

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALÜMİNYUM MATRİSLİ B₄C TAKVİYELİ
KOMPOZİTLERİN TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE
ÜRETİMİ**

Met. Müh. Filiz KUMDALI

**FBE Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı Malzeme Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Işıl KERTİ (YTÜ)

İSTANBUL, 2008

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ.....	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLER	2
2.1 Kompozit Malzemelerin Tanımı	2
2.2 Matris Malzemeleri.....	3
2.3 Takviye Malzemeleri	3
2.3.1 Takviye Malzemesi ve Matris Ara yüzey Bağı	4
2.3.2 Islatma ve Çözünme Bağı:	5
2.4 Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri	6
2.5 Metal Matrisli Kompozitlerin Endüstriyel Uygulama Alanları.....	8
2.5.1 Otomotiv Endüstrisi:.....	8
2.5.2 Uzay/Havacılık Endüstrisi :	9
3. ALÜMİNYUM METAL MATRİSLİ B ₄ C TAKVİYELİ KOMPOZİTLER.....	11
3.1 B ₄ C Tozu ve Özellikleri	13
3.2 Alüminyum Matrisli - B ₄ C Takviyeli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri	13
3.2.1 İnfiltrasyon Yöntemi İle Üretimi	13
3.2.2 Döküm Yöntemi İle Üretimi.....	13
3.2.3 Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretimi	14
3.3 Alüminyum-B ₄ C Kompozitleri- Literatürdeki Çalışmalar	14
4. TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ	17
4.1 Toz Özellikleri ve Karakterizasyonu:	17
4.2 Toz Metalurjisi İmalat Safhaları.....	18
4.2.1 Tozların ve/veya Alaşımların Karıştırılması	18
4.2.2 Tozların Preslenmesi (Yoğunlaştırma Safhaları).....	19
4.2.3 Sinterleme	24
4.2.4 Son İşlemler	25
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	26

5.1	Kompozit Malzeme Üretimi	26
5.1.1	Deneyde Kullanılan Malzemeler	26
5.1.2	Deneylerde Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar	29
5.1.3	Deneylerin Yapılışı	30
5.2	Birinci Aşama Deneylerin Yapılışı:	30
5.3	Birinci Aşamadaki Deneylerin Sonuçları ve Değerlendirilmesi:	33
5.3.1	Sertlik Sonuçlarının İncelenmesi:	33
5.3.2	Yoğunluk Sonuçlarının İncelenmesi :	35
5.3.3	Mikroyapı Görüntülerinin İncelenmesi:	37
5.4	İkinci Aşama Deneylerin Yapılışı:	41
5.5	İkinci Aşama Deneylerin Sonuçları ve Değerlendirilmesi	44
5.5.1	Sertlik Sonuçlarının İncelenmesi:	44
5.5.1.1	Farklı Sinterleme Sıcaklıklarının Sertliğe Etkisi	46
5.5.2	Yoğunluk Sonuçlarının İncelenmesi :	47
5.5.3	Mikroyapıların İncelenmesi	50
6.	GENEL SONUÇLAR	60
KAYNAKLAR		61
EKLER		64
ÖZGEÇMİŞ		73

SİMGE LİSTESİ

g	Gram
cm ³	Santimetreküp
°C	Derece Santigrat
cm	Santimetre
γ_{ks}	Katı-sıvı arasındaki ara yüzey kuvvetleri
γ_{sg}	Sıvı-gaz arasındaki ara yüzey kuvvetleri
γ_{kg}	Katı-gaz arasındaki ara yüzey kuvvetleri
θ	Islatılabilirlik, temas açısı
μm	Mikrometre
P	Basınç

KISALTMA LİSTESİ

MMK	Metal Matrisli Kompozit
Al-MMK	Alüminyum Matrisli Kompozit
T/M	Toz Metalurjisi
SEM	Scanning Electron Microscope (Tarama Elektron Mikroskobu)
MPa	Mega Pascal
GPa	Giga Pascal

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	A noktasında temas açısını ve ara yüzey kuvvetlerini gösteren sıvı damlacığı metoduna göre ısılatma olayının şematik temsili (Toptan,2006).....	6
Şekil 2.2	MMK uygulamaları (a) Piston kolu (b) Silindir gömleği(Hunt ve Miracle; 2001). ..	9
Şekil 3.1	Al+10% B ₄ C Tozlarının Karışım Süresinin Görünür Yoğunluk ve Akış Oranlarına Etkisi(Abenojar, vd., 2007).....	16
Şekil 4.1	Bilyalı değirmen	19
Şekil 4.2	Tek etkili preslemenin aşamaları (Palacı, 2001).	21
Şekil 4.3	Tek etkili preslemede oluşan basınç dağılımları (Ekşi ve Kurt, 1999).	22
Şekil 4.4	Tek etkili presle imal edilmiş parçada yoğunluk dağılımı(Palacı, 2001).....	23
Şekil 4.5	Sinterleme sırasında meydana eden olayların şematik gösterimi (Palacı, 2001).	24
Şekil 4.6	Katı hal sinterlemesinin aşamaları (Palacı, 2001).	25
Şekil 5.1	Deneylerde kullanılan Al tozunun partikül-boyut dağılımı	26
Şekil 5.2	Al tozunun X-Ray Haritası.....	27
Şekil 5.3	Deneylerde kullanılan <10 µm tane boyutlu B ₄ C tozunun partikül-boyut dağılımı	27
Şekil 5.4	Deneylerde kullanılan 22-5µm tane boyutlu B ₄ C tozunun partikül-boyut dağılımı	28
Şekil 5.6	Deneylerde kullanılan Al tozunun SEM görüntüsü	28
Şekil 5.7	Deney numuneleri	29
Şekil 5.8	Sinterlemenin yapıldığı ısıtma işlem fırını.....	30
Şekil 5.9	Birinci aşamadaki deneylerde üretilen kompozit numunelere ait akım şeması	32
Şekil 5.10	Presleme basıncının kompozit numunenin sertliğine etkisi	35
Şekil 5.11	Numunelerin yoğunluk değerleri	36
Şekil 5.12	Kurutma uygulanmayan, 400MPa'da preslenen, normal atmosferde sinterlenen numunenin (22-59µm B ₄ C tane boyut, ağ. %10 takviye oranı) x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.	37
Şekil 5.13	Kurutma uygulanmayan, 160 MPa'da önyüklem yapıp 535 MPa'da preslenen, normal atmosferde sinterlenen numunenin (22-59µm B