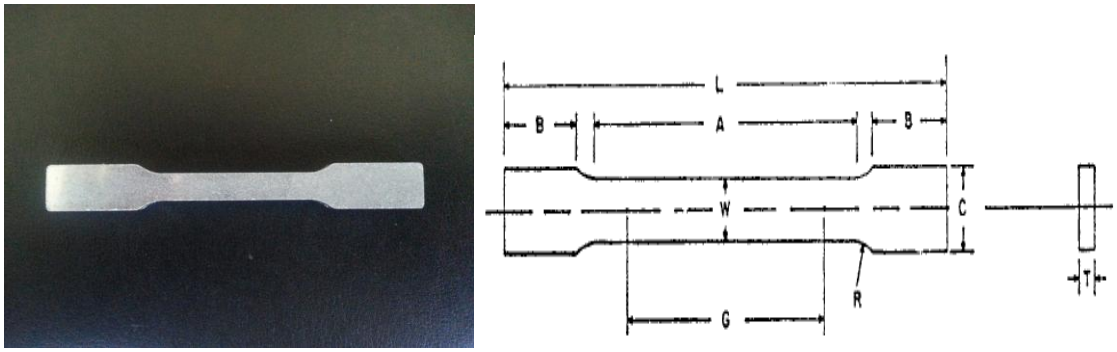
Şekil 3.9 Metalografi ekipmanları a) ve b) Yarı otomatik zımparalama ve parlatma cihazı c) Tam otomatik zımparalama ve parlatma cihazı d) Bakalite alma cihazı e1) Bakalite alınan AA7075 numuneleri e2) Bakalite alınan %15 B_4C takviyeli kompozit numuneleri

3.9. Çekme Deneyi

Üretilen kompozit numunelerin çekme mukavemetleri; şekil 3.10 a) daki MTS Criterion 40 serisi cihazda, ASTM E8M standardı esas alınarak incelenmiştir. Üretilen çekme deney numunesine ait ölçüler 3.10 b) de gösterilmiştir.



a)



b)

Burada;

B = 32 mm ,	R = 10 mm,
G = 25 mm,	W = 6.25 mm,
A = 32 mm,	T = 3 mm
L = 104 mm,	C = 10 mm

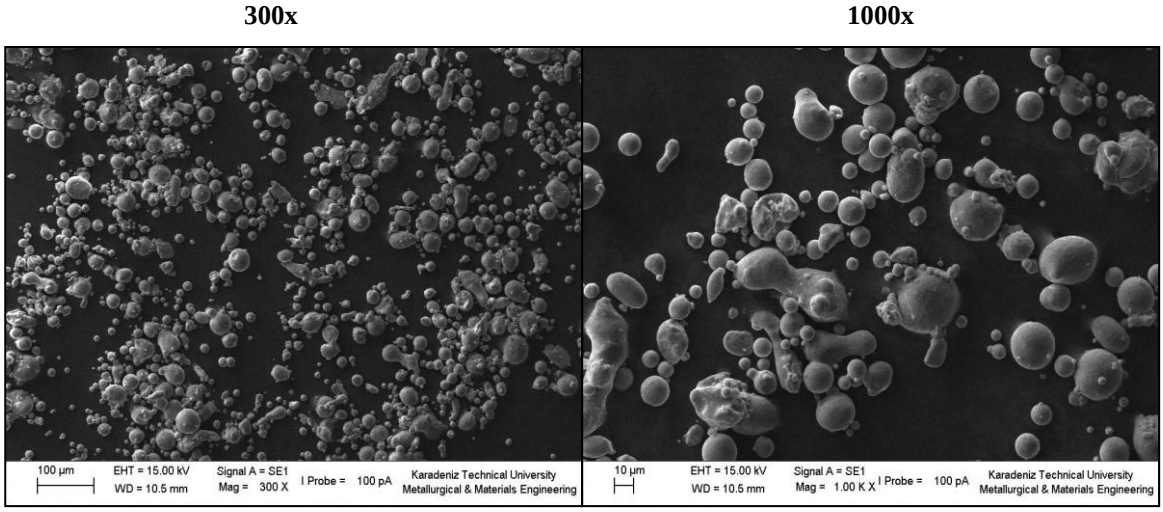
Şekil 3.10 a) Çekme deney cihazı b) Üretilen çekme deney numunesi ve ölçüleri (ASTM E8M)

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

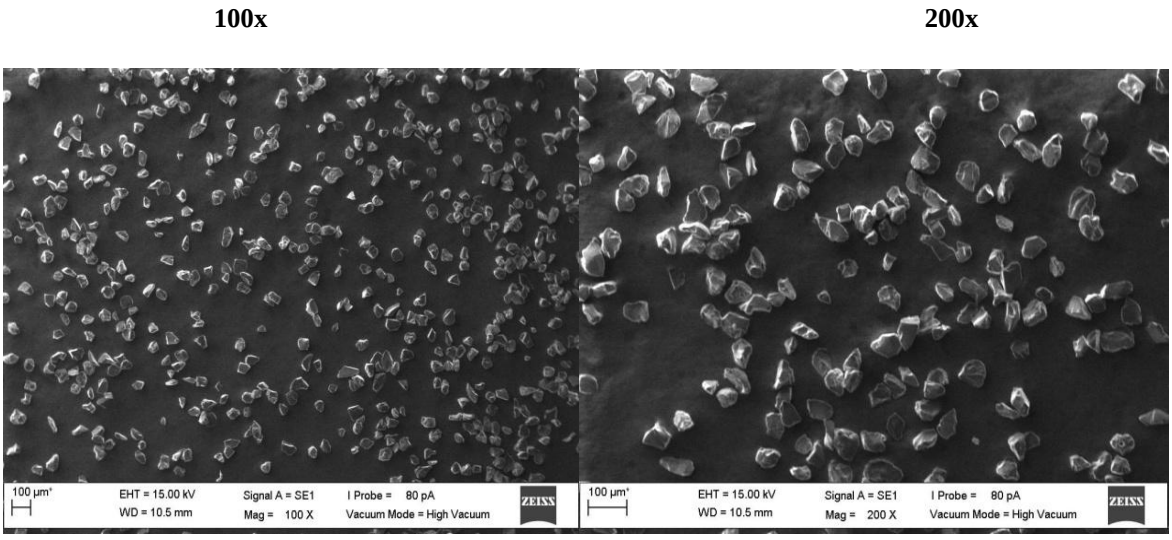
4.1. Toz Karakterizasyonu

4.1.1 Toz Morfolojisi

SEM analizlerinden de anlaşıldığı üzere AA7075 tozlarının başlangıç aşamasındaki morfolojisi küresel (spherical shape) şekilli iken (Şekil 4.1(a)). B_4C partiküllerinin başlangıç morfolojisi köşelidir (Şekil 4.1(b)).



(a)



(b)

Şekil 4.1 Başlangıç tozlarının farklı büyütmelerdeki morfolojisi, a) AA7075, b) B_4C

4.1.2. Öğütme zamanı ile toz morfolojilerinin değişimi

EK-1 (e-f) , EK-2 (e-f) , EK-3 (e-f) ‘ deki şekillerden de anlaşıldığı üzere AA7075 tozları, %5 ve %10 B_4C takviye oranına sahip olan tozlar ilk safhada (0-1 h) plastik deformasyonun etkisi ile uzamış ve yassılaşmış yapı denilen morfolojiye geçmişlerdir. Yassılaşmış yapılar EK-(1,2) (e-f) de resim üzerinde gösterilmiştir. Fakat EK-4 (e-f) ve EK-5 (e-f) ‘ deki şekillere bakıldığında bu uzama etkisi %15 ve %20 B_4C takviye oranına sahip tozlarda belirgin olarak görülmemiştir. Bunun nedeni bor karbür oranının fazla olmasından dolayı öğütme esnasında cutting effect denilen kesme etkisini göstermesidir. İkinci aşamada; EK-(1,2,3,4,5)’e ait (g-h) ve (j-k) resimleri incelendiğinde; kırılmaların devam etmesiyle tozlar düzensiz yapıya geçmiştir (2-4 h). Son aşamada ise EK-(1,2,3,4,5)’e ait (j-k) ve (p-r) resimleri incelendiğinde; sistemin kararlı hale geldiğini gösteren eş eksenli morfoloji elde edilmiştir (6-8 h). Ek-4 (p-r) de eş eksenli morfoloji resim üzerinde gösterilmiştir. Artan B_4C takviye oranı kırılma mekanizmasını hızlandırmıştır. Ayrıca 4 saatlik öğütme işleminden sonra azalan parçacık boyutu ile beraber tozlardaki aglomerasyon yani topaklanma eğiliminin arttığı gözlemlenmiştir.

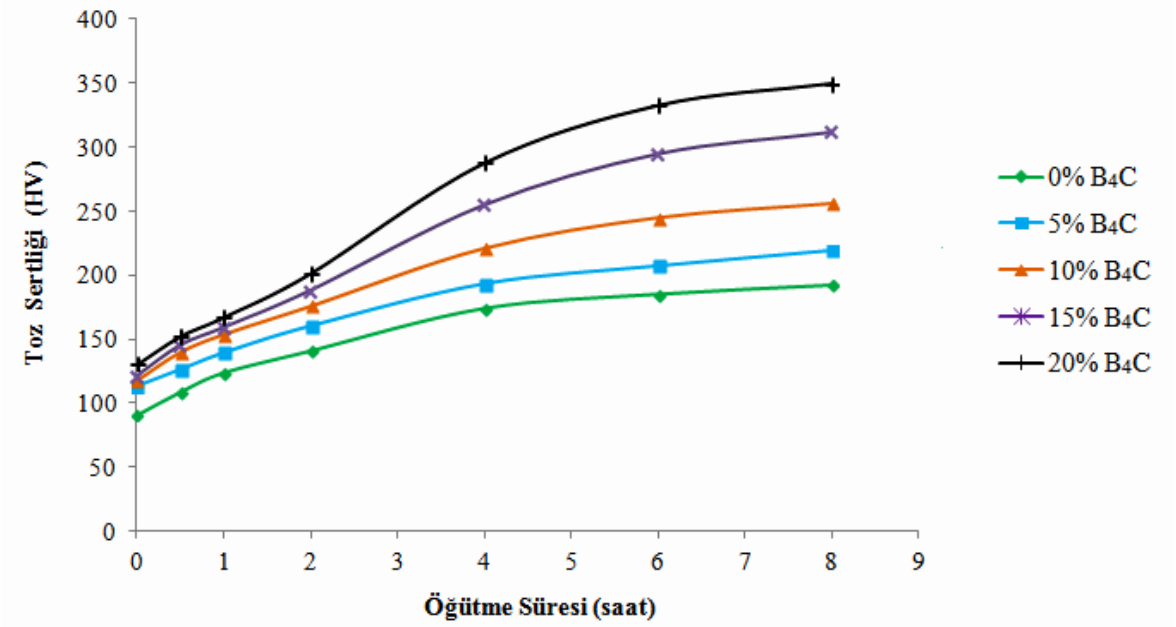
4.1.2.1. AA7075 ve AA7075-%(5,10,15,20) B_4C toz morfolojileri

“AA7075” ve “AA7075 - %(5,10,15,20) B_4C” tozlarının morfolojisinin mekanik alaşımlama süresi ile değişimi sırasıyla EK-1, EK-2, EK-3, EK-4 ve EK-5 de gösterilmiştir.

4.1.3. Toz sertliği

Toz sertlikleri incelendiğinde; B_4C takviye edilmeyen AA7075 tozlarının sertliğinin, artan öğütme zamanı ile oluşan deformasyon sertleşmesi sonucunda arttığı, B_4C takviye edilen tozlarda ise hem artan deformasyon sertleşmesi hem de artan takviye oranı ve 2 saatten sonra takviye partiküllerinin homojen dağılmaya başlaması ile toz sertliklerinin arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.2). B_4C takviye malzemesinin toz sertliğine etkisi takviye parçacıklarının matris malzemesine gömülebilmesi ile yakından ilgilidir. Mikrosertlik değerleri incelendiğinde B_4C takviye parçacıklarının matris içersine gömülme kabiliyetinin iyi olmasından dolayı mikrosertlik değerlerinde önemli ölçüde artış sağlanmıştır. Bunun yanında 2 saatte kadar toz sertliklerindeki artış oranı birbirlerine yakın değerlerde iken; 2 saatten sonra özellikle % 15 ve %20 B_4C takviye oranına sahip tozlarda yüksek değerlerdedir. Bunun nedeni; hem homojen dağılım sayesinde sertlik izi alanına düşen B_4C

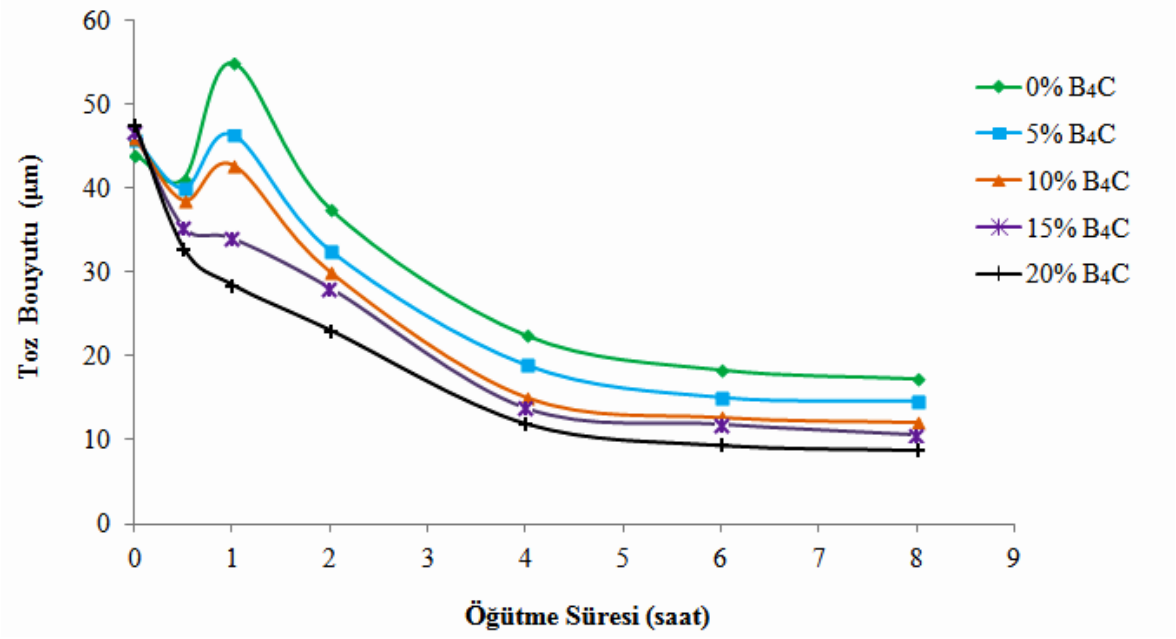
partikül sayısının fazla olması hem de artan B_4C takviye oranı ve "bilye-toz-(bilye/kap duvarı)" çarpışmaları sonucu oluşan deformasyon sertleşmesidir.



Şekil 4.2 AA7075 ve B_4C takviyeli kompozit tozu sertliklerinin öğütme zamanı ile değişimi

4.1.3. Toz Boyutu

Toz boyutu değişimleri incelendiğinde 0.5 saate kadar bir miktar boyut düşüşünün olduğu 0.5 saat ile 1 saat arasında soğuk kaynak nedeni ile boyut artışının olduğu gözlemlenmiştir. 0.5 saate kadar geçen süredeki boyut azalmasının nedeni başlangıç tozlarının küresel ve yarı küresel morfolojiye sahip olmaları gösterilebilir. Bu tozlar bilye-toz-bilye çarpışmaları sonucunda ince bölgelerinden (boyun bölgesi) koparak öğütmenin başlangıcında toz boyutunun azda olsa düşmesine neden olmaktadır. Öğütme işleminin 1 saatinden 6 saat sonuna kadar toz boyutunda sürekli bir azalma, 8 saate kadar ise bir denge hali görülmüştür (Şekil 4.3). Toz boyutu değerleri incelendiğinde artan takviye oranının matris tozları üzerinde kırılma etkinliğini artırdığı ve sistemin daha hızlı kararlı hale ulaştığı görülmektedir. Takviye boyutunun matris boyutundan büyük olması nedeniyle takviye parçacıkları matris tozlarını aralarına alarak kesme etkisi oluşturmaktadır(Varol ve ark., 2013). Başlangıç tozlarına ait partikül boyut dağılımları EK-11 de gösterilmiştir.



Şekil 4.3 AA7075 ve B_4C takviyeli kompozit tozu boyutlarının öğütme zamanı ile değişimi

4.1.4. XRD analizleri

Başlangıç tozlarının ve mekanik alaşımla yapılmış tozların xrd analizleri EK-12 de verilmiştir.

4.2. Kompozit Malzeme Özelliklerinin İncelenmesi

4.2.1 AA7075 ve AA7075-%(5,10,15,20) B_4C kompozit mikroyapıları

"AA7075" ve "AA7075 - %(5,10,15,20)" kompozit mikroyapılarının mekanik alaşımlama süresi ile değişimi sırasıyla EK-6, EK-7, EK-8, EK-9 ve EK-10 da gösterilmiştir.

4.2.2. AA7075- %5 B_4C

EK-7 deki şekiller incelendiğinde takviye malzemesi olan B_4C parçacıklarının artan öğütme süresi ile matris malzemesi içersinde daha homojen olarak dağıldığı görülmüştür. Bununla birlikte EK-7 (a-b) şekilleri incelendiğinde; 0 saat de elde edilen morfoloji, topaklanmanın aşırı olmadığı göstermiştir. Bunun sebebi B_4C takviye parçacık boyutunun büyük (d_{50} = 49,5 µm) ve oranının az (%5) olmasıdır. Artan öğütme süresi ile ortaya çıkan olaylardan biride gevrek takviye parçacıklarının da kırılmasıdır.

4.2.3. AA7075- %10 B_4C

EK-8 (a-b)'den anlaşıldığı üzere, B_4C takviye parçacık oranının artması ile parçacık sayısı artmış ve bu parçacıklar birbirine daha da yakınlaşmıştır. Bununla birlikte EK-8 (l-m) ve EK-8 (p-r) incelendiğinde, 8 saatlik öğütmeden sonra takviye parçacıklarının homojen olarak dağıldığı görülmüştür.

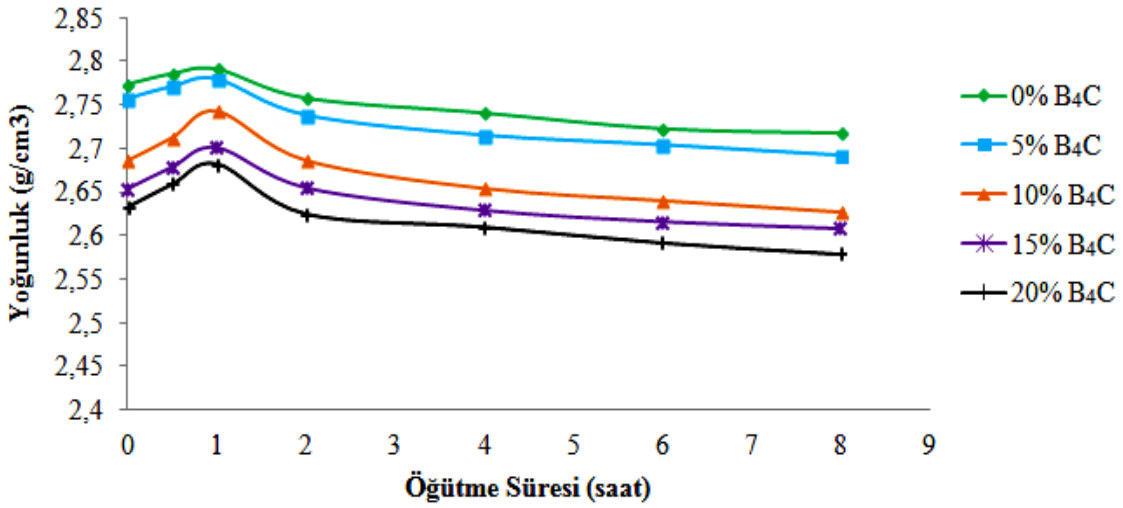
4.2.4. AA7075- %15 B_4C ve AA7075- %20 B_4C

EK-(9,10) (a-b) şekillerine bakıldığında, 0 saatlik içyapı resmi incelendiğinde artan B_4C takviye oranı nedeni ile topaklanmaların iyice arttığı görülmektedir. Takviye parçacıklarının büyük çoğunluğu birbiri ile temas halindedir. Artan öğütme süresi ile hem B_4C parçacıkları kırılmakta hem de aralarındaki mesafe artarak topaklanma önlenmektedir.

4.3. 650 Mpa Basınçla Soğuk Preslenen ve 550 Mpa Basınçla Sıcak Preslenen Numunelerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

4.3.1. AA7075 ve kompozitlerin yoğunluk değerleri

Tozların sıkıştırılma mekanizmasını kısaca açıklayacak olursak, sıkıştırmanın ilk aşamasında toz parçacıkları birbiri içersinde hareket ederek yer değiştirirler. Bu aşamada toz morfolojisi, parçacık boyutu ve parçacıklar arası sürtünme önemli rol oynamaktadır. Tozların sıkıştırılmasında ikinci aşamasında ise elastik ve plastik deformasyon mekanizmaları etkindir. Bu aşamada parçacıklar arası mekanik bağlanma gerçekleşmektedir. Sıkıştırma işleminin son aşamasında ise tozların kırılması ve plastik deformasyon ile poroziteler azalmakta ve toz parçacıkları birbirine soğuk kaynak olmaktadır. Artan öğütme zamanı ile deformasyon sertleşmesine maruz kalan toz parçacıklarının sıkıştırılması (preslenmesi) zorlaşır. Buna bağlı olarakta yoğunluk değeri artan öğütme zamanı ile azalır. Tozun şekillendirilmesini engelleyen bir diğer faktörde artan takviye oranı ile gevrek parçacıkların sayıca artışıdır. Şekil 4.4'te görüldüğü gibi artan takviye oranı ile yoğunluk değerleri azalmıştır. Üretilen kompozitlerin yoğunluk değişimi şekil 4.4'te verilmiştir.



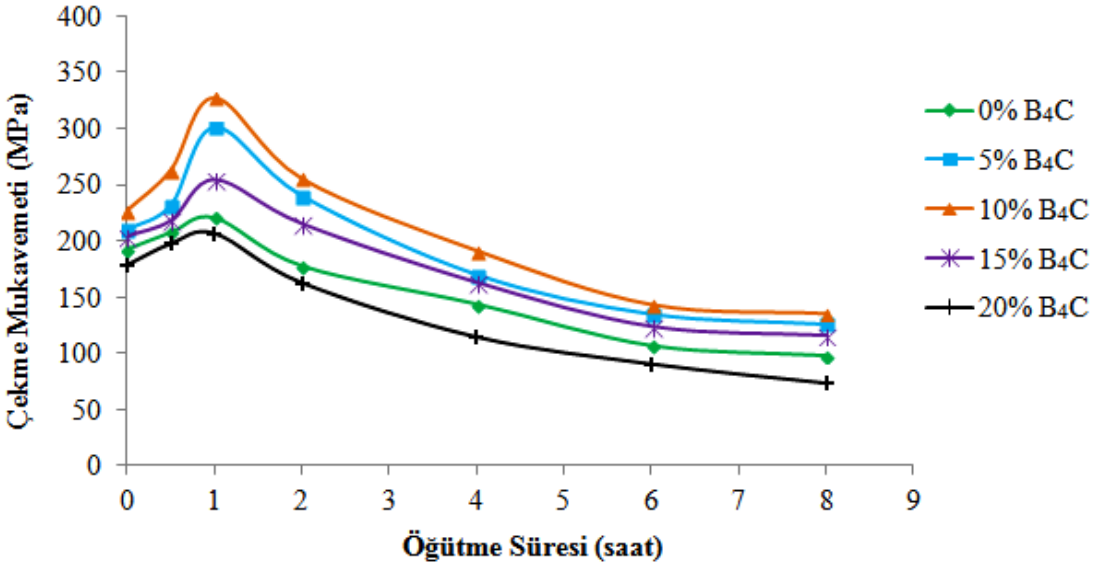
Şekil 4.4 AA7075 ve B_4C takviyeli kompozitlerin yoğunluklarının öğütme zamanı ile değişimi

4.3.2. AA7075 ve kompozitlerin çekme mukavemeti değerleri

Her bir grup kompozitin ve alaşım grubunun çekme mukavemeti 1 saate kadar artmakta ve daha sonra azalmaktadır. En yüksek çekme mukavemeti 1 saat öğütülmüş olan %10 B_4C takviyeli kompozit malzemede elde edilmiştir (şekil 4.5). Bunun en temel nedeni ise; 1 saate kadar kompozitin yoğunluğunun belli miktarda artması ve daha sonra azalmasıdır (şekil 4.4).

Yoğunluğun azalmasına sebep olan durumlar;

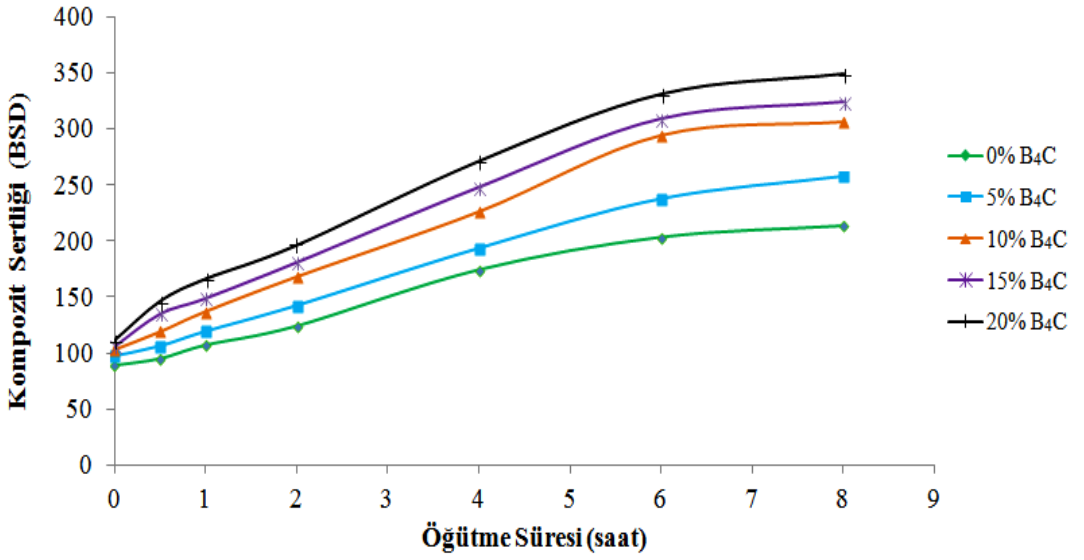
- Takviye oranının artması
- Öğütme süresi ile artan toz sertliğinin; tozlar arasındaki paketlenme kabiliyetinin azaltması
- 1 saatlik öğütme süresince partiküller yassılaşmış yapı şeklini alır ve başlangıç tozları içerisinde büyük miktarda bulunan çok küçük partiküller; bu büyüyen yassılaşmış yapı arasına girerek; yoğunluğu daha yüksek bir yapı oluşturur. Bu durum EK-6 (e-f)' de net bir şekilde görülmektedir . 1 saatten sonra ise bu büyük olan yassılaşmış yapılarda kırılır, hem gözeneklilik hem de deformasyon miktarı arttığından; kompozitin yoğunluğu düşmüş, ve buna paralel olarak çekme mukavemeti de düşmüştür. Bu durum EK-6 (p-r) de net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4.5 AA7075 ve B_4C takviyeli kompozitlerin çekme mukavemetinin öğütme zamanı ile değişimi

4.3.3. AA7075 ve kompozitlerin sertlik değerleri

Yoğunluk değerlerinin tersine artan öğütme zamanı ve artan B_4C takviye miktarı ile sertlik değerleri de artmıştır. Bunun nedeni birinci olarak deformasyon sertleşmesi, ikinci olarak ise takviye parçacıklarının homojen dağılımı ve bunun sonucunda sertlik izi alanına düşen miktarıdır. Şekil 4.6'da görüldüğü gibi artan öğütme zamanı ve artan takviye oranı ile sertlik değerleri artmıştır.



Şekil 4.6 AA7075 ve B_4C takviyeli kompozitlerin sertlik değerlerinin öğütme süresi ile değişimi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Yapılan deneysel çalışmalar sonucu elde edilen bulguların değerlendirilmesinden çıkarılan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1- Takviye ve matris malzemelerinin tane boyutları birbirine yakın olduğundan; kısa öğütme sürelerinde bile homojen dağılım görülmüştür.

2- Takviye partiküllerinin boyutunun matris partiküllerinin boyutundan daha büyük olması, matris tozlarının kırılmasını ve daha küçük boyutlu hale gelmesini sağlamıştır.

3- Toz ve kompozitlerin sertlikleri; artan takviye oranı ile artmıştır (şekil 4.2 ve şekil 4.6). Buna ek olarak, öğütme süresi ile doğru orantılı olarak artan deformasyon sertleşmesinin meydana geldiği ve bu deformasyon sertleşmesinin de, tozların ve sıcak presleme ile üretilmiş kompozitlerin sertliklerini arttırmasına yol açtığı şeklinde yorumlanmıştır.

4- Üretilen tozların XRD sonuçları incelendiğinde yeni bir faz oluşumu gözlemlenmemiştir.

5- Sıcak presleme yönteminde, sinterleme esnasında malzemeye basınç uygulandığı için malzeme içerisinde bulunan poroziteler minimuma indirilmiş ve yüksek yoğunluğa sahip malzeme üretilmiştir. Bundan dolayı, geleneksel yöntemle üretilen kompozitlerin sinterlenmesi esnasında basınç uygulanmadığı için, sıcak presleme yöntemi ile üretilen kompozitlerin yoğunluk değerleri, geleneksel yöntemle üretilen kompozitlerin yoğunluk değerlerinden daha yüksek çıkmıştır.

6- Kompozitlerin yoğunluk değerleri; artan öğütme süresi ve artan takviye oranı ile azalmıştır. Artan öğütme süresi, takviye partiküllerinin matris içerisinde homojen dağılmasını sağlamış fakat artan deformasyon sertleşmesinden dolayı, tozların sıkıştırılabilme kabiliyeti azalmış ve yoğunluk değerlerinde bir miktar düşüş görülmüştür.

7- 1 saatlik öğütme süresince partiküller yassılaşmış yapı şeklini almış ve başlangıç tozları içerisinde büyük miktarda bulunan çok küçük partiküller; bu büyüyen yassılaşmış yapı arasına girerek; yoğunluğu daha yüksek bir yapı oluşturmuştur. Bu durum EK-6 (e-f)' de net bir şekilde görülmektedir. 1 saatten sonra ise bu büyük olan yassılaşmış yapılarda kırılmış, hem deformasyon miktarı hem de porozite arttığından; kompozitin yoğunluğu düşmüş, ve buna paralel olarak çekme mukavemeti de düşmüştür. Bu durum EK-6 (p-r) de net bir şekilde görülmektedir.

8- En yüksek çekme mukavemeti, %10 B_4C takviyeli 1 saat öğütülerek üretilmiş kompozitte elde edilmiştir. Bu kompozitin çekme mukavemeti 327 MPa dır (şekil 4.5). Bu değer döküm yöntemi ile üretilen AA7075 in çekme mukavemetinden yaklaşık %40 daha fazladır.

9- Toz boyutları artan öğütme süresi ile küçülmüştür. (şekil 4.3).

10- EK-1 (e-f) , EK-2 (e-f) , EK-3 (e-f) ' deki şekillerden de anlaşıldığı üzere, %10 B_4C takviye oranına kadar tüm gruplardaki toz boyutları, 1 saate kadar yassı hale gelmiştir. EK-4 (e-f) ve EK-5 (e-f) deki şekillere bakıldığında %15 ve %20 B_4C takviyeli tozlarda takviye malzemesinin boyutunun matris malzemesinin boyutundan büyük ve takviye oranının fazla olması nedeniyle, takviye parçacıkları matris tozlarını aralarına alarak kesme etkisi oluşturmaktadır. Bu durum, yapının yassılaşmasına imkan tanımadan kırılmasına neden olmaktadır (Varol ve ark., 2013).

11- Üretilen kompozitlerde en yüksek sertlik %20 B_4C takviyeli 8 saat öğütülmüş kompozitte elde edilmiştir. Bu kompozitin sertliği 349 HB dir. Elde edilen bu değer, döküm yöntemi ile üretilen AA7075 malzemesinin ssertliğinden yaklaşık 6 kat daha fazladır.

5.2. Öneriler

Yapılan deneysel çalışmalar sonucu elde edilen bulguların değerlendirilmesinden sonraki öneriler aşağıda verilmiştir.

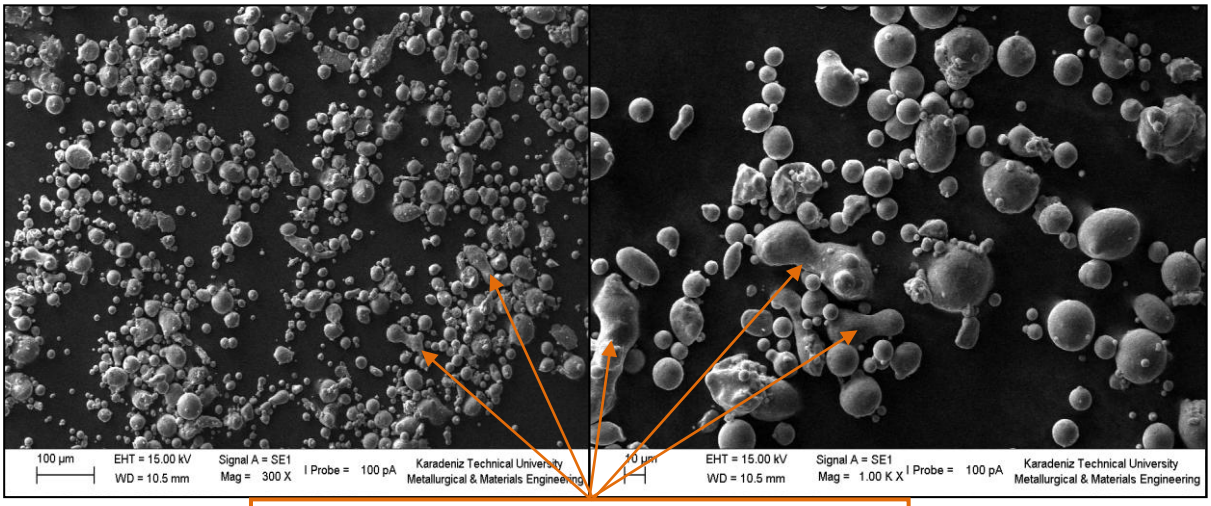
1- Nano boyutlu matris ve takviye parçacıklarının kullanımı veya üretimi ile kompozitlerin fiziksel ve mekaniksel özellikleri daha iyileştirilebilir.

2- Sıcak presleme koşullarının iyileştirilmesi üretilen kompozit özelliklerini iyileştirebilir. Sabit basınç ve sabit sıcaklık koşulları tam olarak sağlandığında bu çalışmada kullanılan sıkıştırma basıncı değerlerinden daha düşük değerlerde daha iyi sonuçlara ulaşılabilir.

3- AA7075' in yaşlandırılabilme özelliğinden yararlanılarak; kompozitlerin mekanik özellikleri, yaklaşık 2-3 katı daha iyileştirilebilir.

6. EKLER

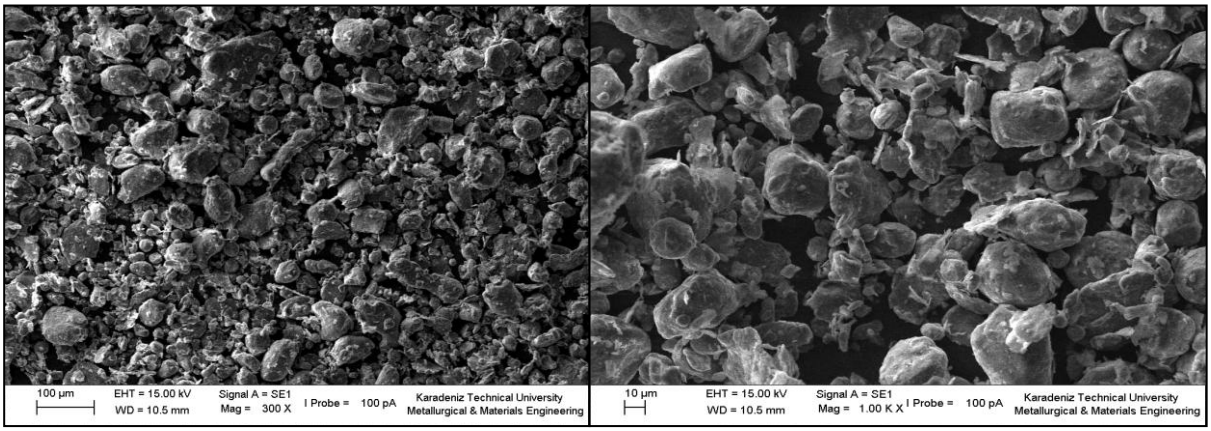
EK-1 AA7075 toz morfolojisinin mekanik alaşımlama süresi ile değişimi (a-b) 0 saat, (c-d) 0,5 saat, (e-f) 1 saat, (g-h) 2 saat, (j-k) 4 saat, (l-m) 6 saat, (p-r) 8 saat



(a) 300x

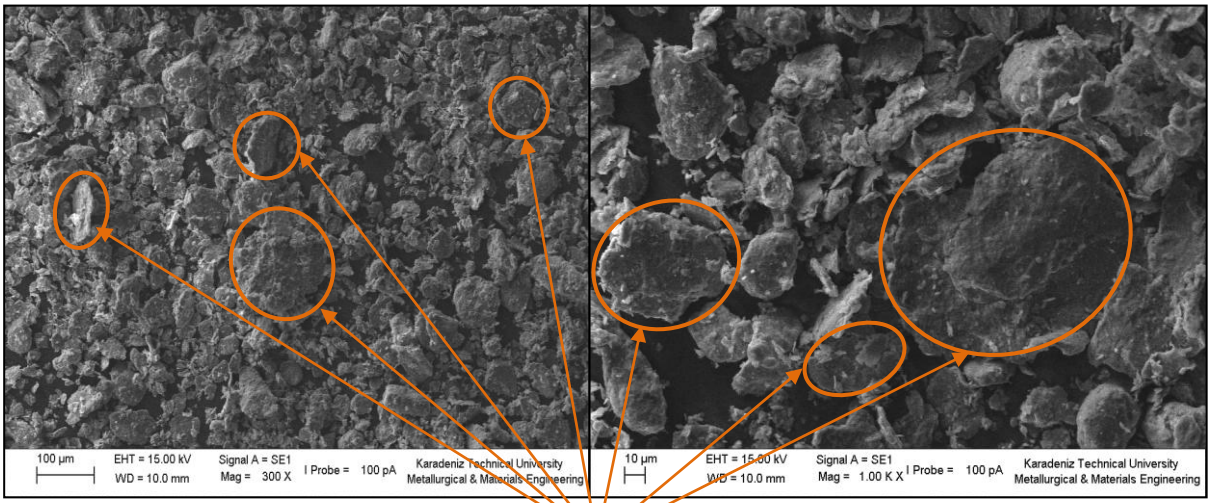
Alüminyum tozlarındaki boyun bölgeleri

(b) 1000x



(c) 300x

(d) 1000x

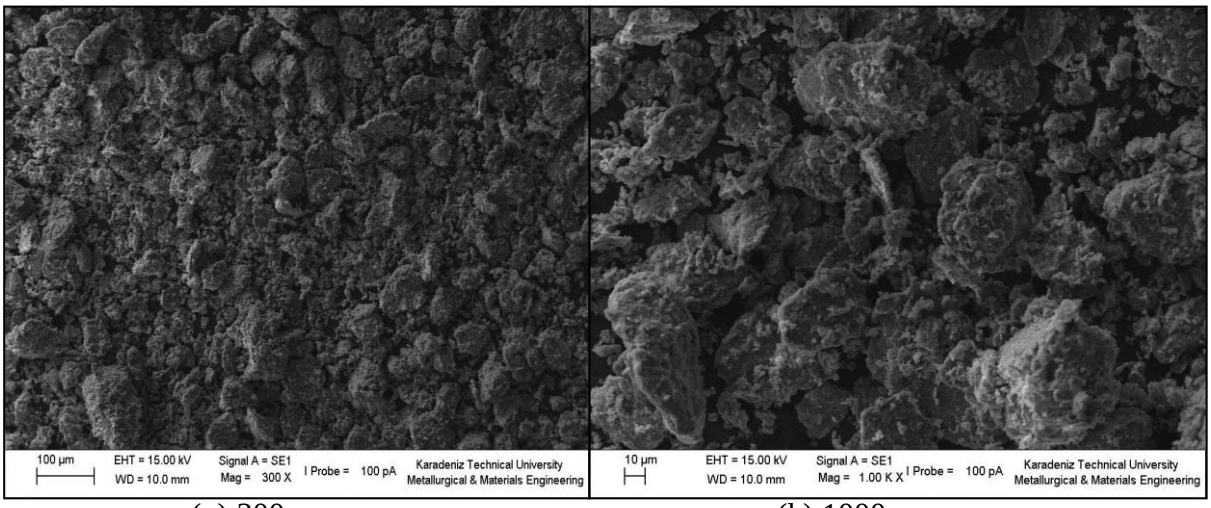


(e) 300x

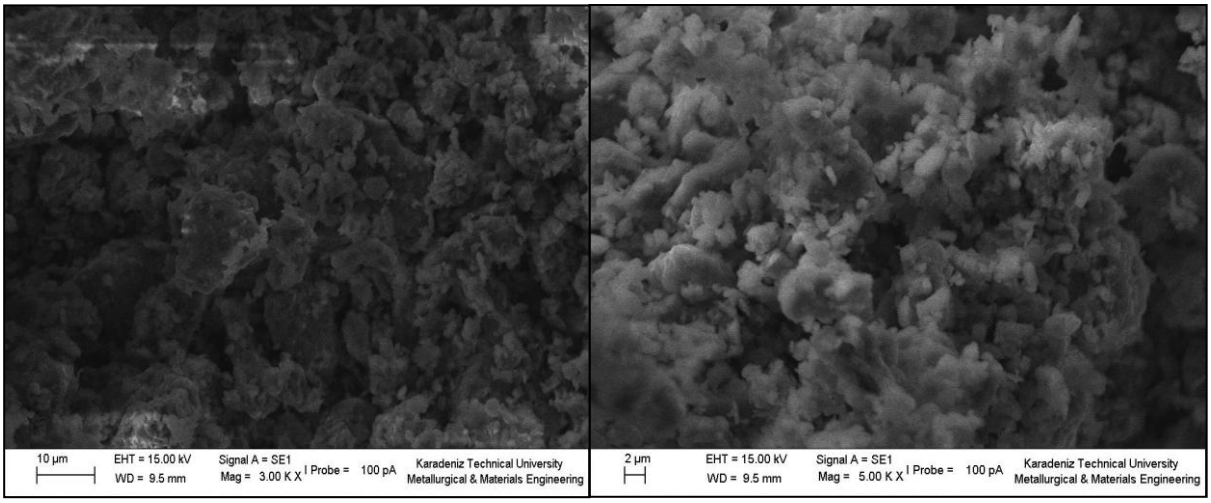
(f) 1000x

Yassılaşmış yapılar

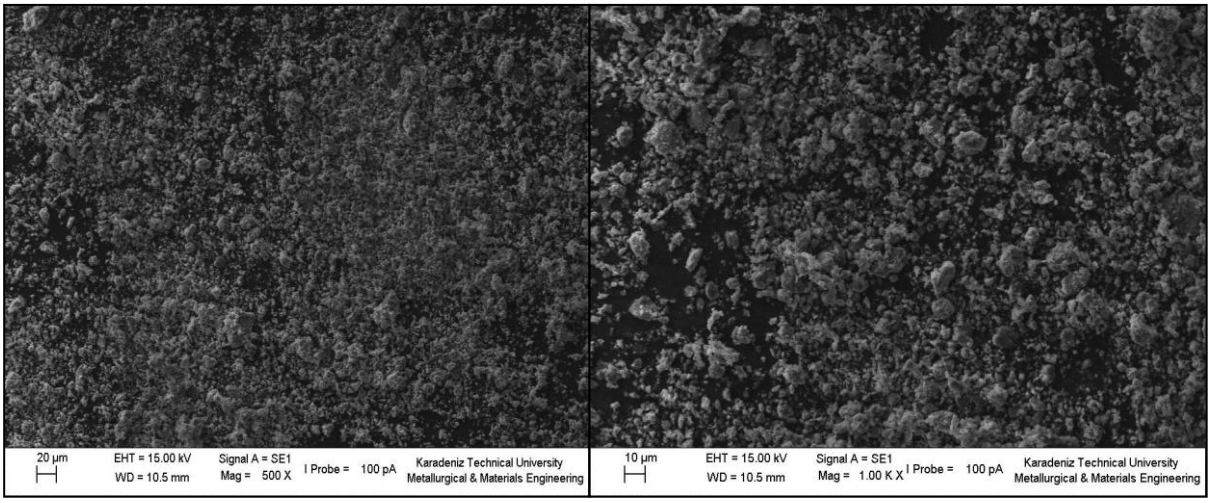
EK-1 (devamı)



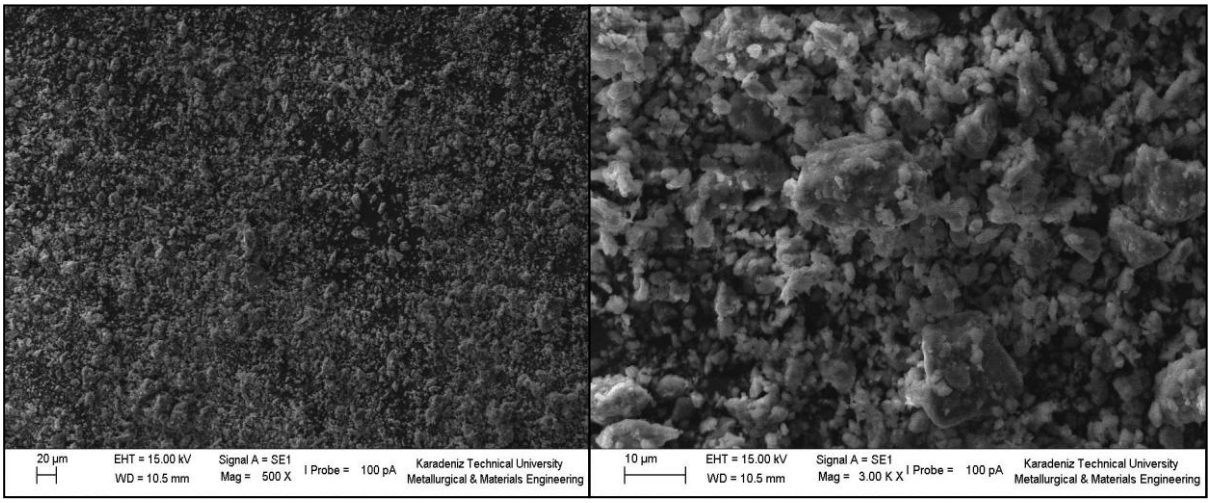
(g) 300x (h) 1000x



(j) 3000x (k) 5000x

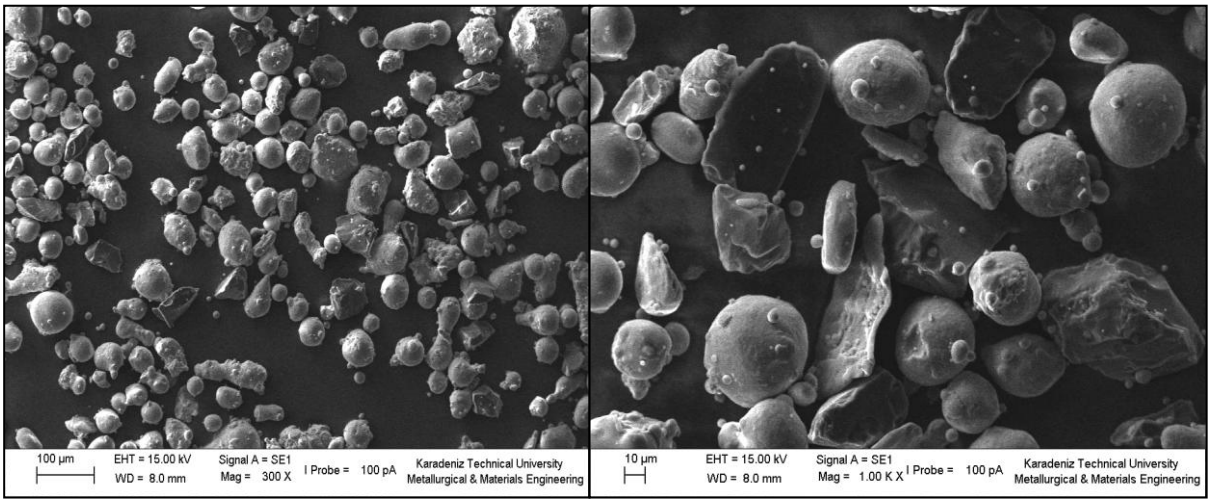


(l) 500x (m) 1000x

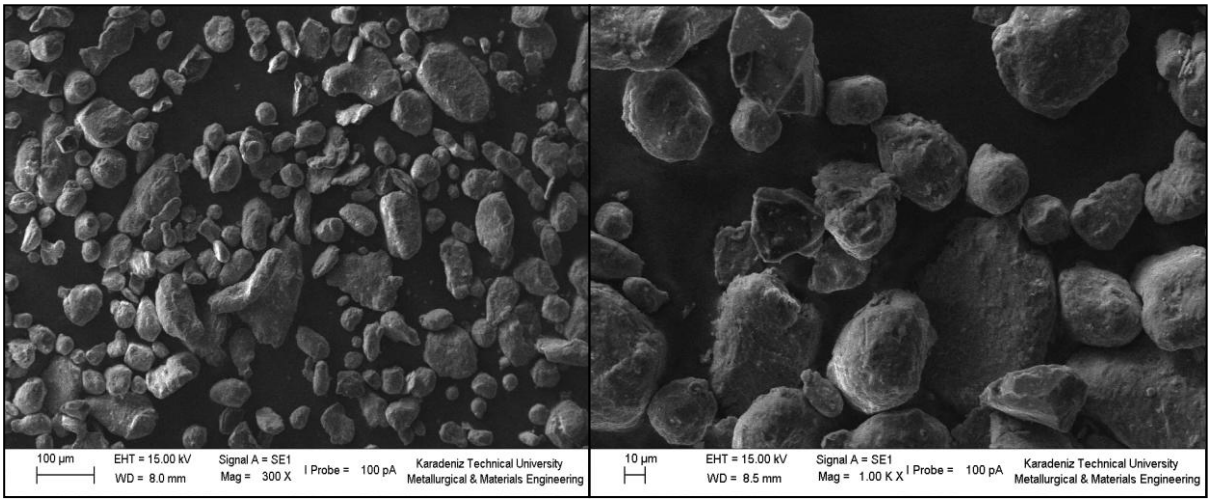


(p) 500x (r) 3000x

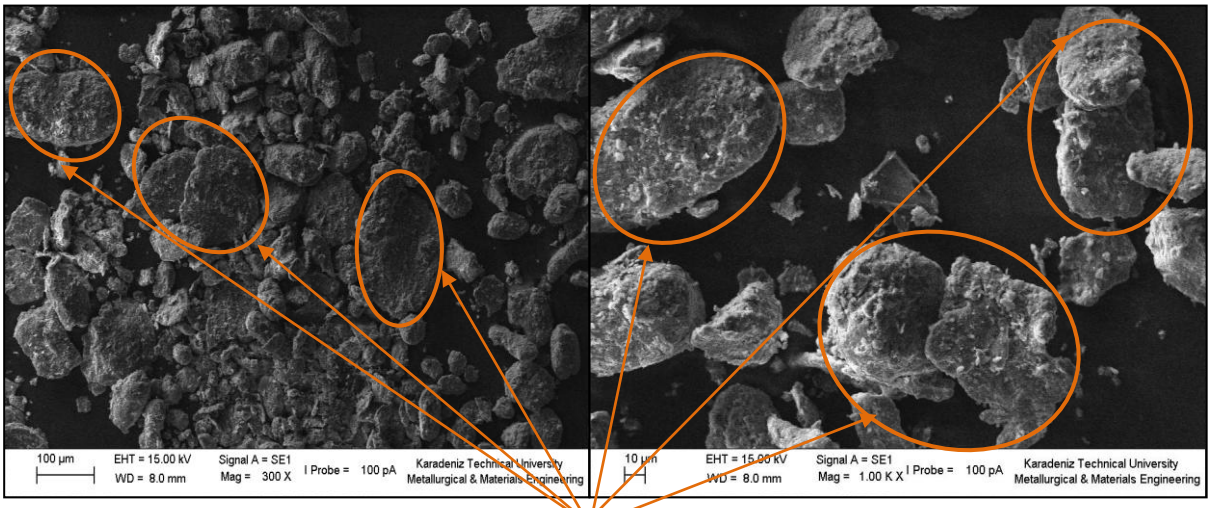
EK-2 AA7075 - %5 B_4C toz morfolojisinin mekanik alaşımlama süresi ile değişimi (a-b) 0 saat, (c-d) 0,5 saat, (e-f) 1 saat, (g-h) 2 saat, (j-k) 4 saat, (l-m) 6 saat (p-r) 8 saat



(a) 300x (b) 1000x



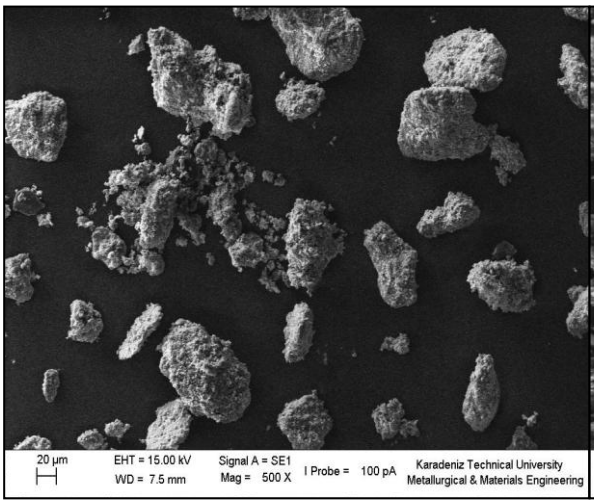
(c) 300x (d) 1000x



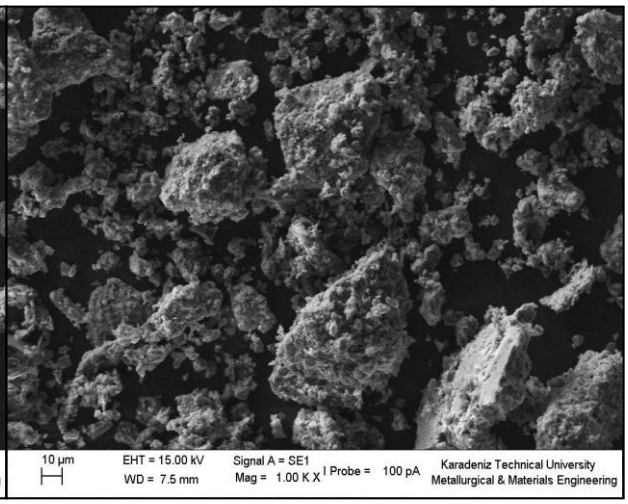
(e) 300x (f) 1000x

Yassılaşmış yapılar

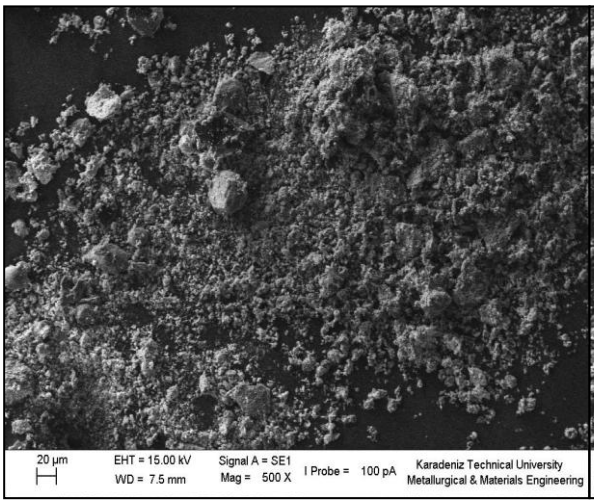
EK-2 (devamı)



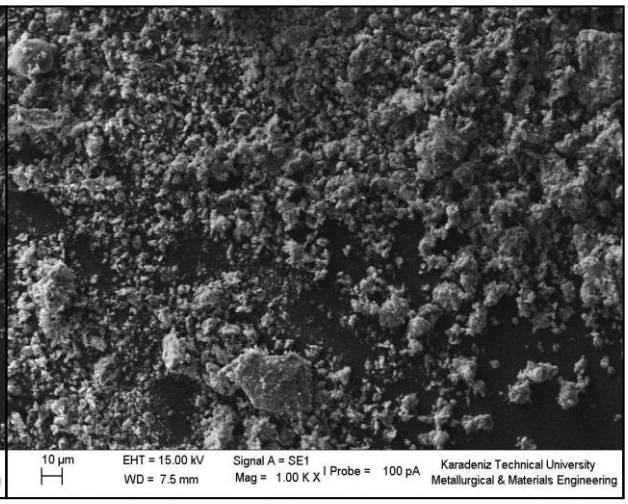
(g) 500x



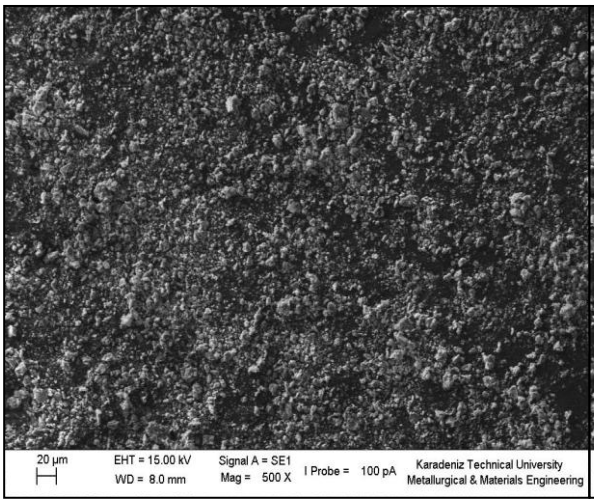
(h) 1000x



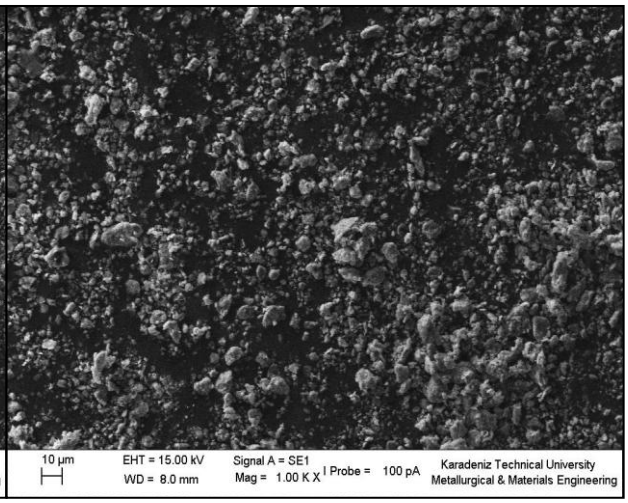
(j) 500x



(k) 1000x

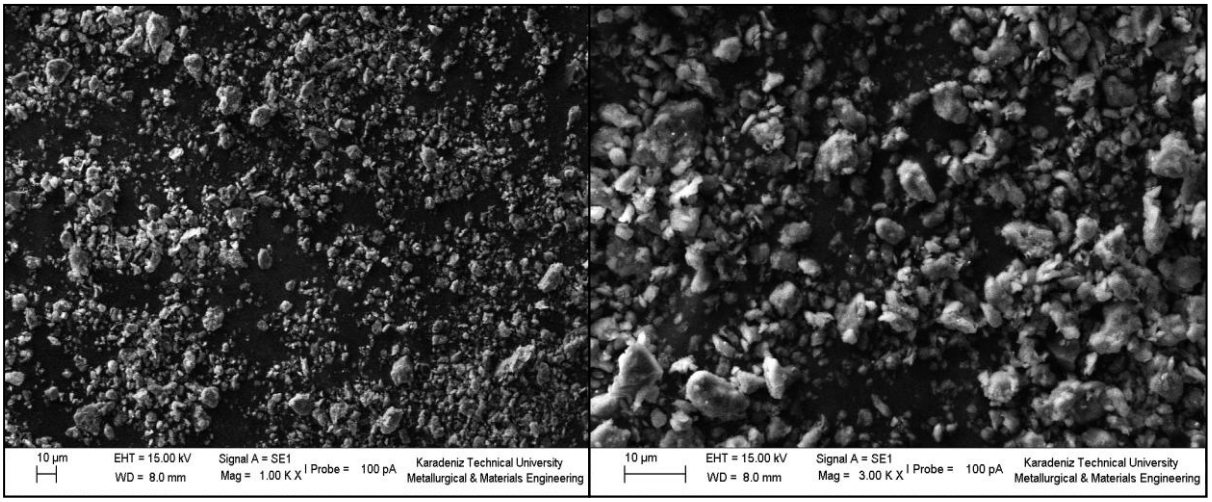


(l) 500x



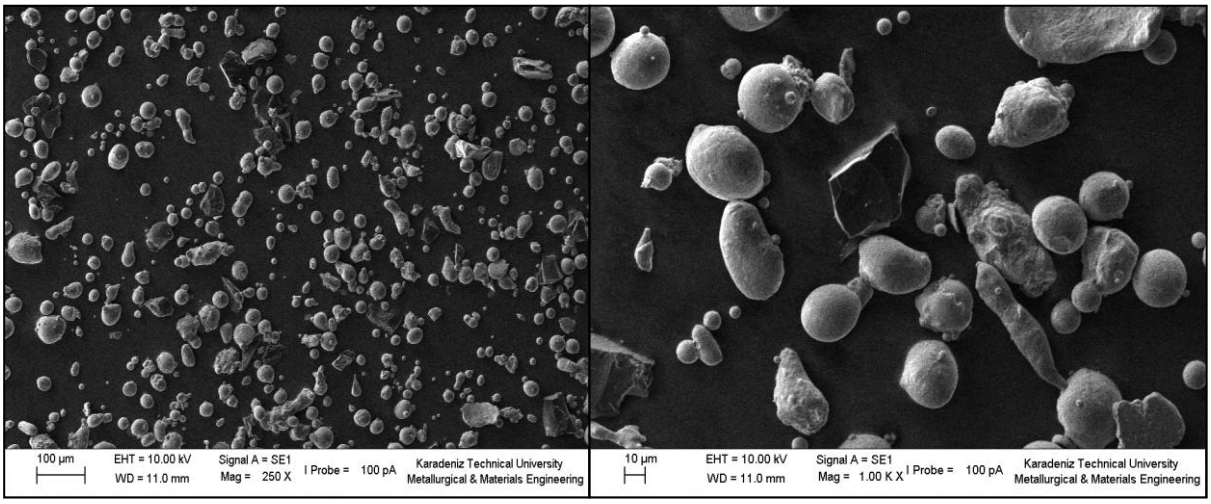
(m) 1000x

EK-2 (devamı)

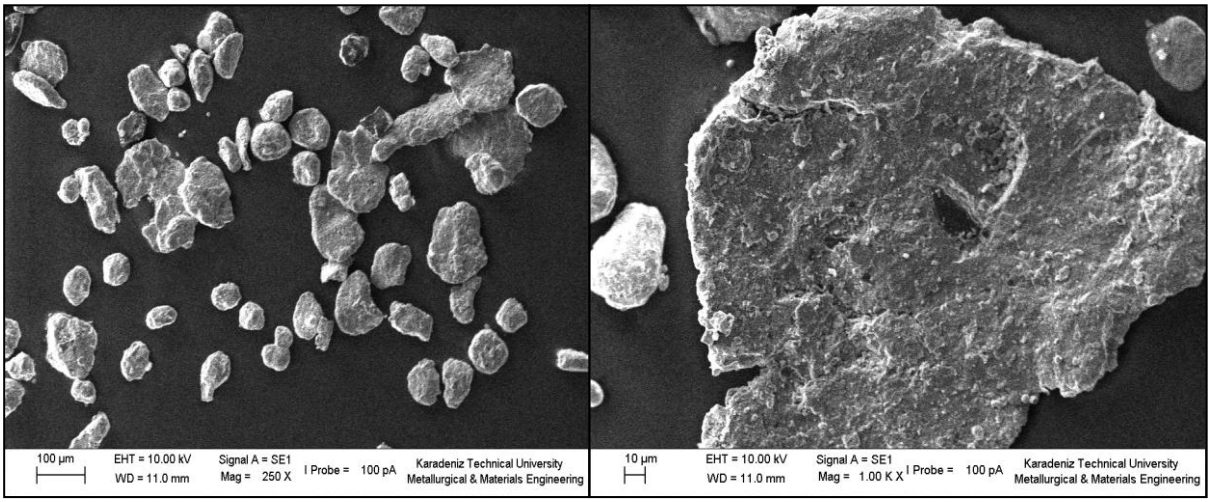


(p) 1000x (r) 3000x

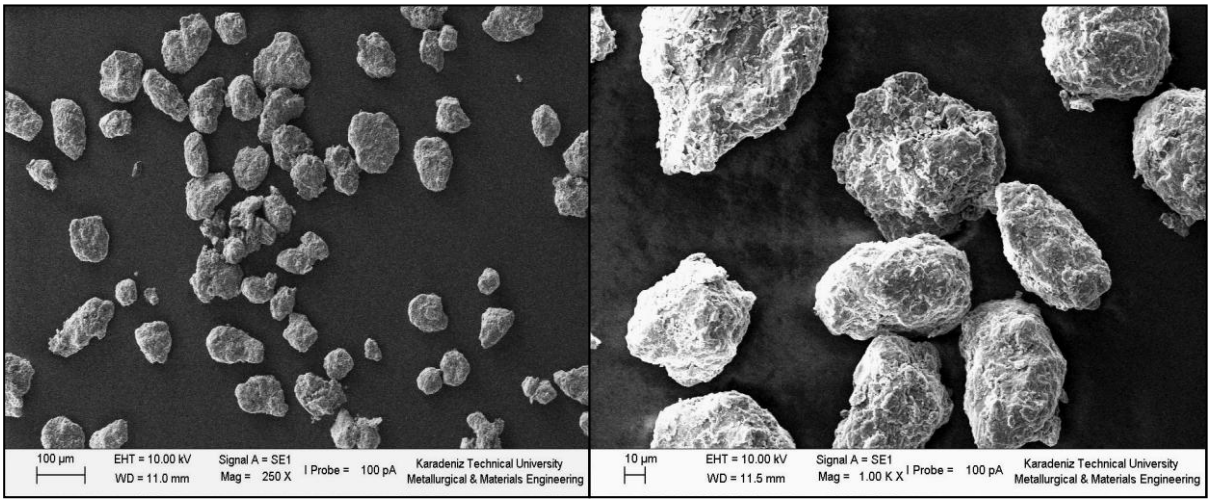
EK-3 AA7075 - %10 B_4C tozlarının morfolojisinin mekanik alaşımlama süresi ile değişimi (a-b) 0 saat, (c-d) 0,5 saat, (e-f) 1 saat, (g-h) 2 saat, (j-k) 4 saat, (l-m) 6 saat (p-r) 8 saat



(a) 250x (b) 1000x

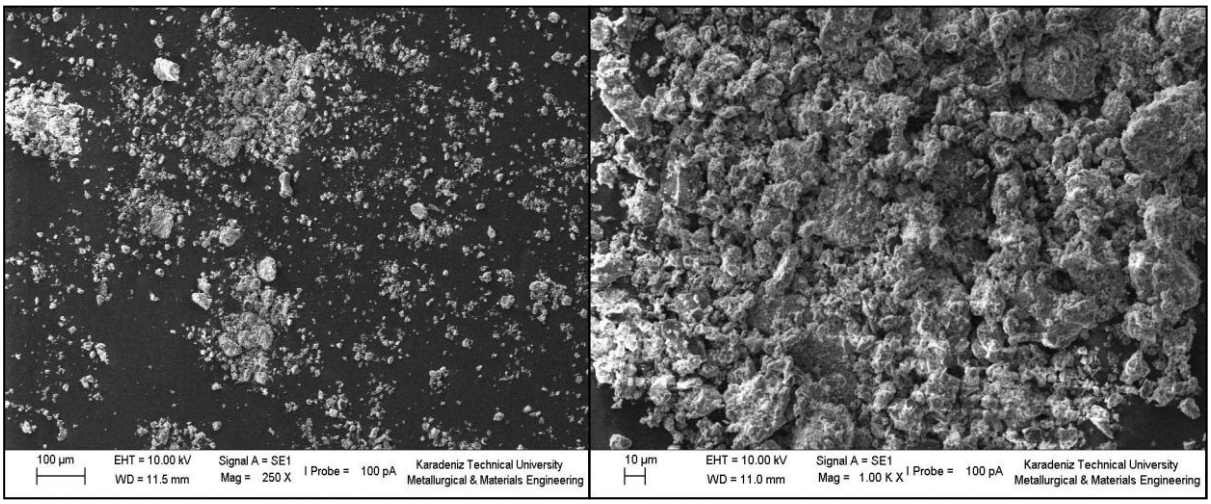


(c) 250x (d) 1000x

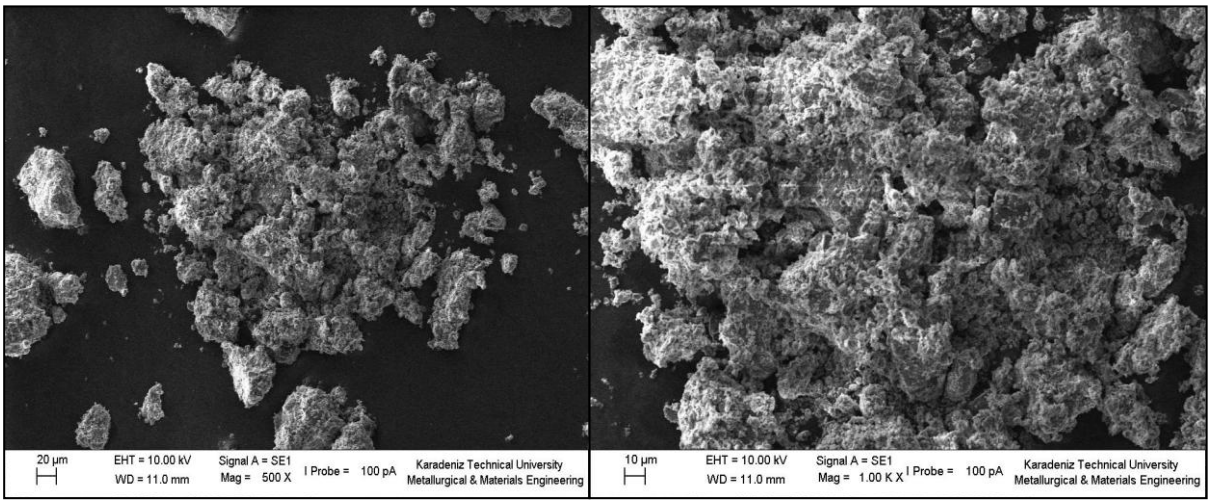


(e) 250x (f) 1000x

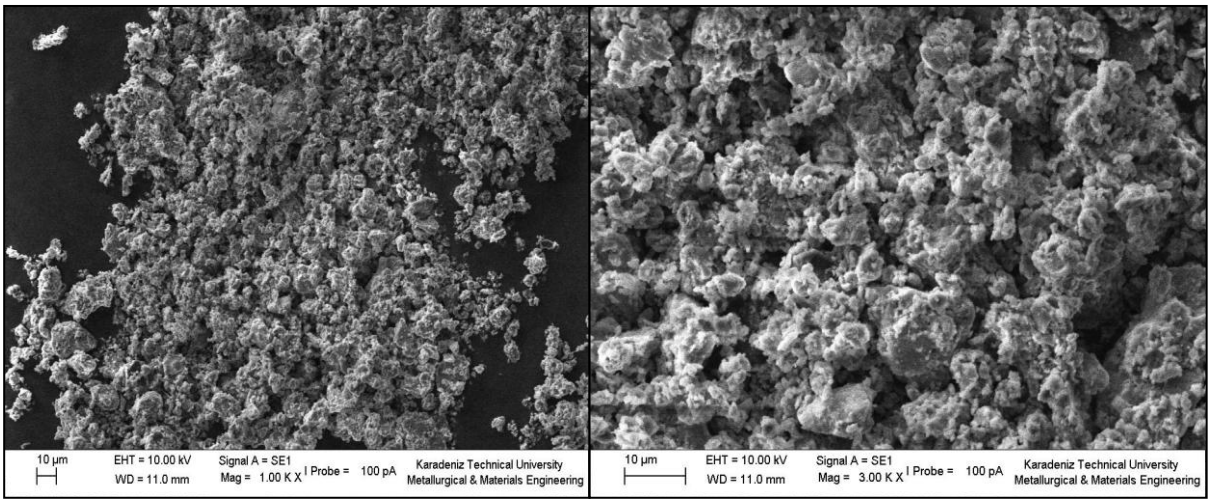
EK-3 (devamı)



(g) 250x (h) 1000x

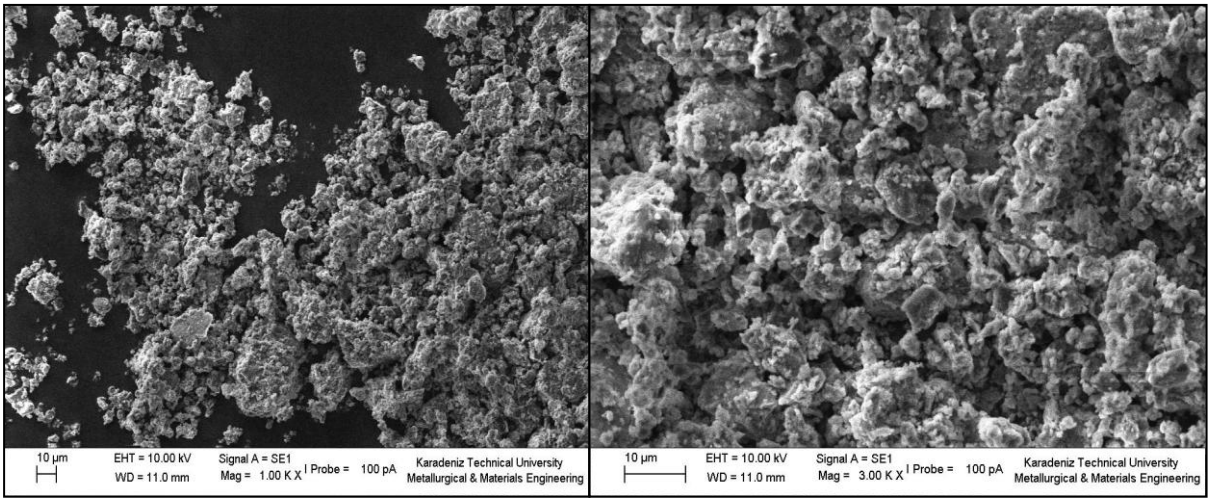


(j) 500x (k) 1000x



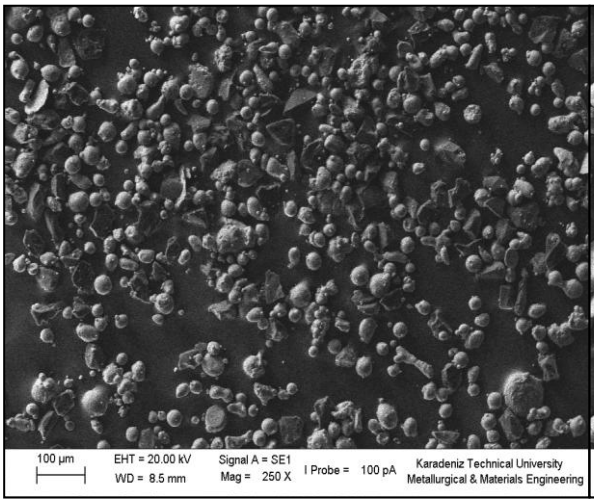
(l) 1000x (m) 3000x

EK-3 (devamı)

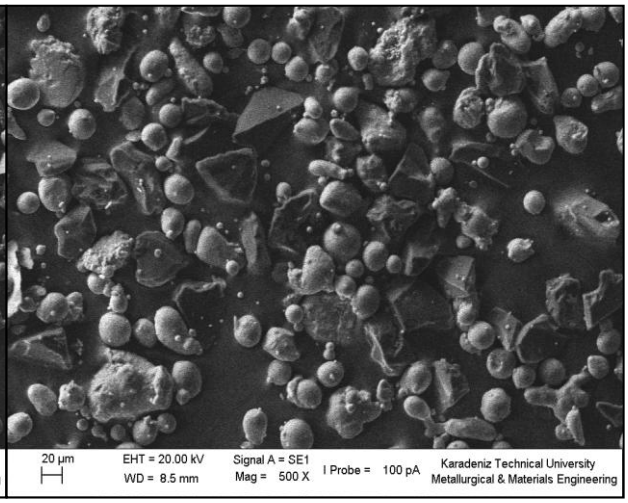


(p) 1000x (r) 3000x

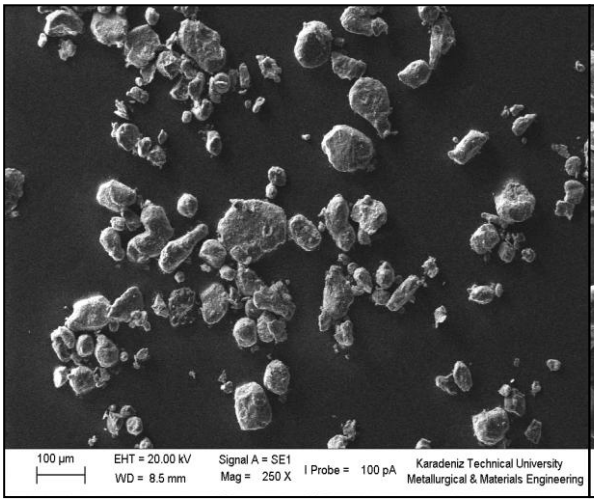
EK-4 AA7075 - %15 B_4C tozlarının morfolojisinin mekanik alaşımlama süresi ile değişimi (a-b) 0 saat, (c-d) 0,5 saat, (e-f) 1 saat, (g-h) 2 saat, (j-k) 4 saat, (l-m) 6 saat (p-r) 8 saat



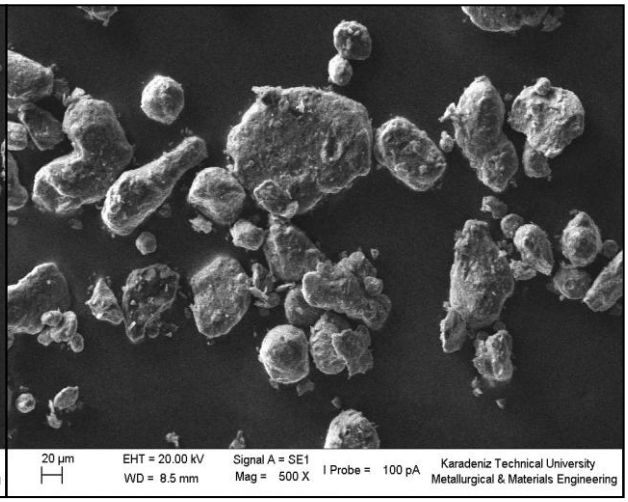
(a) 250x



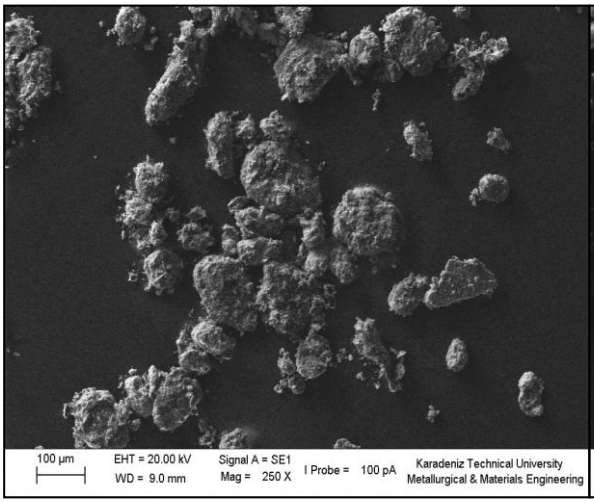
(b) 500x



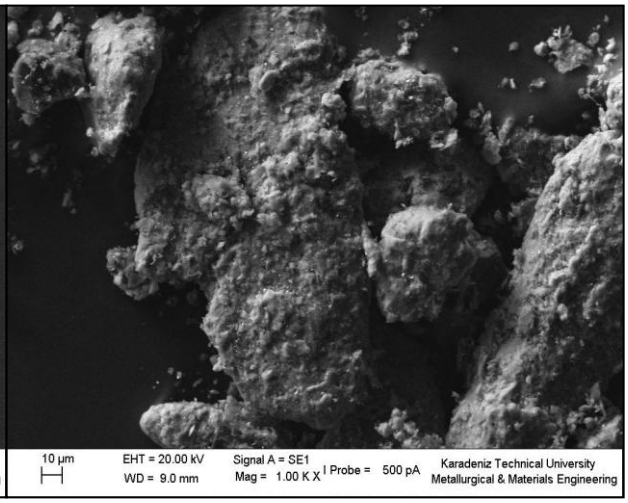
(c) 250x



(d) 500x

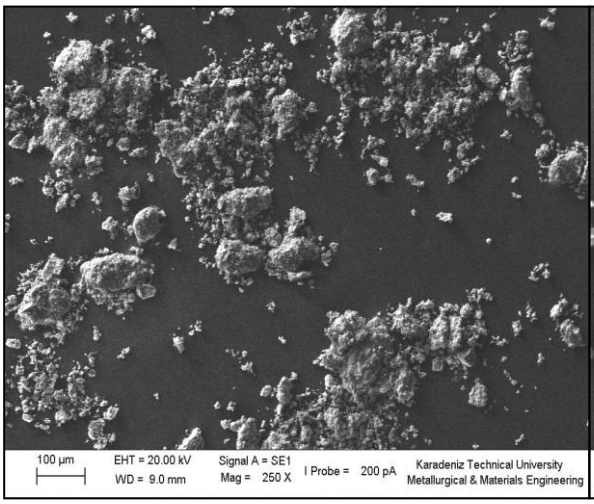


(e) 250x

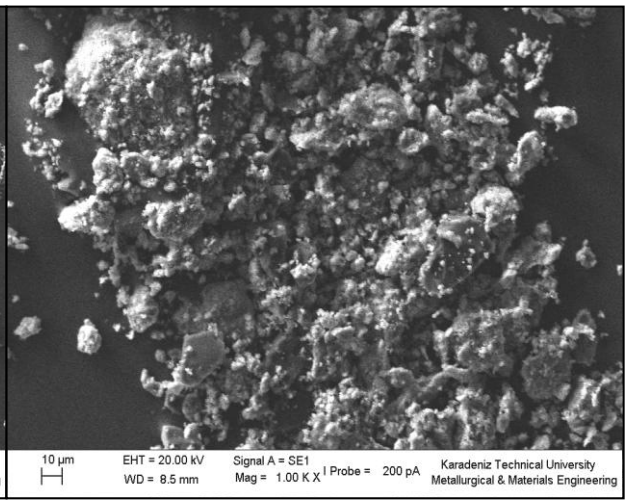


(f) 1000x

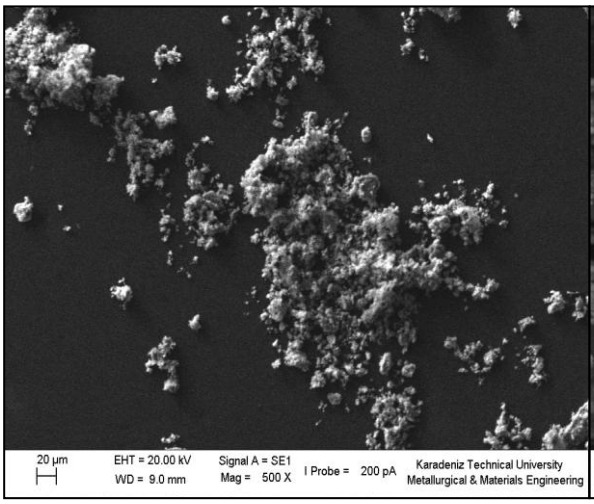
EK-4 (devamı)



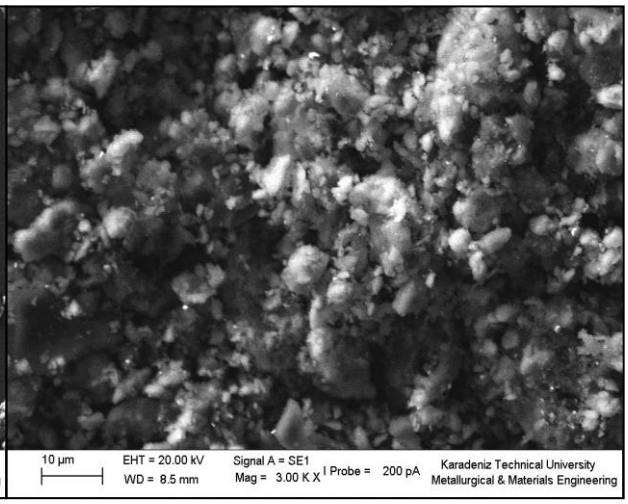
(g) 250x



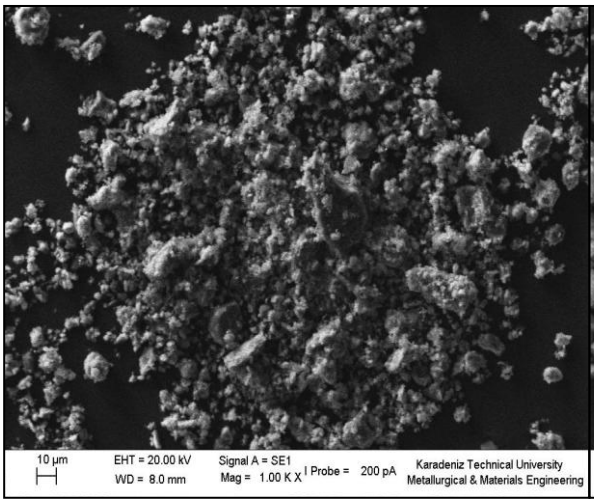
(h) 1000x



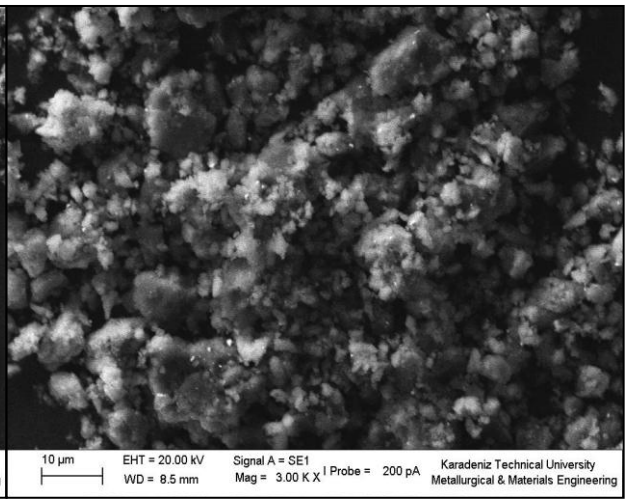
(j) 500x



(k) 3000x

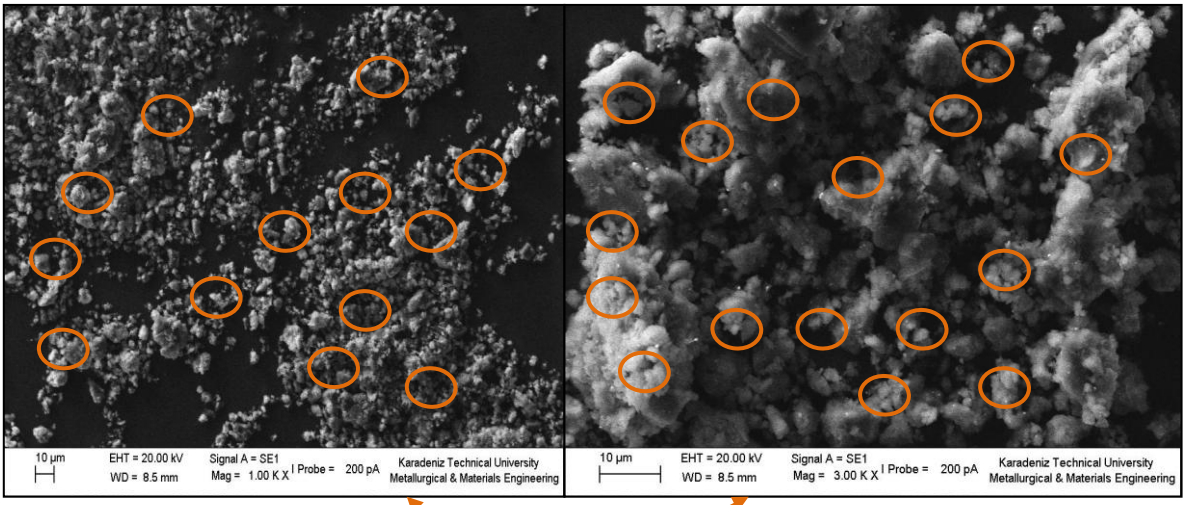


(l) 1000x



(m) 3000x

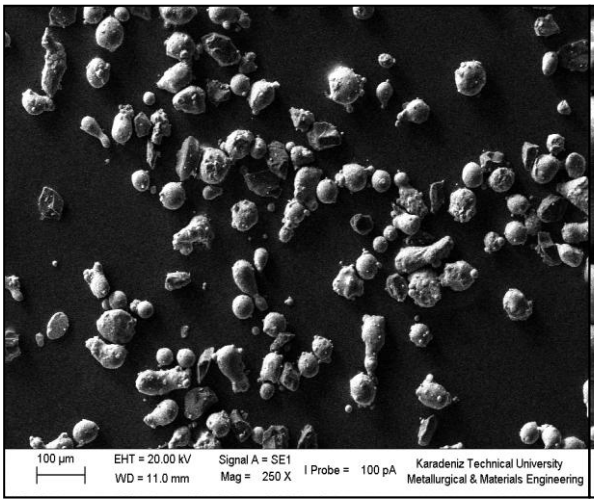
EK-4 (devamı)



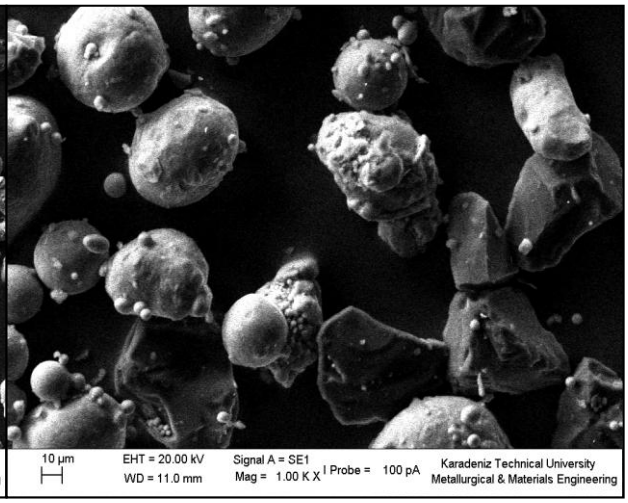
(p) 1000x (r) 3000x

Eş eksenli yapılar

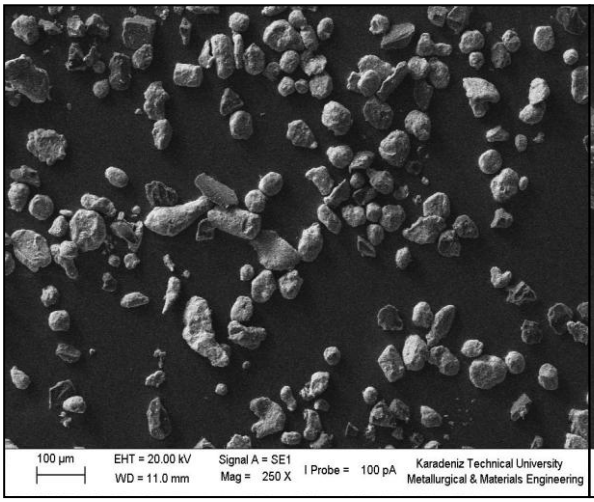
EK-5 AA7075 - %20 B_4C tozlarının morfolojisinin mekanik alaşımlama süresi ile değişimi (a-b) 0 saat, (c-d) 0,5 saat, (e-f) 1 saat, (g-h) 2 saat, (j-k) 4 saat, (l-m) 6 saat (p-r) 8 saat



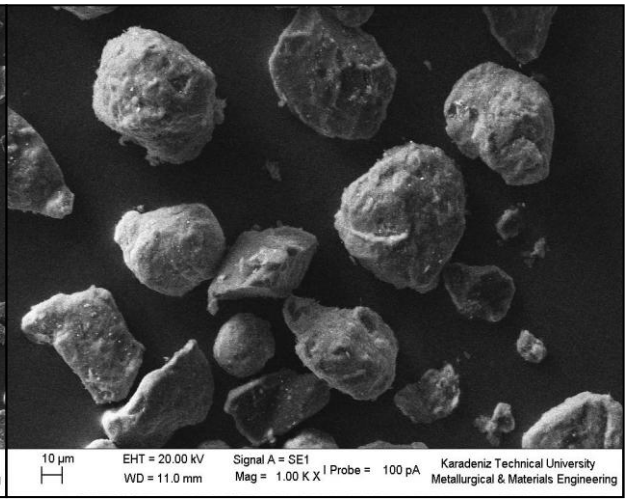
(a) 250x



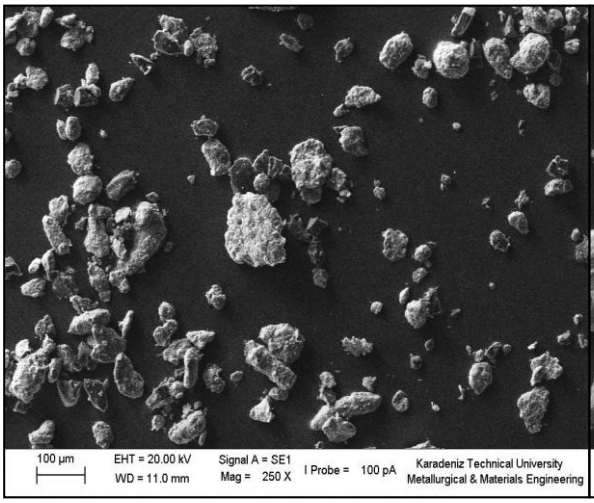
(b) 1000x



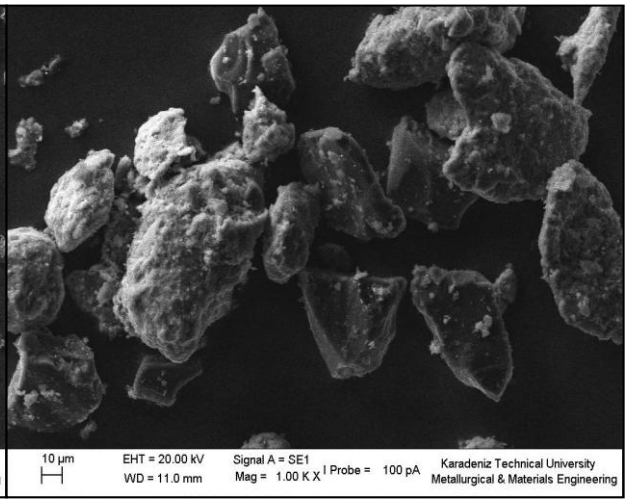
(c) 250x



(d) 1000x

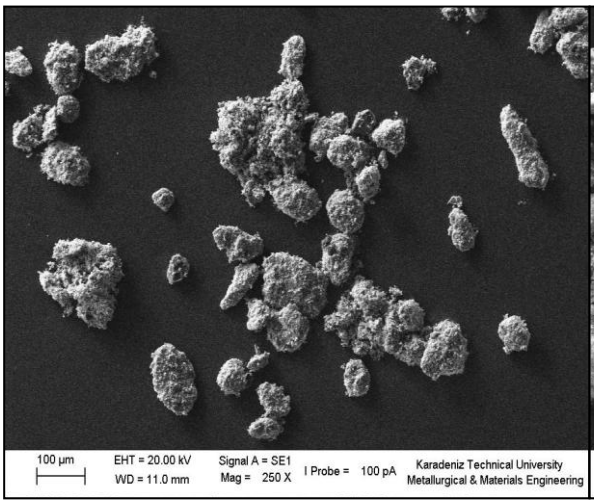


(e) 250x

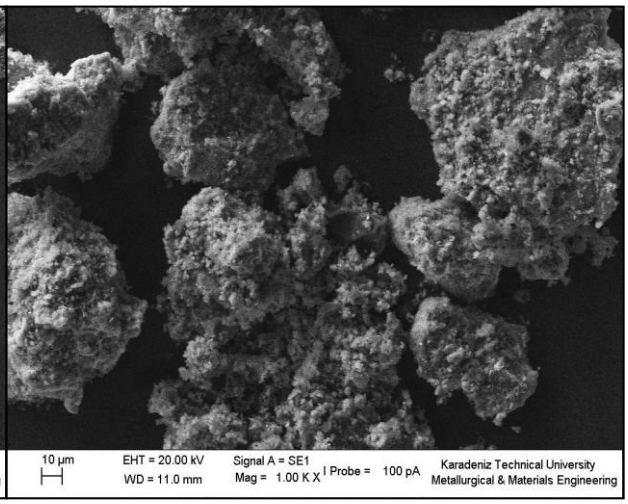


(f) 1000x

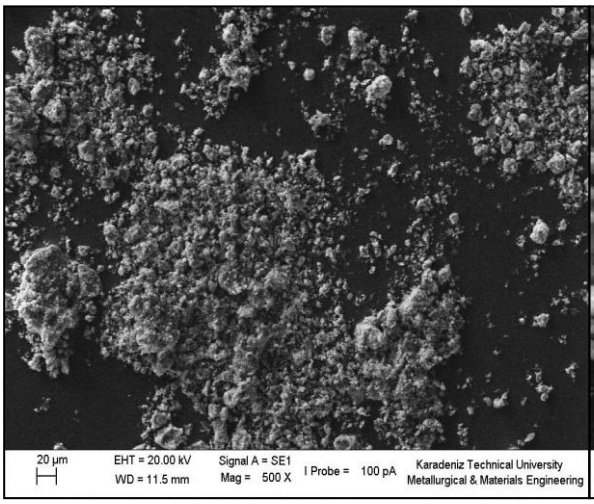
EK-5 (devamı)



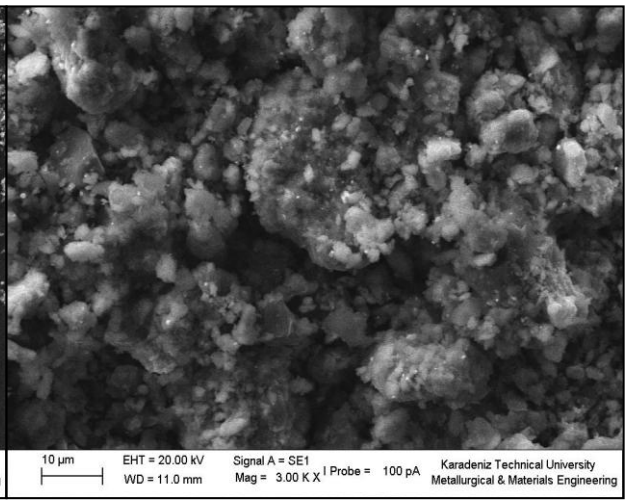
(g) 250x



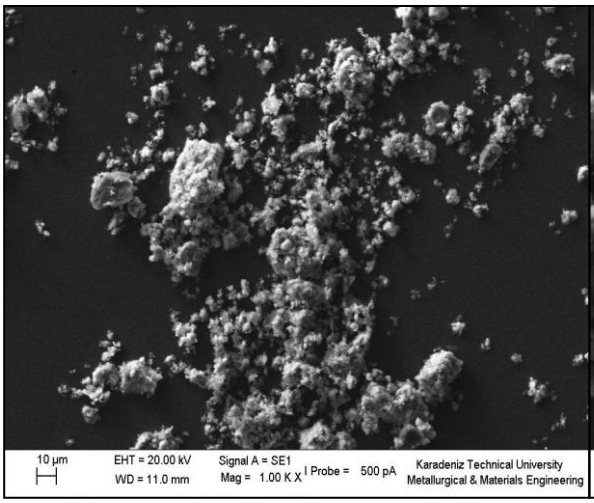
(h) 1000x



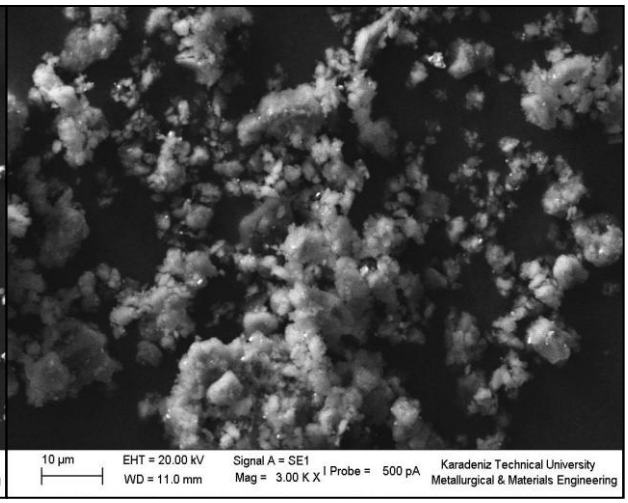
(j) 500x



(k) 3000x

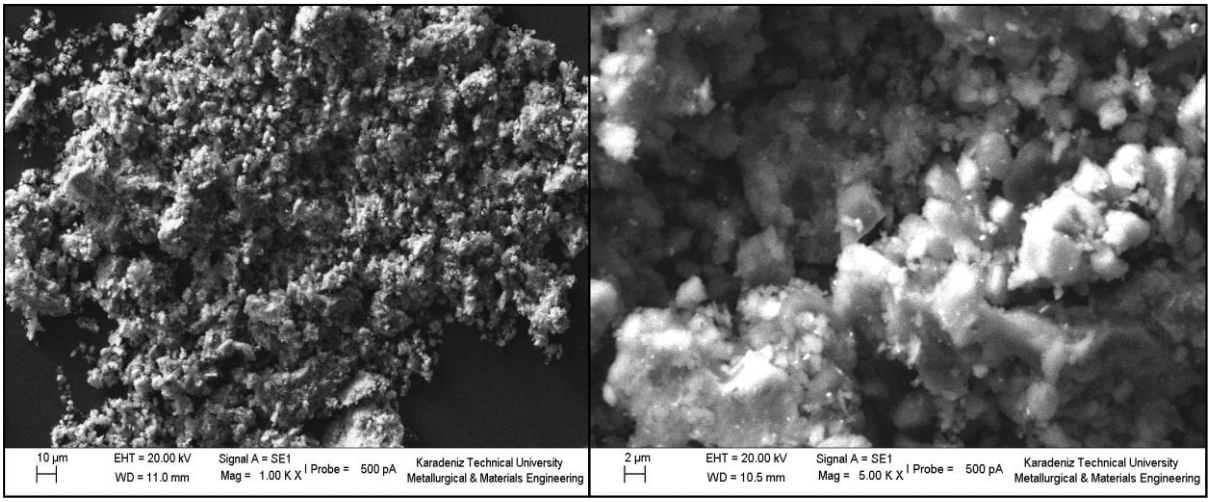


(l) 1000x



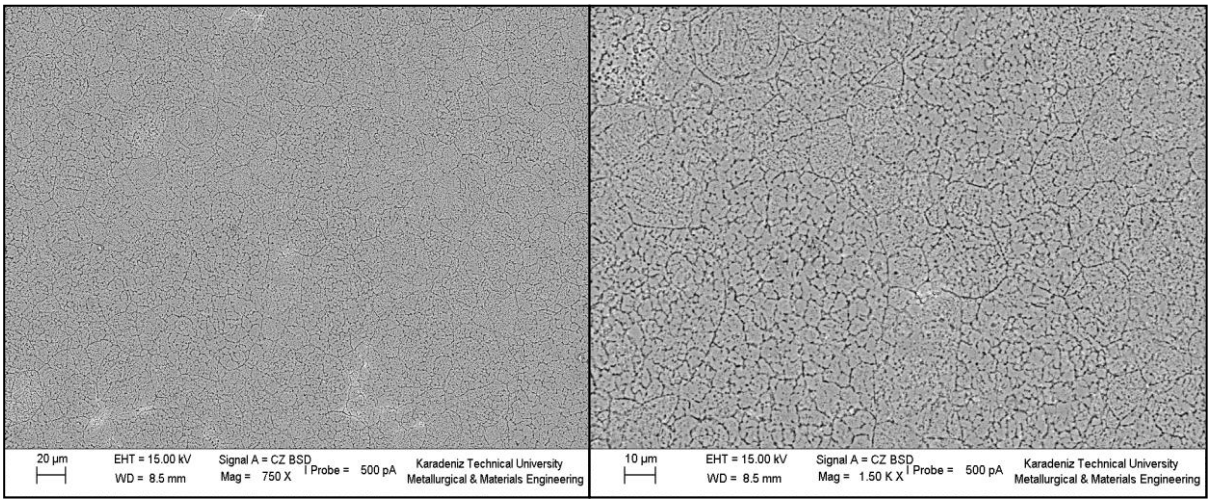
(m) 3000x

EK-5 (devamı)

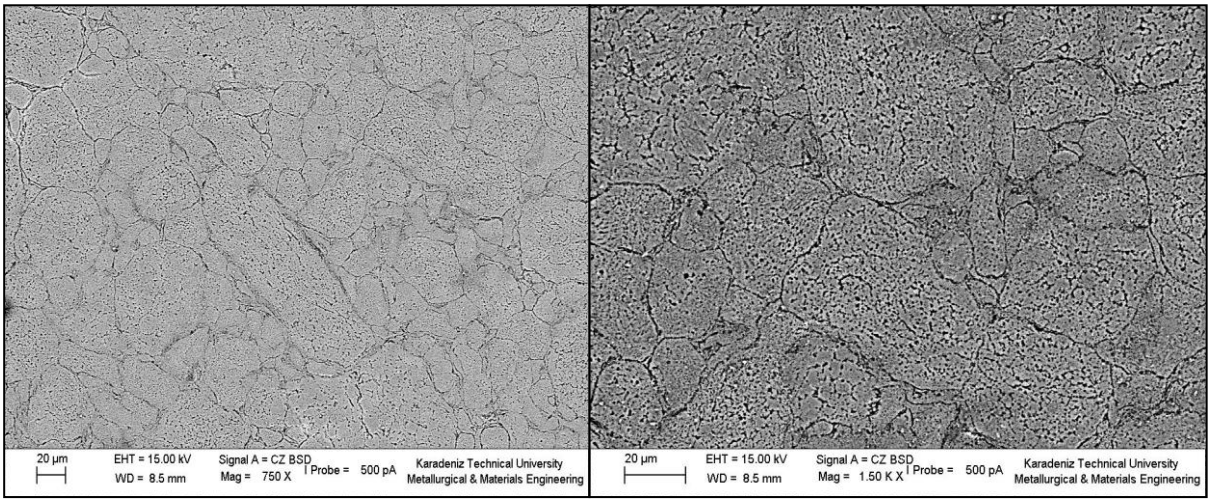


(p) 1000x (r) 5000x

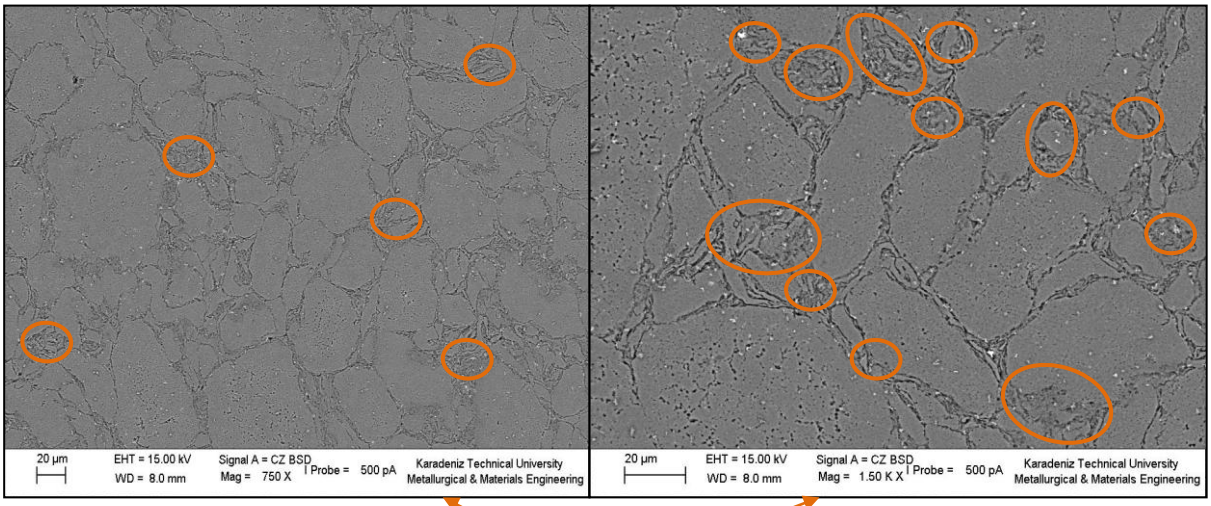
EK-6 AA7075 alaşım mikroyapısının mekanik alaşımlama süresi ile değişimi (a-b) 0 saat, (c-d) 0,5 saat, (e-f) 1 saat, (g-h) 2 saat, (j-k) 4 saat, (l-m) 6 saat, (p-r) 8 saat



(a) 750x(BSE) (b) 1500x(BSE)



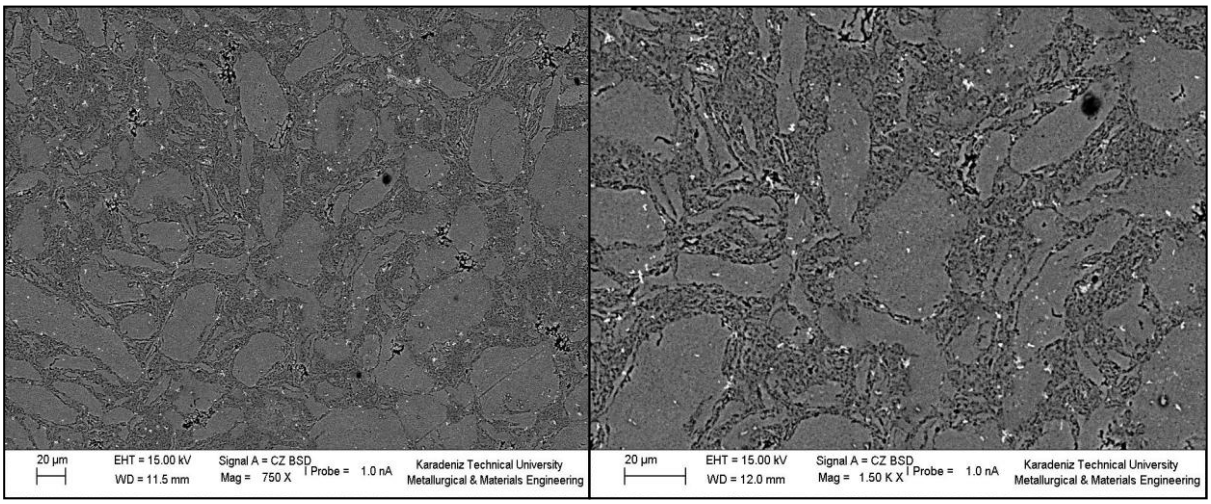
(c) 750x(BSE) (d) 1500x(BSE)



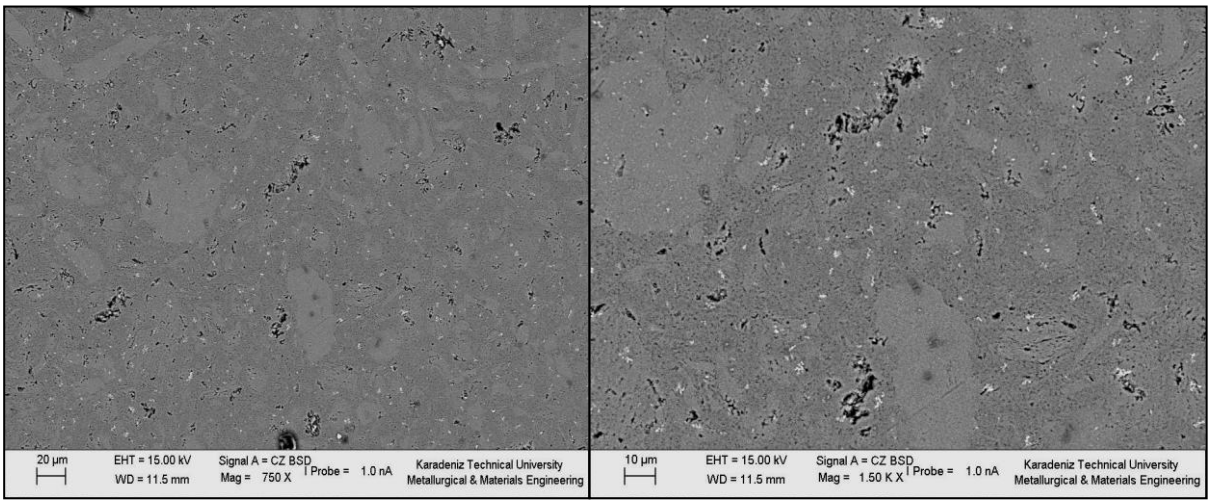
(e) 750x(BSE) (f) 1500x(BSE)

1 saat sonunda yassılaşmış taneler arasına giren küçük partiküller

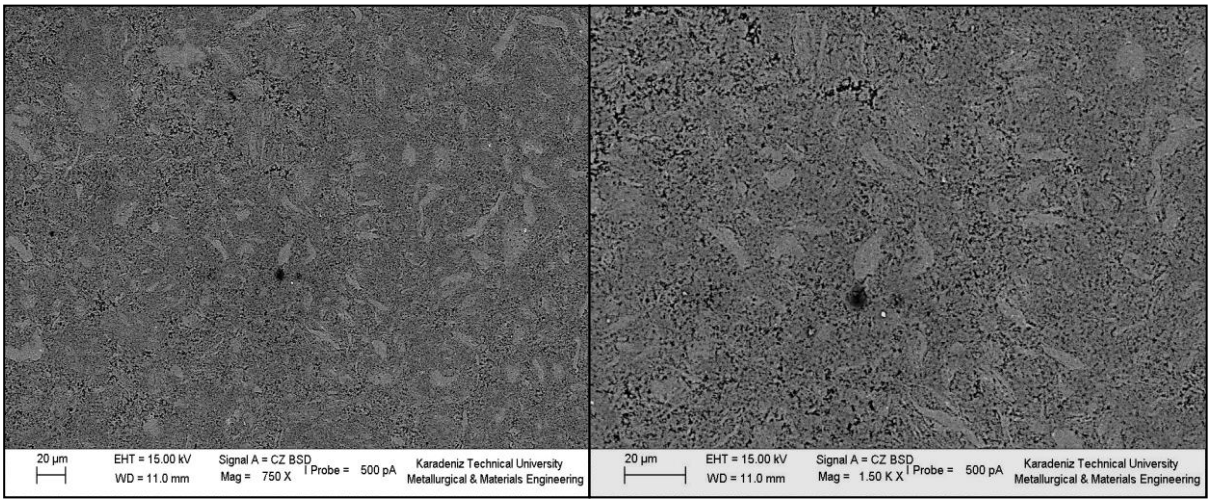
EK-6 (devamı)



(g) 750x(BSE) (h) 1500x(BSE)

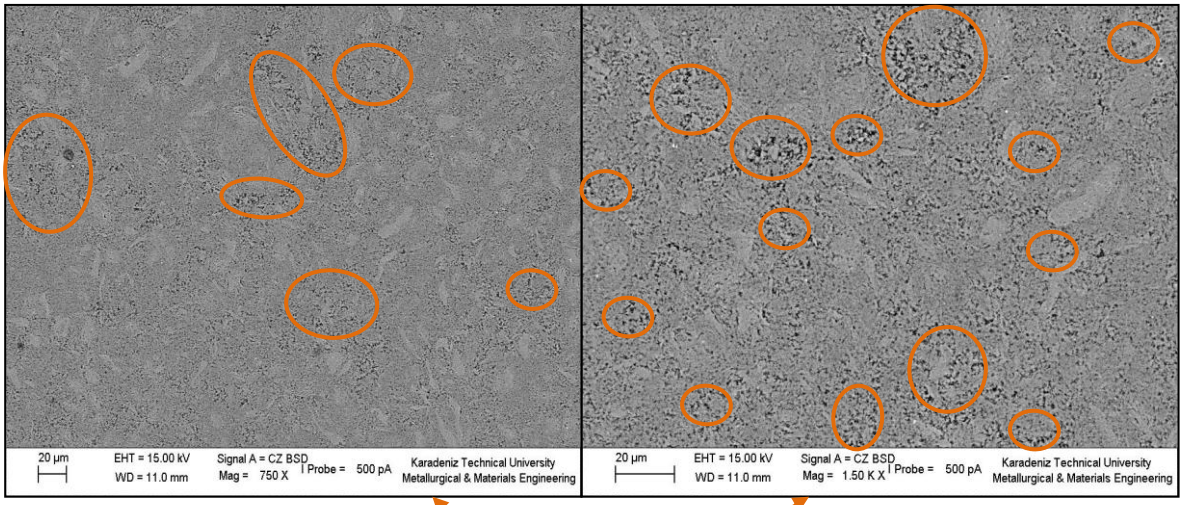


(j) 750x(BSE) (k) 1500x(BSE)



(l) 750x(BSE) (m) 1500x(BSE)

EK-6 (devamı)

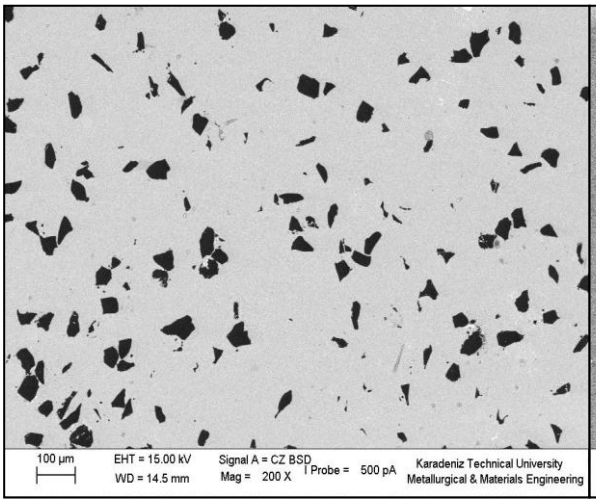


(p) 750x(BSE)

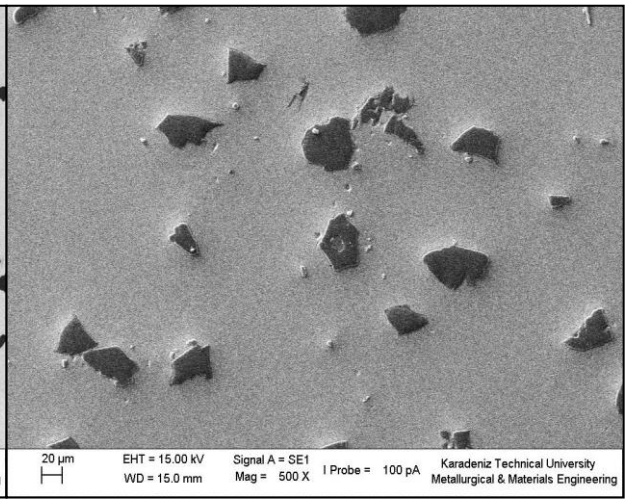
(r) 1500x(BSE)

Artan öğütme süresi ile tozlar arasındaki paketlenme kabiliyetinin azalması ve yapı içerisinde oluşan poroziteler

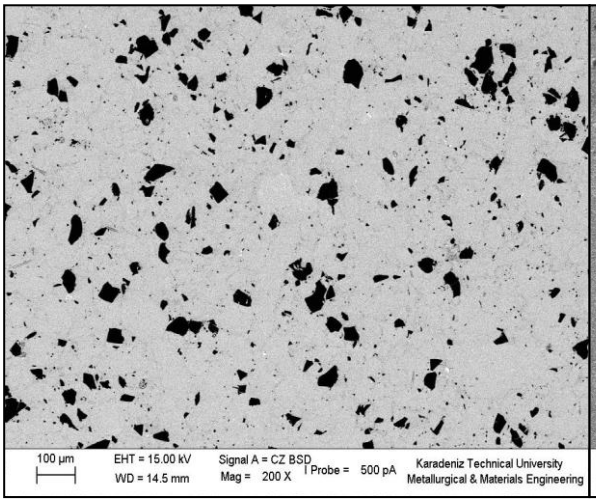
EK-7 AA7075 - %5 B_4C kompozit mikroyapısının mekanik alaşımlama süresi ile değişimi (a-b) 0 saat, (c-d) 0,5 saat, (e-f) 1 saat, (g-h) 2 saat, (j-k) 4 saat, (l-m) 6 saat (p-r) 8 saat



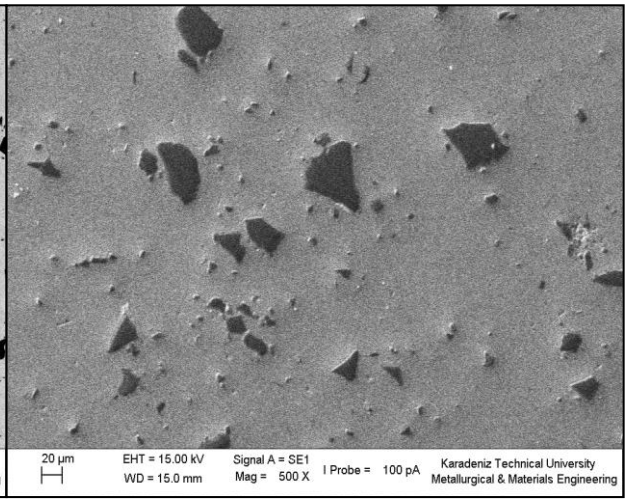
(a) 200x(BSE)



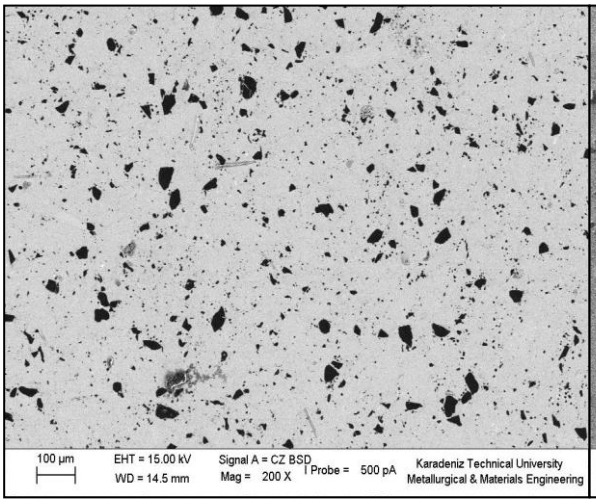
(b) 500x



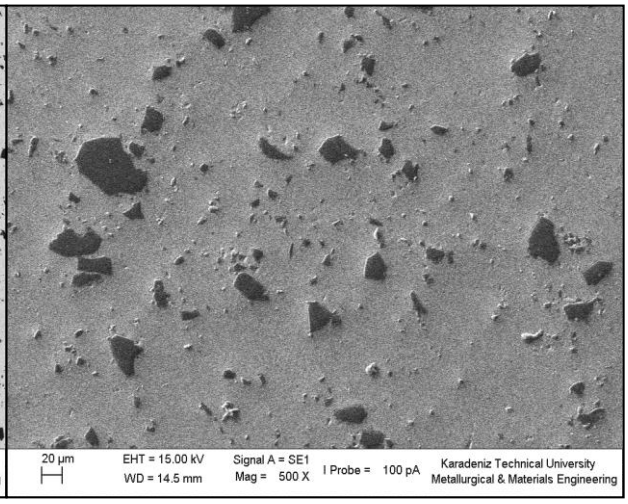
(c) 200x(BSE)



(d) 500x

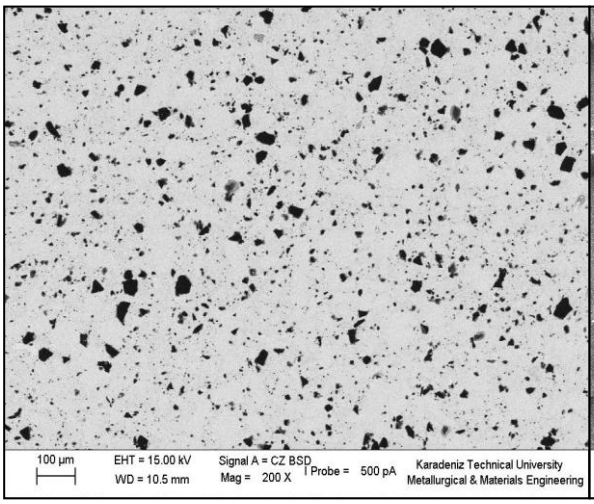


(e) 200x(BSE)

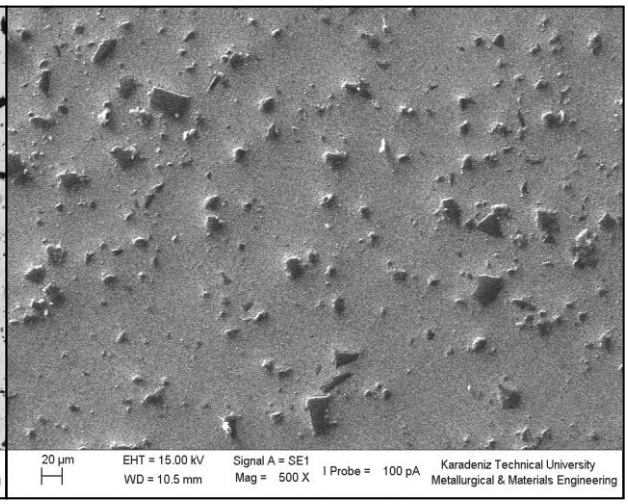


(f) 500x

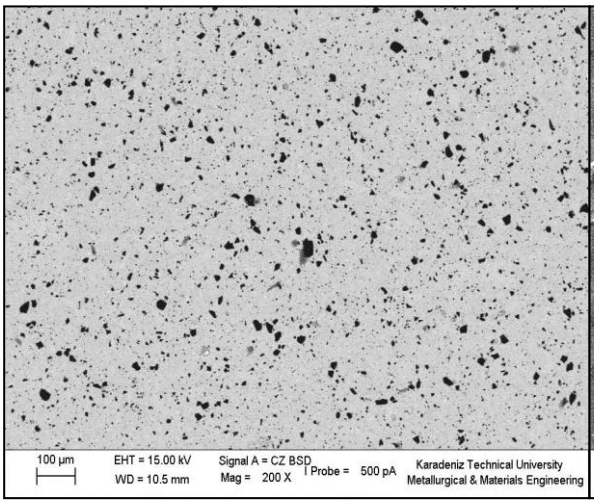
EK-7 (devamı)



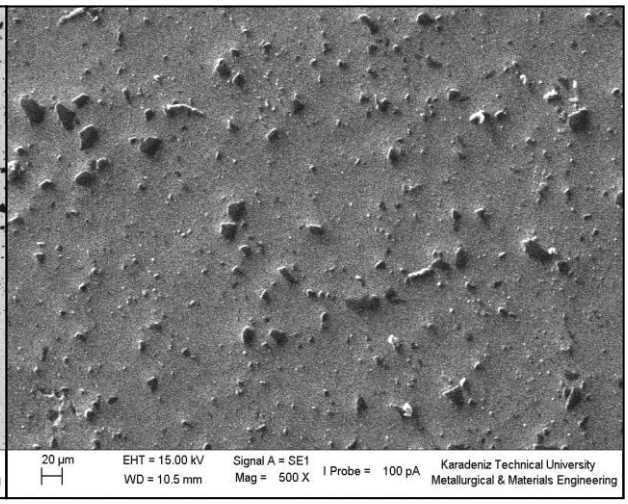
(g) 200x(BSE)



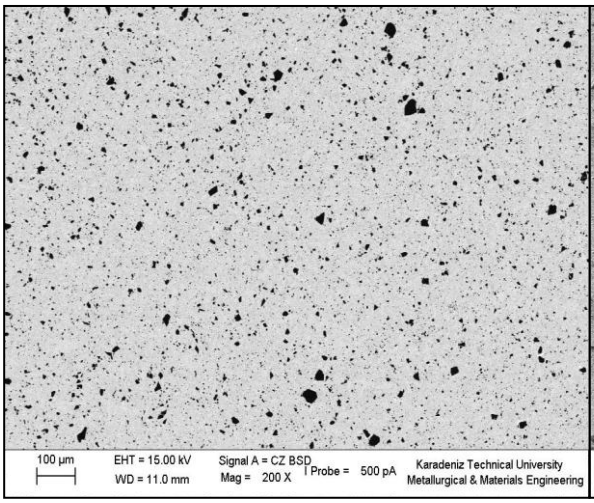
(h) 500x



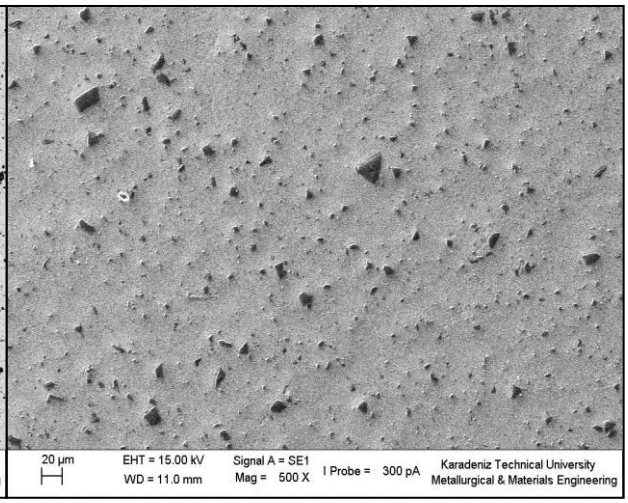
(j) 200x(BSE)



(k) 500x

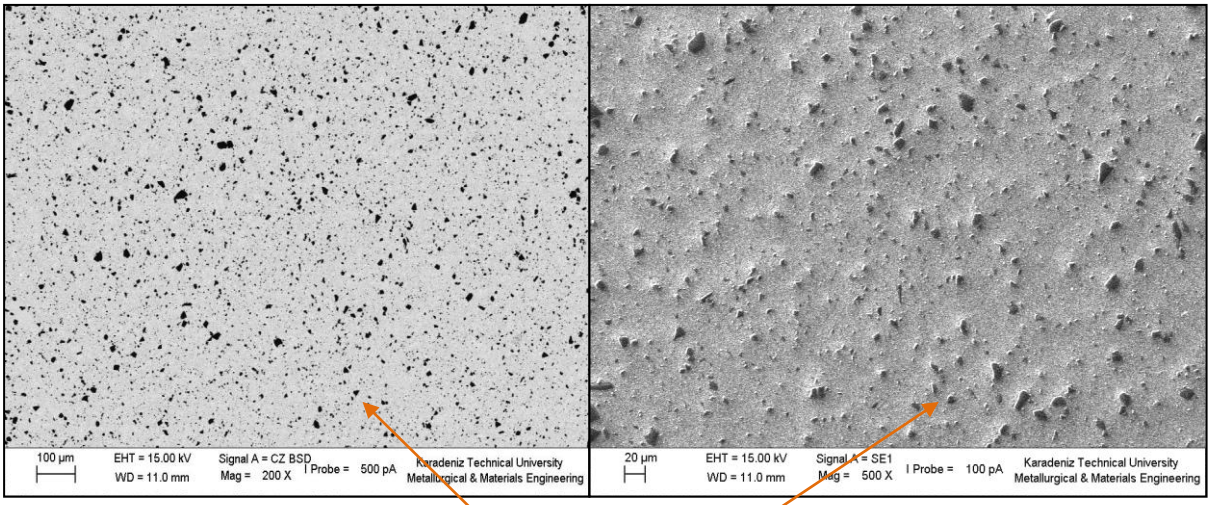


(l) 200x(BSE)



(m) 500x

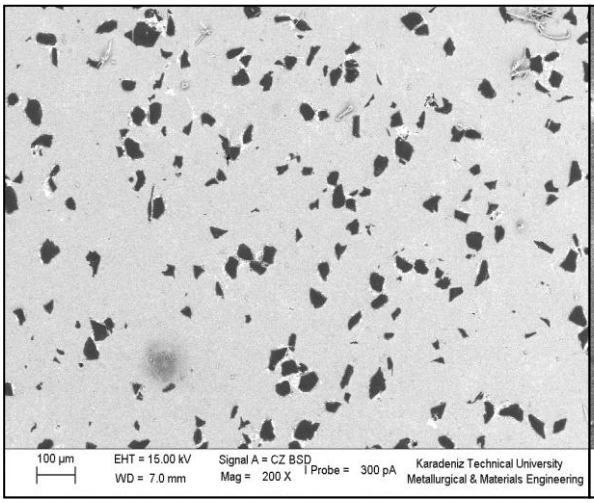
EK-7 (devamı)



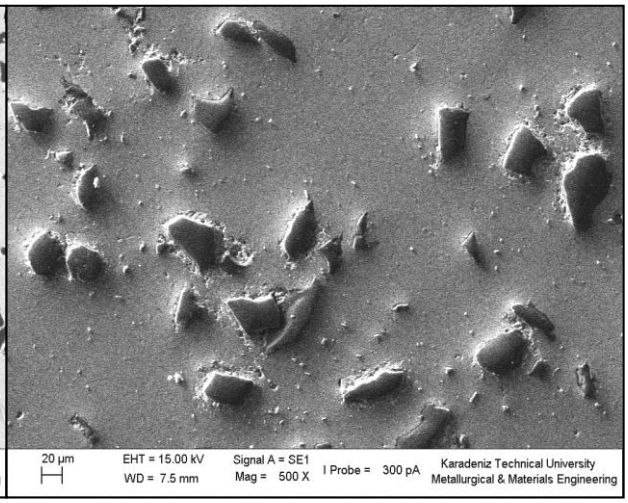
(p) 200x(BSE) (r) 500x

Alüminyum matris içinde (beyaz) homojen dağılmış B_4C parçacıkları (siyah)

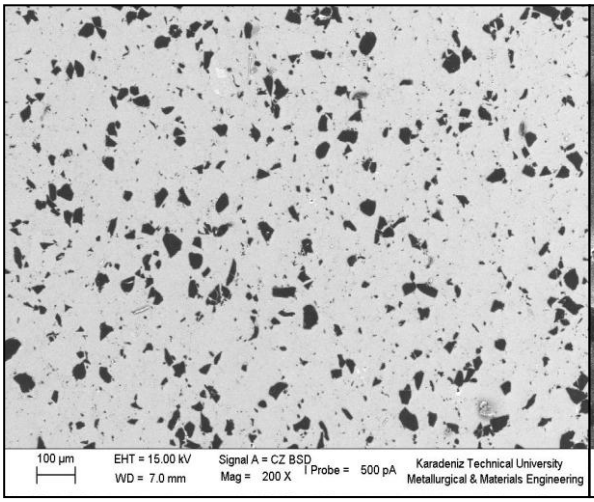
EK-8 AA7075 - %10 B_4C kompozit mikroyapısının mekanik alaşımlama süresi ile değişimi (a-b) 0 saat, (c-d) 0,5 saat, (e-f) 1 saat, (g-h) 2 saat, (j-k) 4 saat, (l-m) 6 saat (p-r) 8 saat



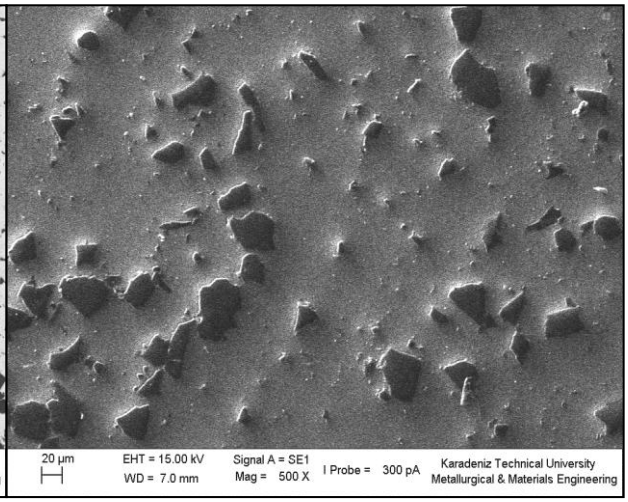
(a) 200x(BSE)



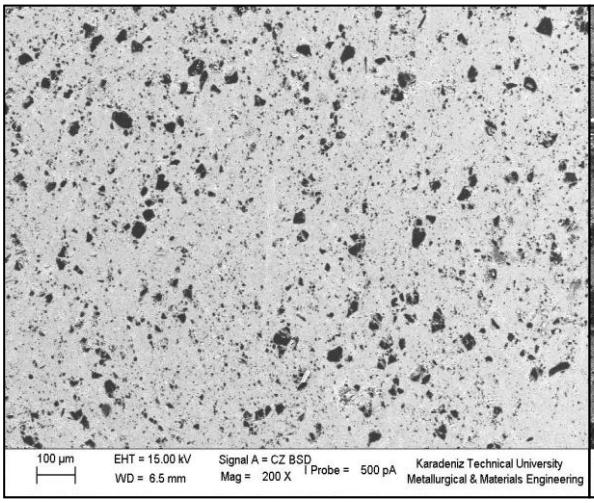
(b) 500x



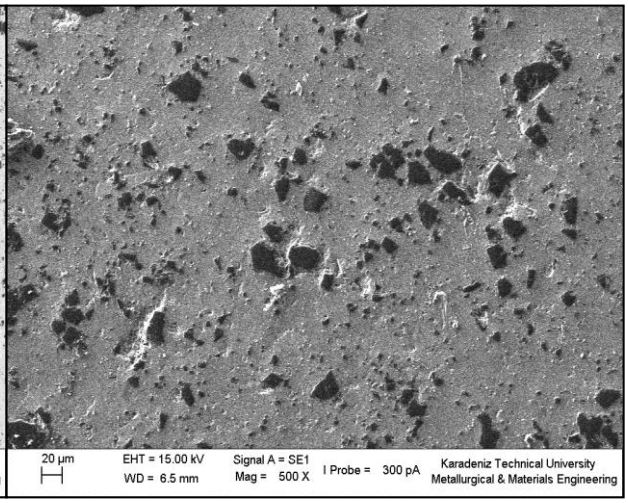
(c) 200x(BSE)



(d) 500x

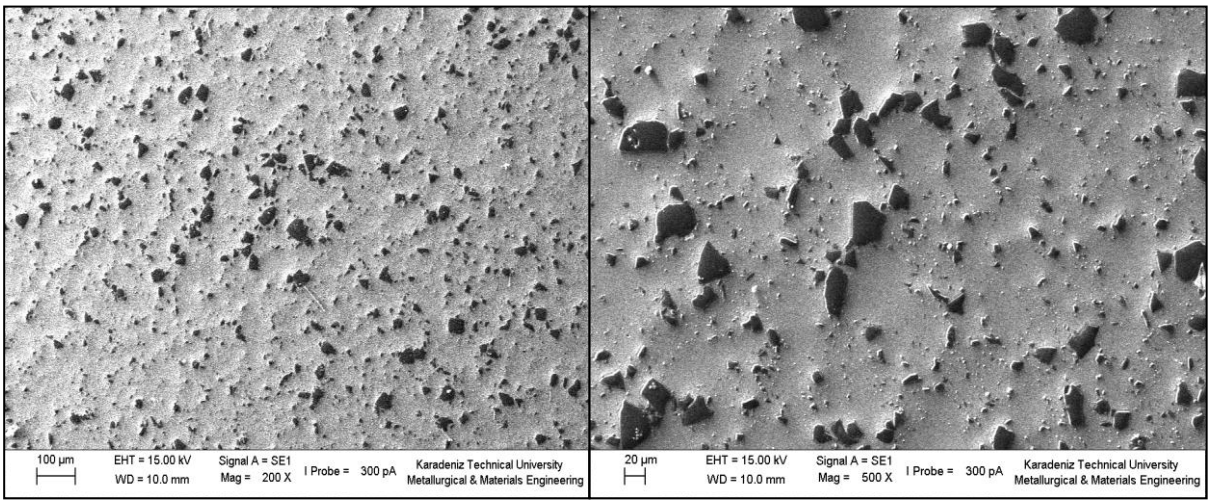


(e) 200x(BSE)

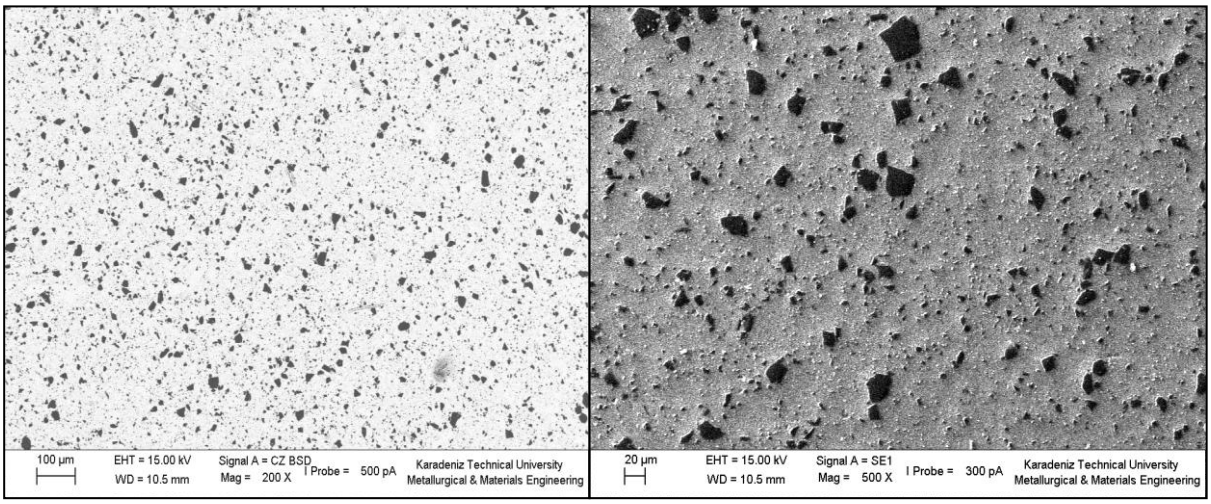


(f) 500x

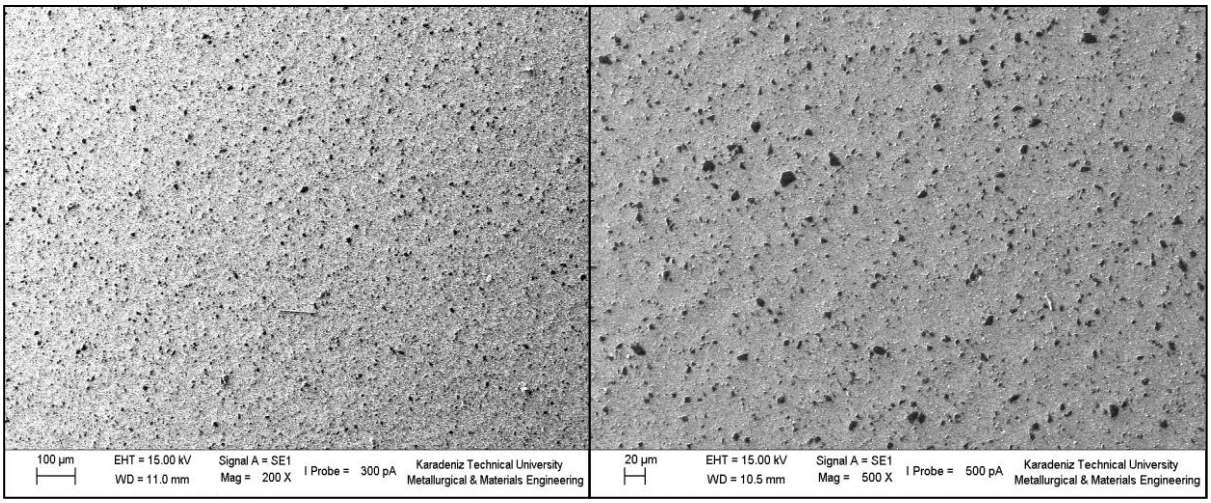
EK-8 (devamı)



(g) 200x (h) 500x

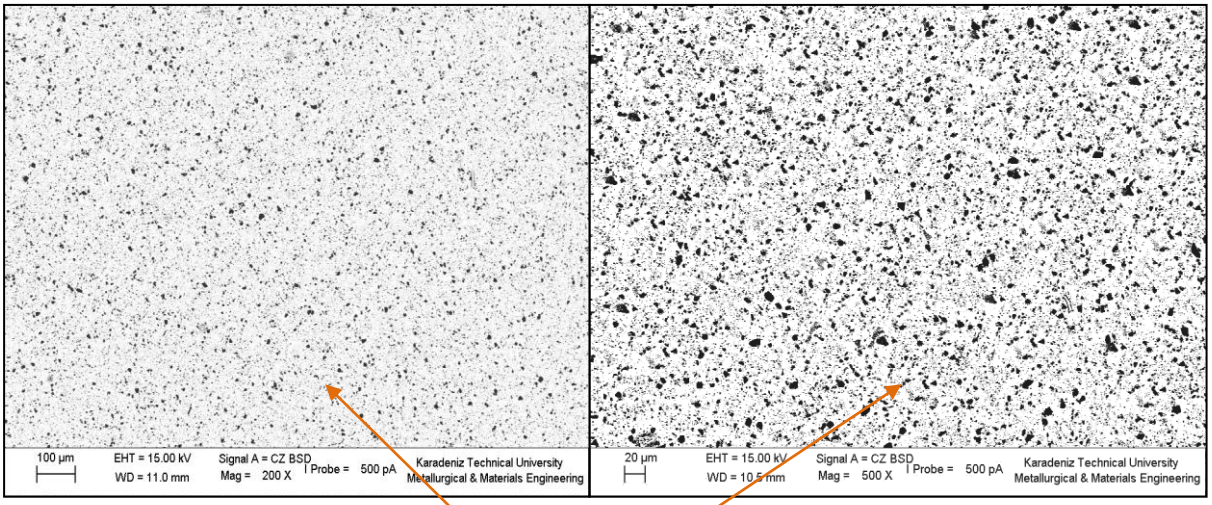


(j) 200x(BSE) (k) 500x



(l) 200x (m) 500x

EK-8 (devamı)

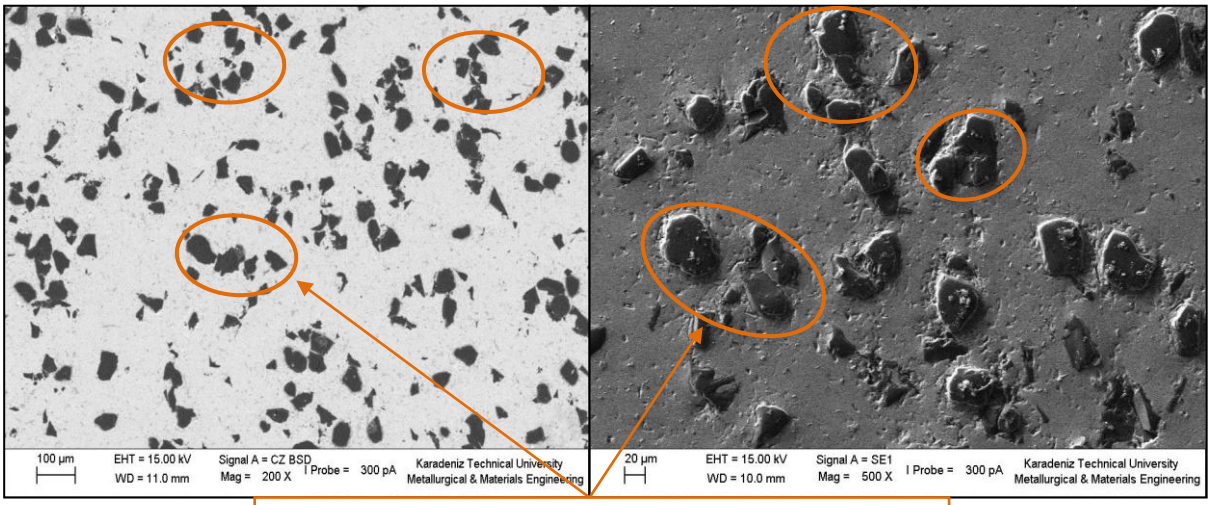


(p) 200x(BSE)

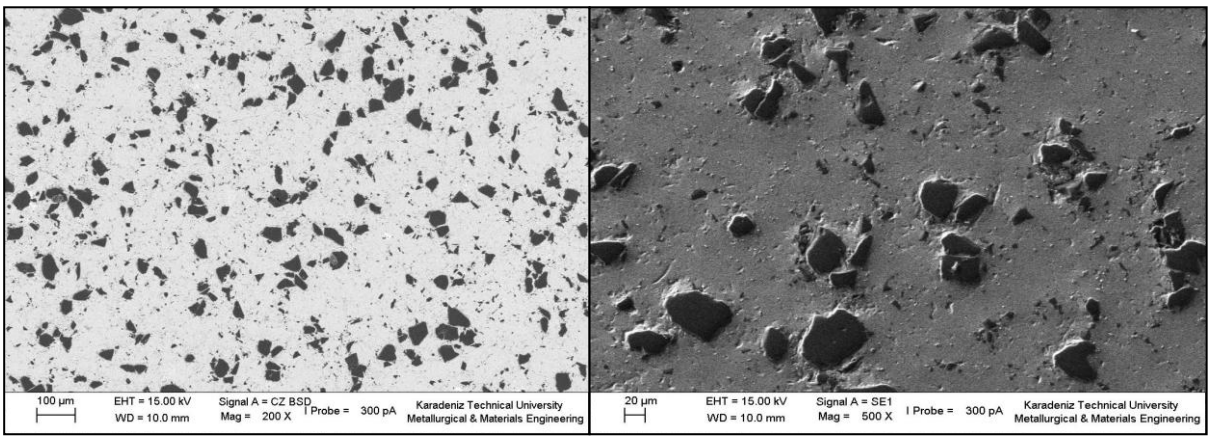
(r) 500x(BSE)

Alüminyum matris içinde (beyaz) Homojen dağılmış B_4C parçacıkları (siyah)

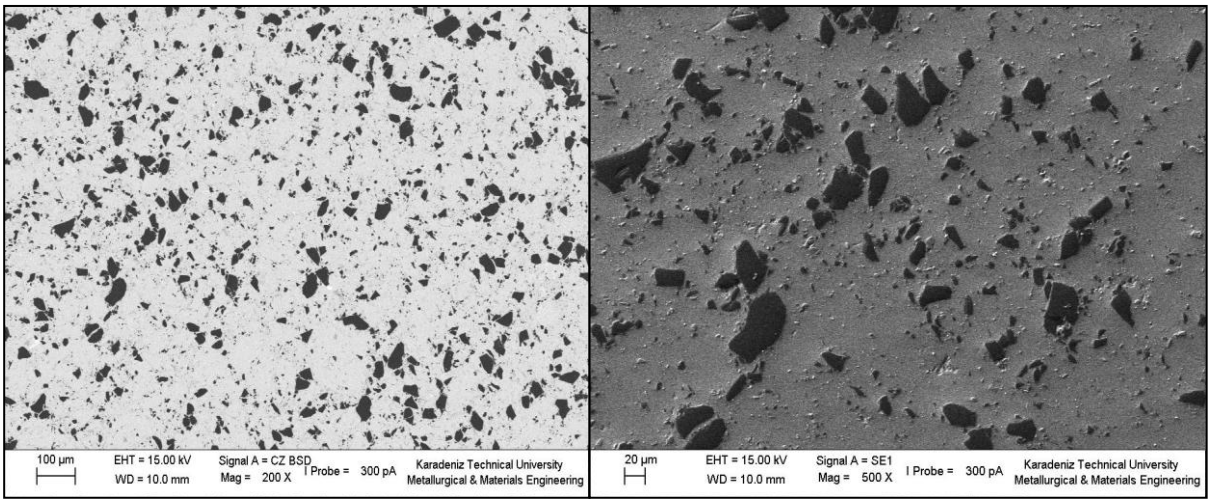
EK-9 AA7075 - %15 B_4C kompozit mikroyapısının mekanik alaşımlama süresi ile değişimi (a-b) 0 saat, (c-d) 0,5 saat, (e-f) 1 saat, (g-h) 2 saat, (j-k) 4 saat, (l-m) 6 saat (p-r) 8 saat



(a) 200x(BSE) B_4C takviye parçacıklarının topaklanması (b) 500x

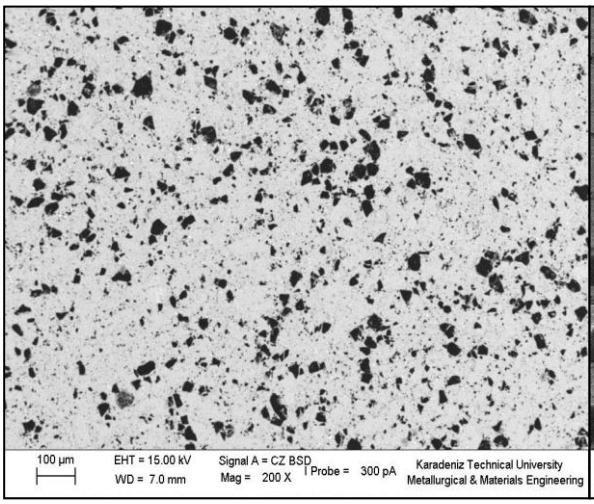


(c) 200x(BSE) (d) 500x

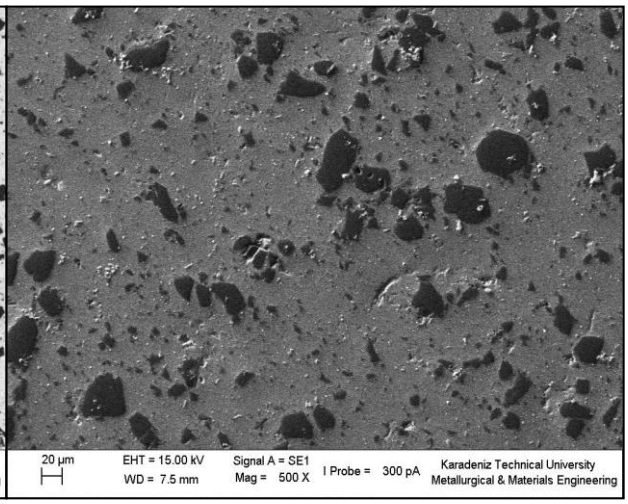


(e) 200x(BSE) (f) 500x

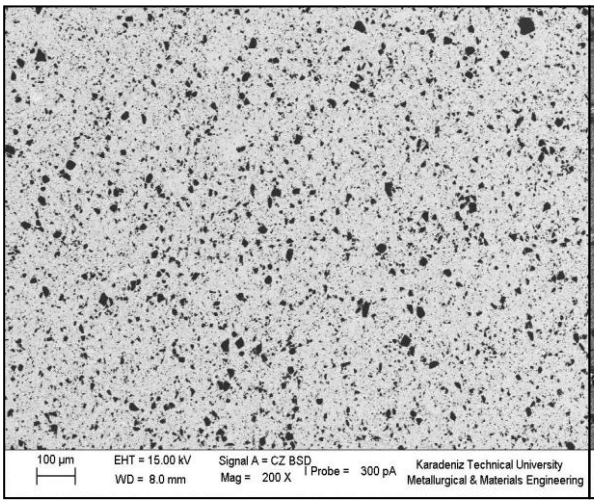
EK-9 (devamı)



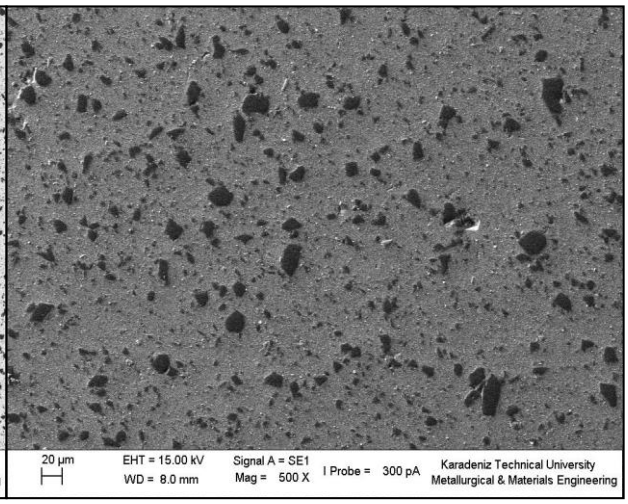
(g) 200x(BSE)



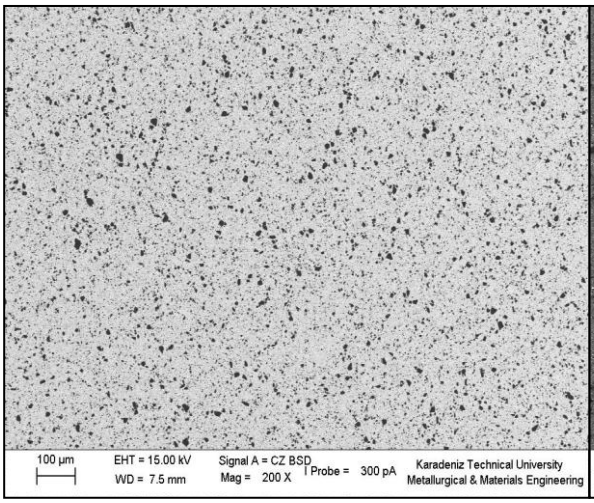
(h) 500x



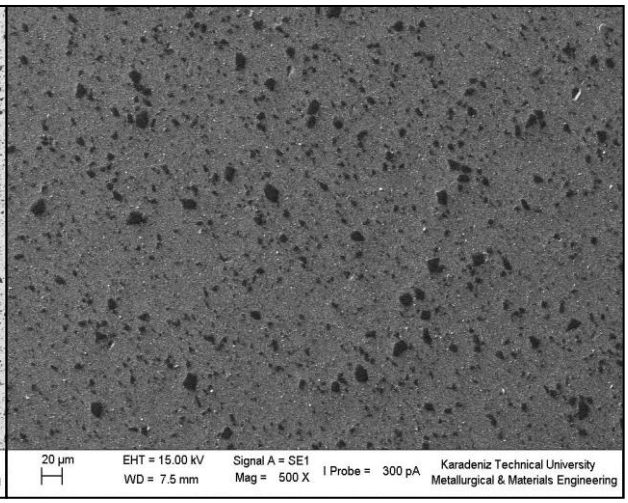
(j) 200x(BSE)



(k) 500x

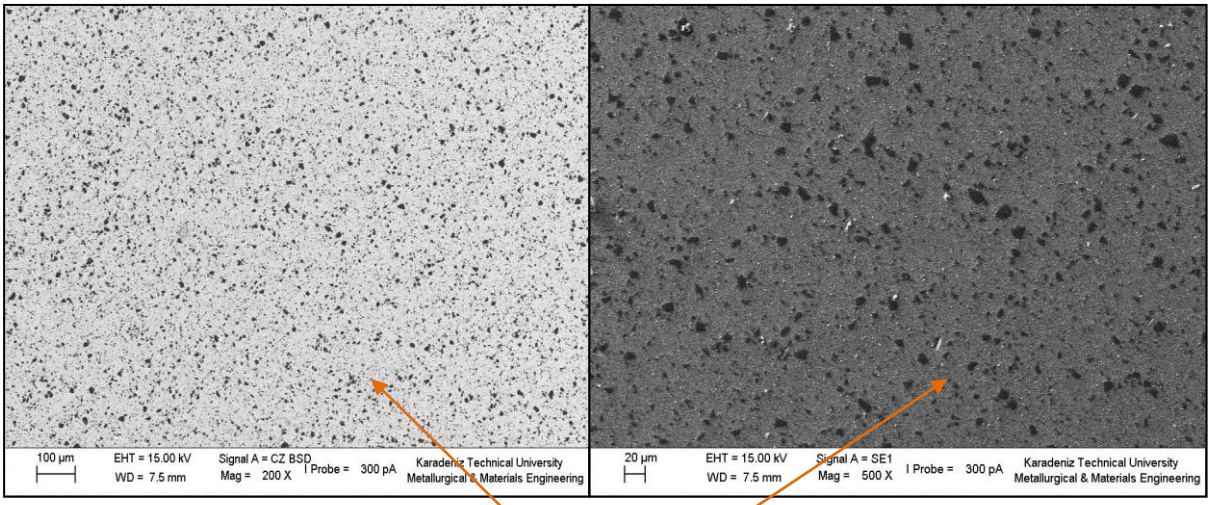


(l) 200x(BSE)



(m) 500x

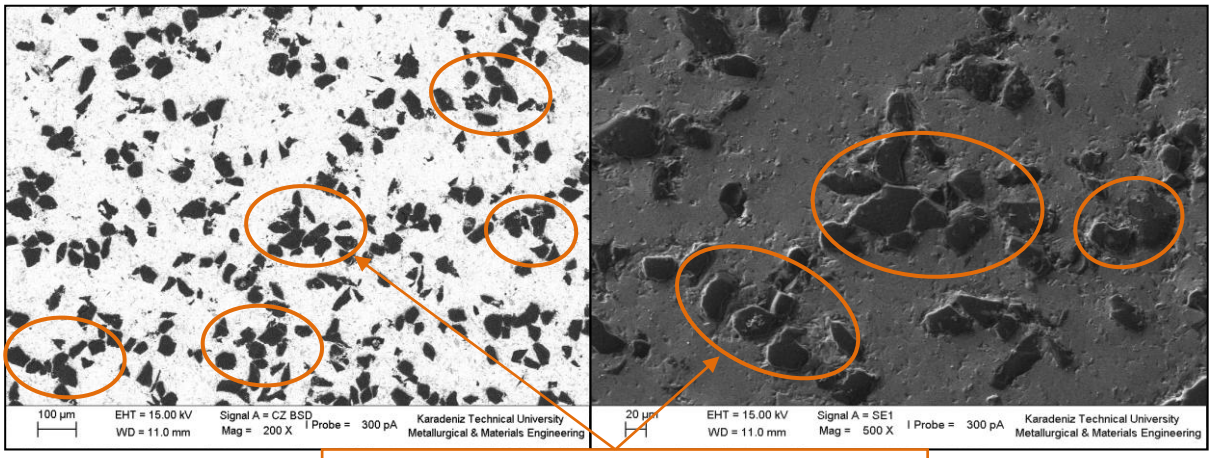
EK-9 (devamı)



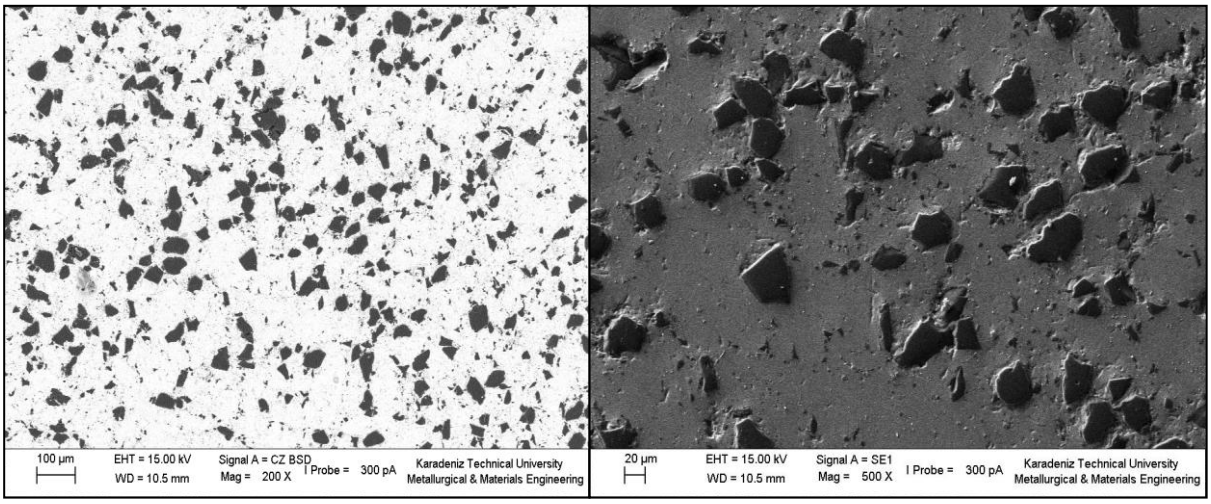
(p) 200x(BSE) (r) 500x

Alüminyum matris içinde (beyaz) Homojen dağılmış B_4C parçacıkları (siyah)

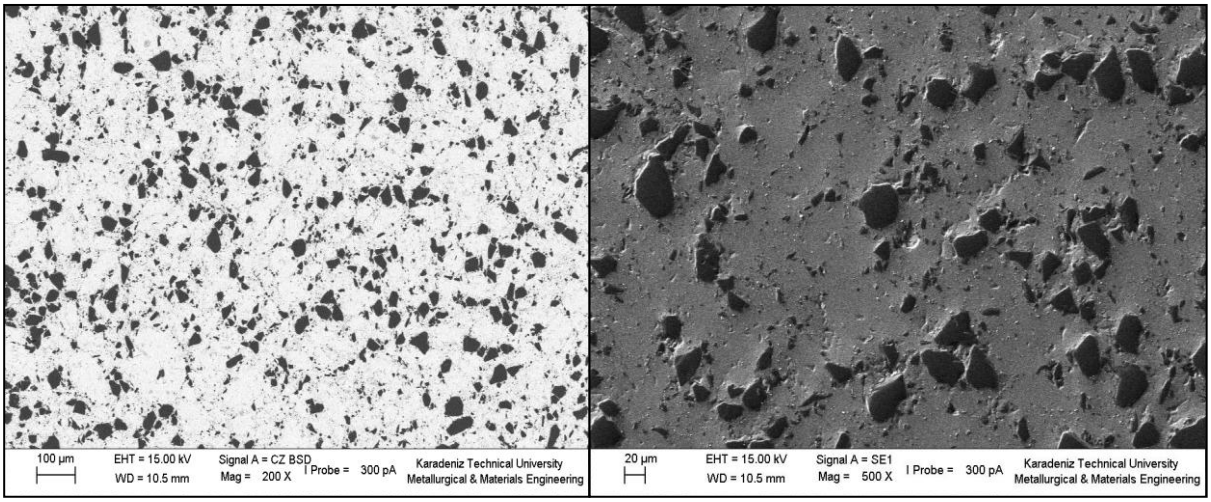
EK-10 AA7075 - %20 B_4C kompozit mikroyapısının mekanik alaşımlama süresi ile değişimi (a-b) 0 saat, (c-d) 0,5 saat, (e-f) 1 saat, (g-h) 2 saat, (j-k) 4 saat, (l-m) 6 saat (p-r) 8 saat



(a) 200x(BSE) B_4C takviye parçacıklarının topaklanması (b) 500x

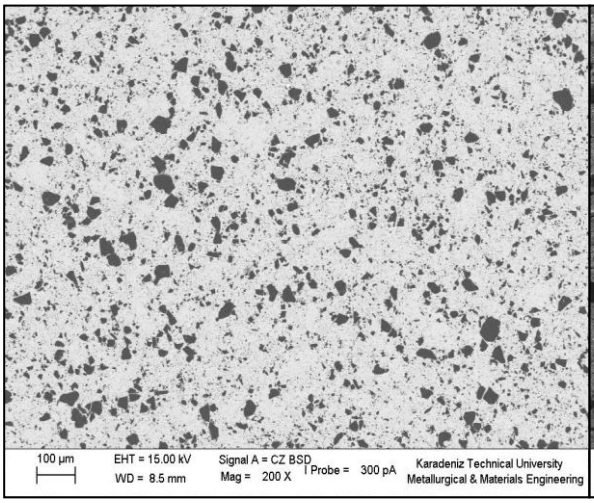


(c) 200x(BSE) (d) 500x

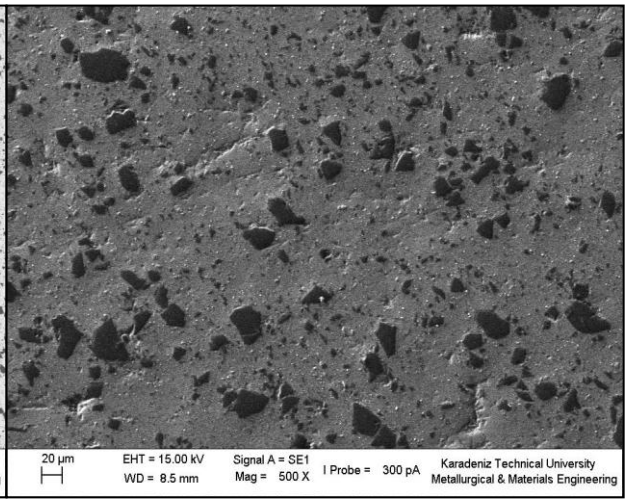


(e) 200x(BSE) (f) 500x

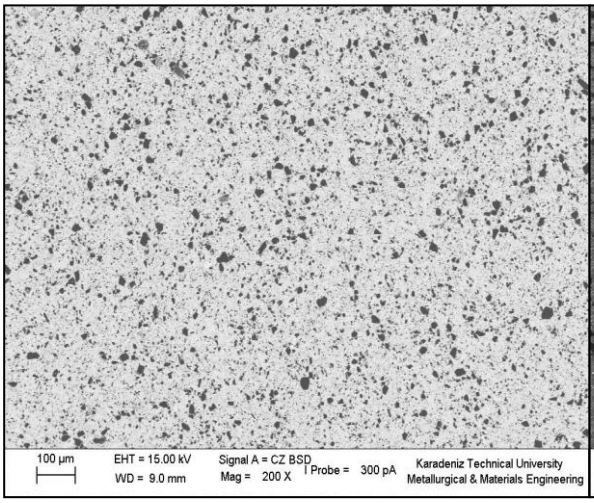
EK-10 (devamı)



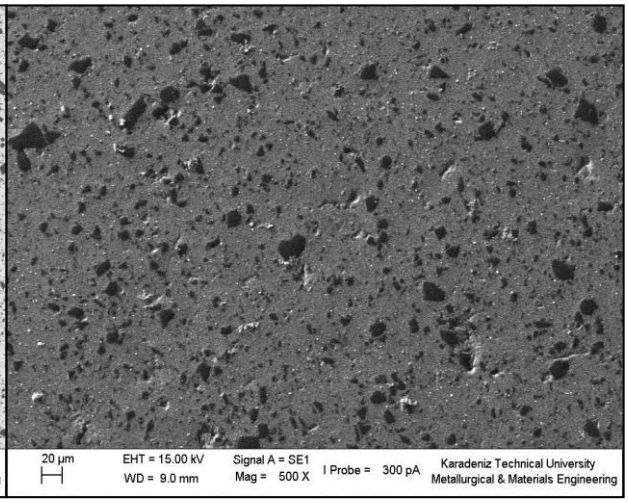
(g) 200x(BSE)



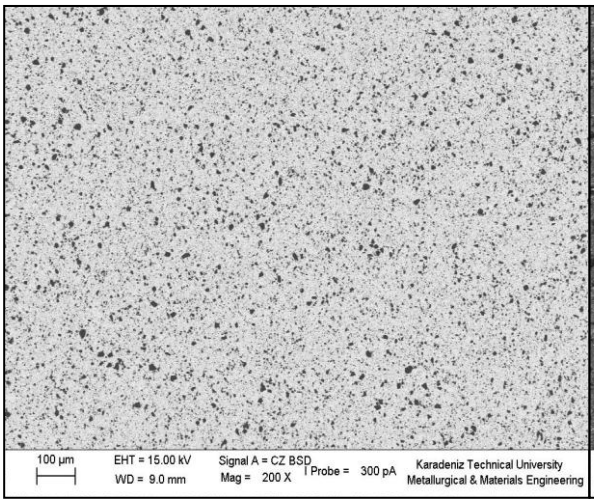
(h) 500x



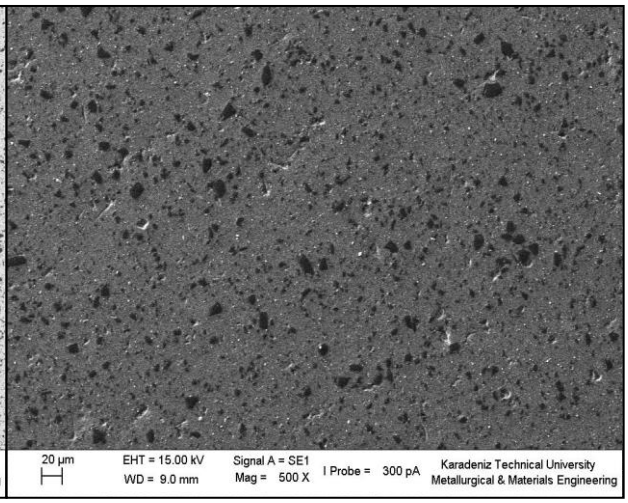
(j) 200x(BSE)



(k) 500x

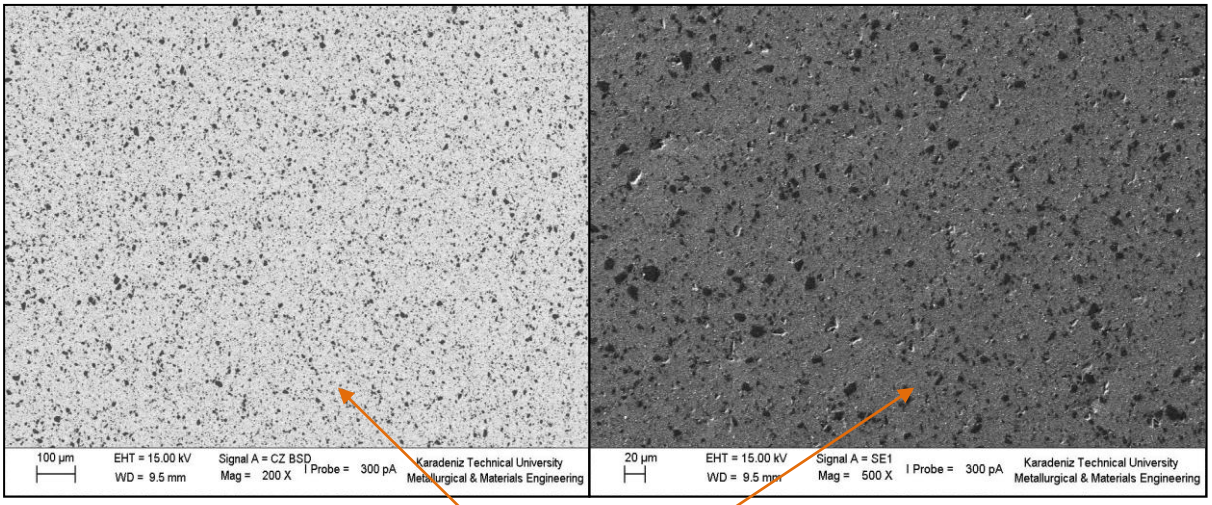


(l) 200x(BSE)



(m) 500x

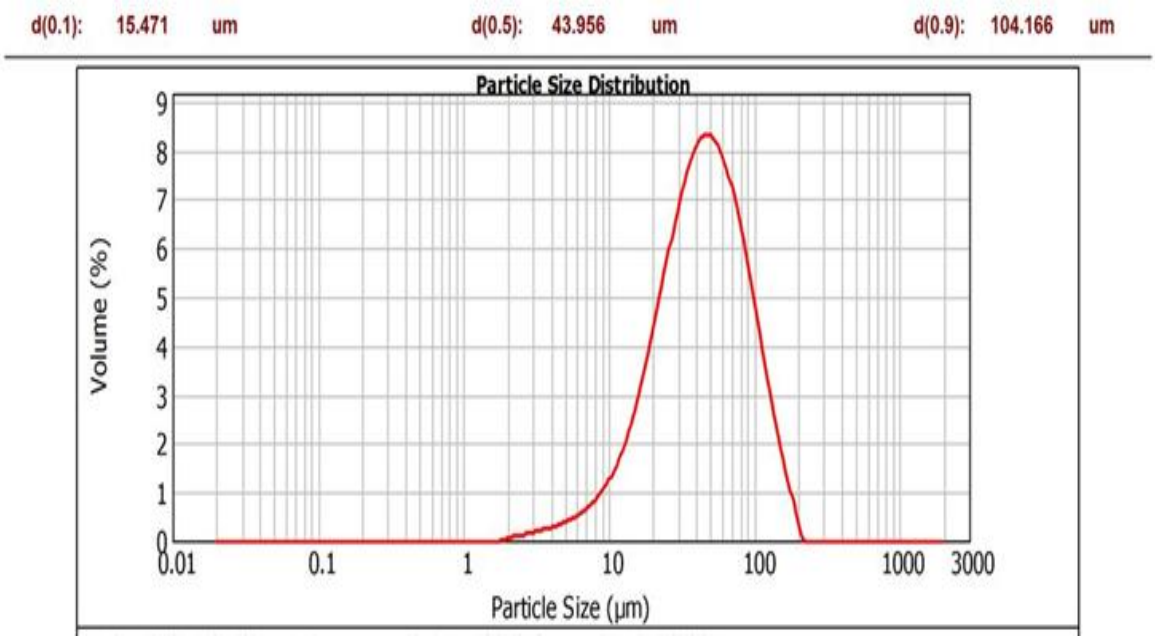
EK-10 (devamı)



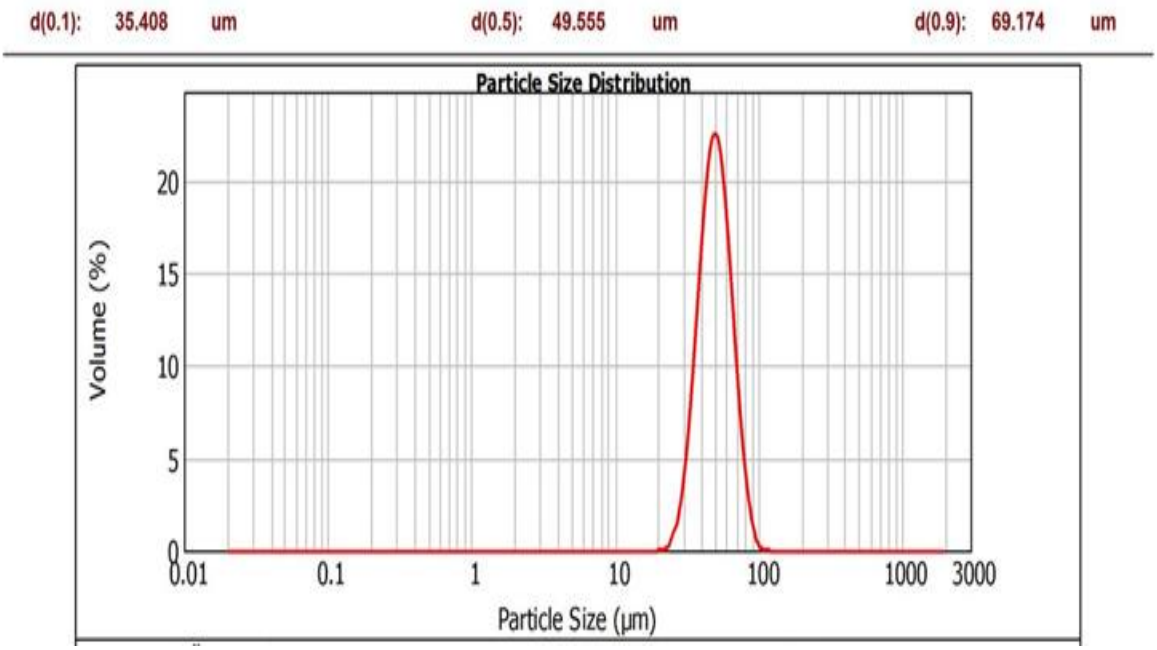
(p) 200x(BSE) (r) 500x

Alüminyum matris içinde (beyaz) Homojen dağılmış B_4C parçacıkları (siyah)

EK-11 Başlangıç tozlarına ait partikül boyut dağılımları

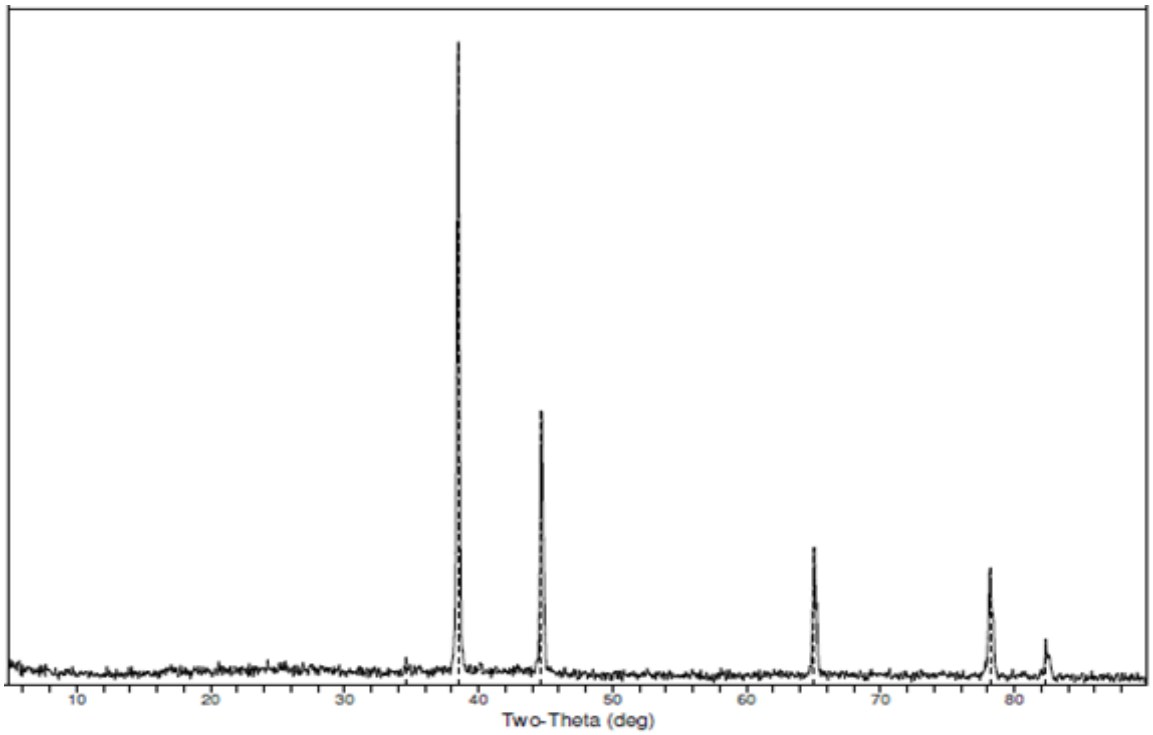


a) Başlangıç AA7075 tozlarına ait partikül boyut dağılımı

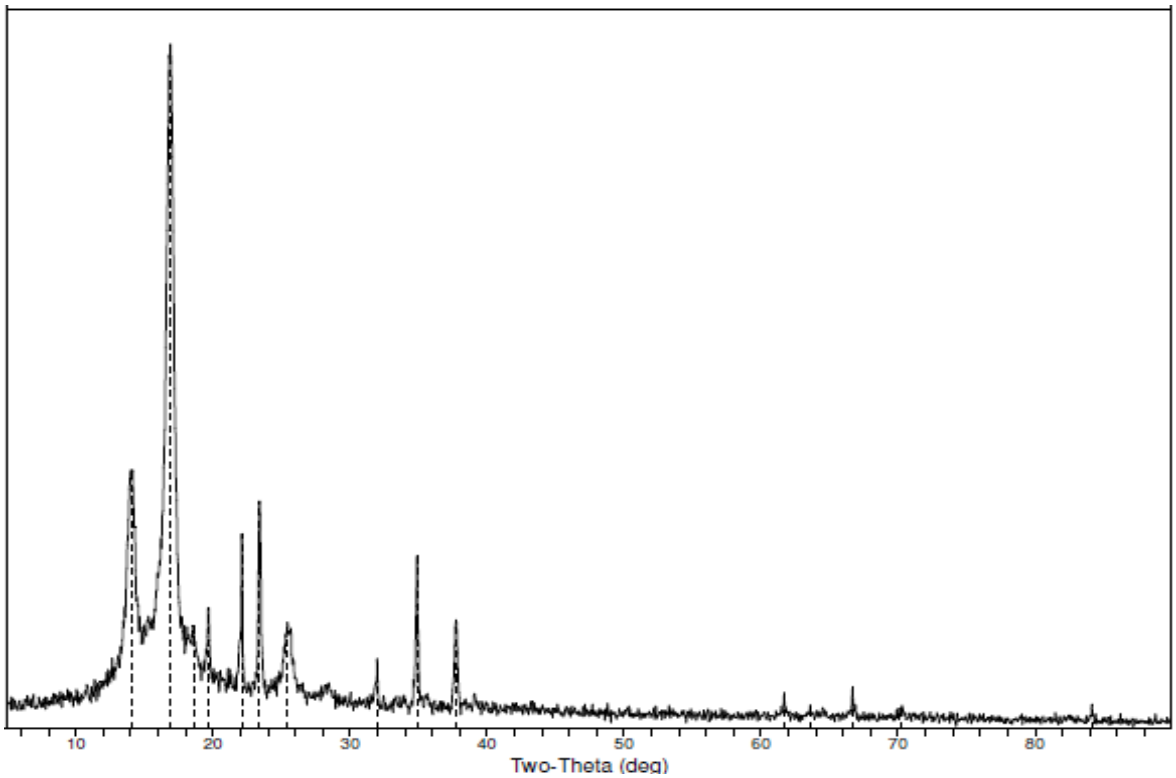


b) Başlangıç B_4C tozlarına ait partikül boyut dağılımı

EK-12 Üretilen tozların XRD analizleri;

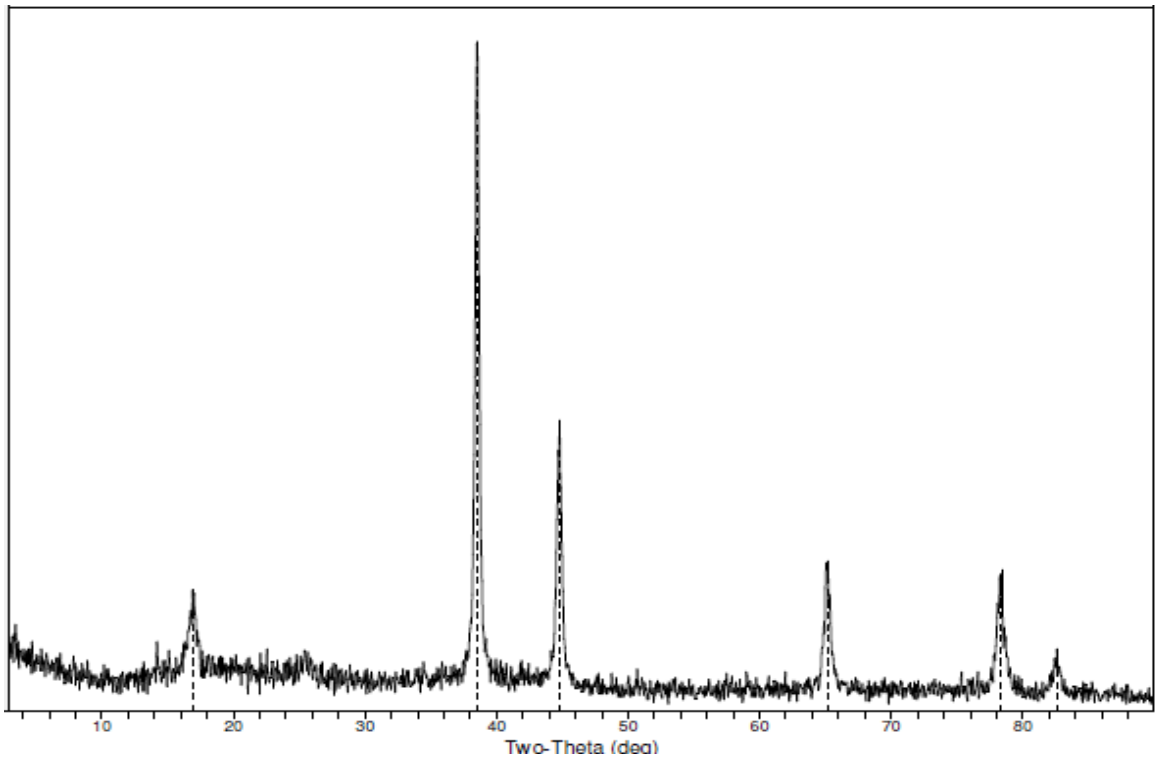


a) AA7075 tozlarına ait XRD analizi (başlangıç)

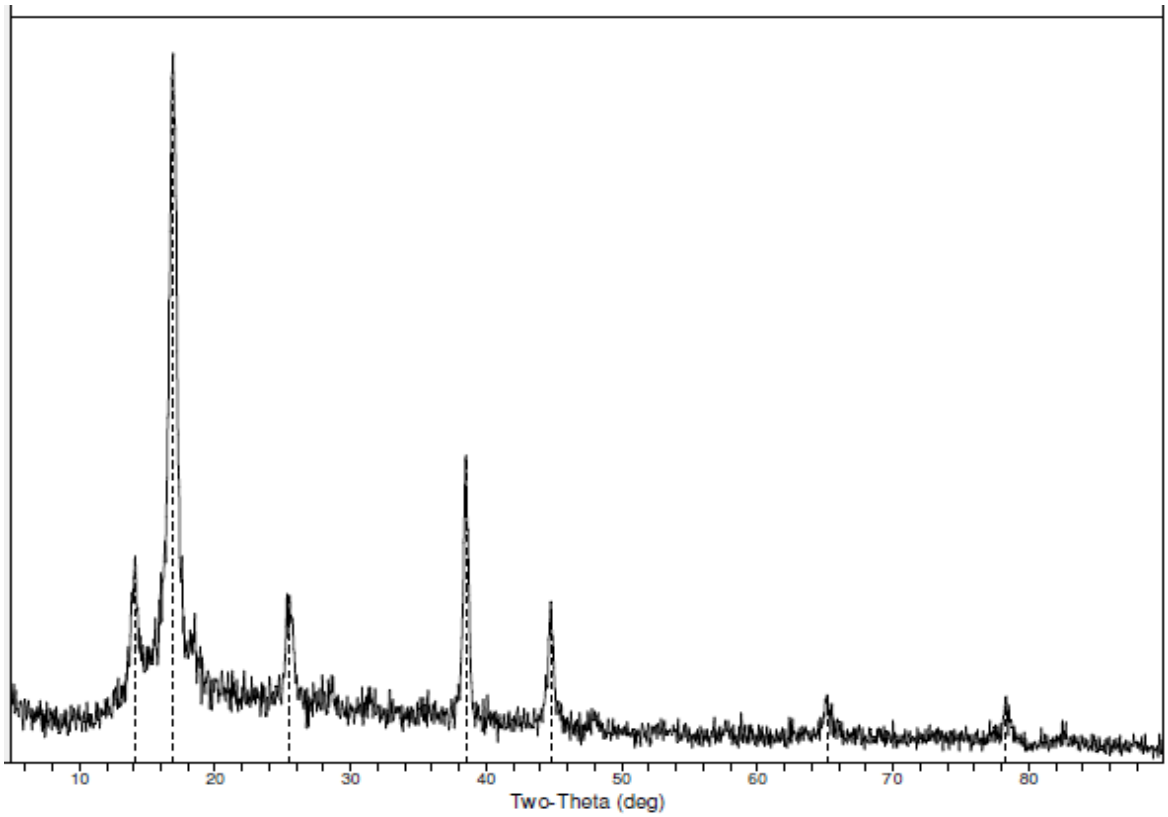


b) B_4C takviye tozlarına ait XRD analizi (başlangıç)

EK-12 (devamı)

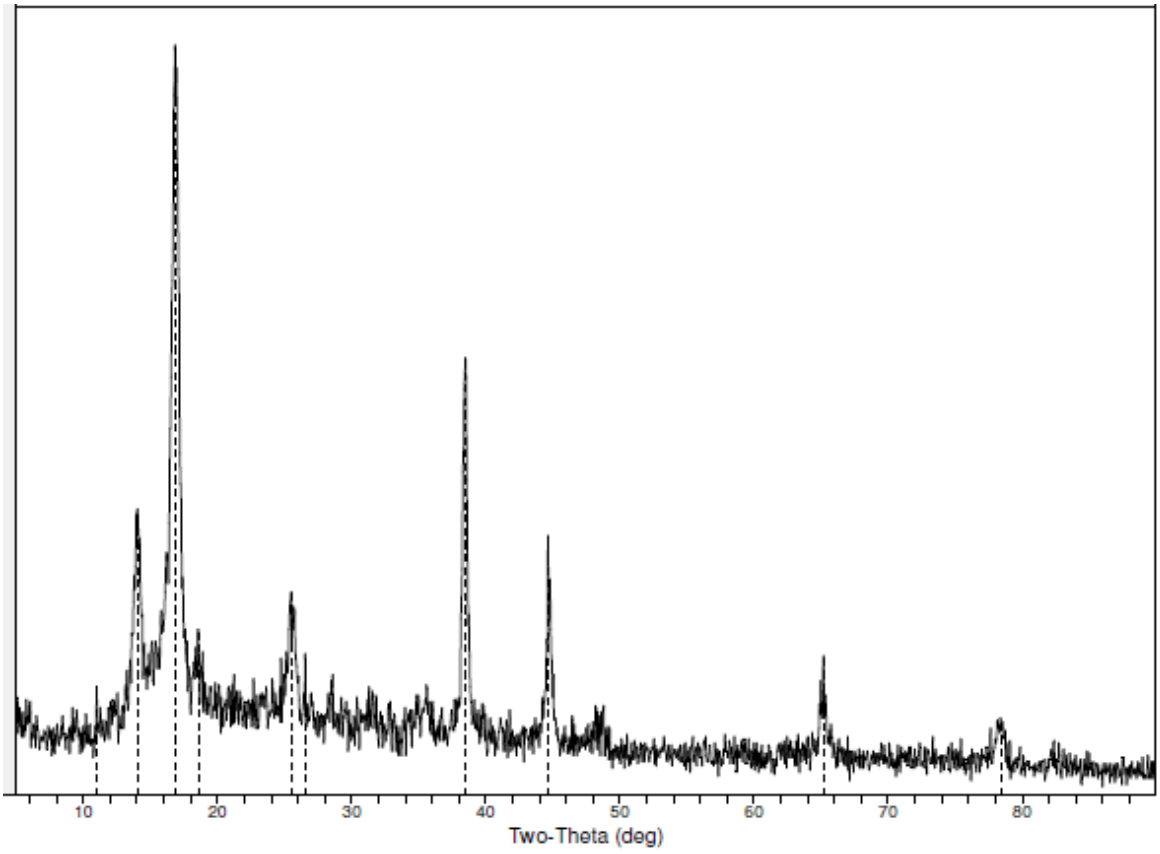


c) AA7075 tozlarına ait XRD analizi (6 saat öğütülmüş)



d) %10 B_4C takviyeli tozlara ait XRD analizi (6 saat öğütülmüş)

EK-12 (devamı)



e) %20 B_4C takviyeli tozlara ait XRD analizi (6 saat öğütülmüş)

KAYNAKLAR

Acılar, M., 2002, "Al/SiC Kompozitlerin Vakum infiltrasyon Yöntemi ile Üretimi ve Asınma Davranışlarının Araştırılması", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 44-62.

Adamiak, 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, 191-196.

Akbulut, H., 2001, "Kompozit Malzemeler Ders Notları", Sakarya Üniversitesi.

Aktaş, H., 2007, Aluminyum Matrisli Al_2O_3 Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Alaşımlama Yöntemiyle Üretimi ve Kuru Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

ASM (Aerospace Specification Metals Inc.), 2001, http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA7075O, [Ziyaret Tarihi: 09.06.2013].

Abenojar J., Velasco F., Martinez M.A., 2006, "Optimization of Processing Parameters for The Al + 10% B_4C System Obtained by Mechanical Alloying", Journal of Materials Processing Technology.

Burgucu, S., 2011, "7075 Alüminyum Alaşımlarının Üretimi ve Karakterizasyonu" , Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 28-39.

Canakci, A., Varol, T. ve Nazik, C., 2011, The Effect of amount of Methanol on the Properties of Al-Al_2O_3 Composite Powders, 6th International Powder Metallurgy Conference & Exhibition, Ankara, Bildiriler Kitabı, 122-129.

Canakci, A., Varol, T., Şen, R., Yıldız, S., 2011, The Effect of milling speed on the Particle Morphology and Particle Size of Al 2024 Powders Prepared by Using High Energy Ball Milling", 6th International Powder Metallurgy Conference & Exhibition, Ankara, Bildiriler Kitabı, 628-633.

Cebeci, H.A., 2008, "Mekanik Alaşımlama Yöntemi İle Üretilen SiC Takviyeli Alüminyum Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi", Bilim Uzmanlığı Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.

Clyne,T.W., Withers, 1993, "An Introduction to Metal Matrix Composites, Cambridge University pres, USA

Cunzhu Nie, Jiajun Gu, Junliang Liu, Di Zhang, 2008, "Investigation on microstructures and interface character of B_4C particles reinforced 2024Al matrix composites f abricated by mechanical alloying", Journal of Alloys and Compounds.

Çıtak, R., 1998, "Metalik Ba-Al Başlangıç tozlarının Düşük Sıcaklıklarda Oksidasyonu ile Al Matrisli Kompozit Üretimi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 2-26.

Deschams, A., Dumont, D., Brechet, Y., Siğli, C. ve Dubost, B. (2001), Process modeling of age-hardening aluminum alloys : from microstructure evolution to mechanical and fracture properties, ASM International, Materials Park, OH, 298-305.

Durmuş, S., Akgün, S. ve Şahin, S. (2009), "Çökelme Sertleştirilmesi uygulanmış AA 7012 Alüminyum Alaşımlarında Sertliğin Mikroyapı ile Değişiminin İncelenmesi", 5. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük.

Eker, A.A., 2008, Metal Matrisli Kompozit Malzemeler ve Üretim Yöntemleri, Yıldız Teknik Üniversitesi, http://www.yarbis.yildiz.edu.tr/web/userCourseMaterials/akdogan_81544a85d0e6510467de73b57b89f0fe.pdf [Ziyaret Tarihi: 06.06.2013].

Gan, K. ve Gu, M., 2008, The Compressibility of Cu/Sicp Powder Prepared by High-Energy Ball Milling, Journal of Materials Processing Technology, 199.

Güler, Ö., 2006, "Oksit Takviyeli Bakır Kompozitin Mekanik Alaşımlama Yöntemi İle Üretilmesi ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.

Hull, D., Clyn, T.W., 1996, An İntroduction to Composites Materials, Second Edition, Cambridge University Press, Cambridge.

İ. Topcu, H.O. Gulsoy, N. Kadioglu, A.N. Gulluoglu, 2009, "Processing and Mechanical Properties of B4C Reinforced Al Matrix Composites", Journal of Alloy and Compunds, 516-521.

Kumdalı F., 2008, "Alüminyum Matrisli B_4C Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretimi", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-2.

Liu, G.W., Muolo, M.L., Valenza, F. ve Passerone, A., 2010, Survey on wetting of SiC by molten metals, Ceramics International, 36, 1177–1188.

Özgün, E.C., "Mekanik Alaşımlama Yöntemiyle Sentezlenen Al-TiC ve Al-Ti-C Toz ve Sinter Kompozitlerin Mikroyapısal ve Fiziksel Karakterizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2008.

Pierson, H.O., 1996, "Characteristics and Properties of Silicon Carbide and Boron Carbide", Handbook of Refractory Carbides and Nitrides, William Andrew Publishing, 137-155.

Sabau, E., 2009, Contributions Regarding the Mechanical Behavior of Composite Structures with Polymeric Matrix, *Ph. D. Thesis, Technical University of Cluj-Napoca, Cluj*.

Smith, W.F., 2012, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Çeviri Kınıkoğlu, N.G., Literatür Yayıncılık, İstanbul,

Sur, G., 2002, "Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Üretimi ve İşlenebilirliğinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Ankara, 3-42.

Suryanarayana, C., 2001, "Mechanichal alloying and milling", Progress in Materials Science, 46: 1-184.

Şahin, Y., 2006, Kompozit Malzemelere Giriş, Ankara, 113-131.

Tekmen Ç., 2006, Metal Matrisli Kompozitlerin Sıkıştırmalı Döküm Yöntemi ile Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* İzmir.

TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, 2003, "Bor Raporu", *TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Dergisi,* Ankara, 134: 11-14, 17-19.

Toptan, F., 2006, "Alüminyum Matrisli B_4C Takviyeli Kompozitlerin Döküm Yöntemi ile Üretimi", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Toptan, F., Kilicarslan, A., Karaaslan, A., Cigdem, M., Kerti, I., 2010, "Processing and microstructural characterisation of AA 1070 and AA 6063 matrix B_4C_p reinforced composites" , Materials & Design, 87–91.

Ünal, R., 2007, Toz Üretim http://rahmiunal.net/toz/tozuretimi/powder_product.html, [Ziyaret Tarihi: 06.06.2013].

Varol T., 2012, AA2024 Matrisli B_4C Parçacık Takviyeli Metal Matrisli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi Ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 3-6.

Varol T., Çanakçı A., 2013, Effect of Particle Size And Ratio of B_4C Reinforcement on Properties and Morphology of Nanocrystalline Al2024-B_4C Composite Powders, Powder Technology.

Ying, D.Y. ve Zhang, D.L., 2000, "Processing of Cu-Al_2O_3 Metal Matrix Nanocomposite Materials by Using High Energy Ball Milling", Materials Science and Engineering A, 286, 152-156.

Zhang X.P., Ye L., Mai Y.W., Quan G.F. ve Wei W., 1999, Investigation on diffusion bonding characteristics of SiC particulate reinforced aluminium metal matrix composites (Al/SiCp-MMC), Composites: Part A, 30, 1415-1421.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Cihad Nazik
Uyruğu	**:**	Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	16/11/1987 Yahyalı
Telefon	**:**	0530 230 28 39
Faks	**:**	
e-mail	**:**	cihadnazik@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Yahya Kaptan Anadolu Lisesi, Dilovası, Kocaeli	2006
Lisans	:	Karadeniz Teknik Üniversitesi, Merkez, Trabzon	2010
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	Devam Ediyor
Doktora	:		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2011	Selçuk Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Toz Metalurjisi

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Canakci, A; Varol, T; Nazik, C., 2012, "Effects of amount of methanol on characteristics of mechanically alloyed Al-Al_2O_3 composite powders", Materials Technology: Advanced Performance Materials, Volume 27, No: 4 , pp. 320-327.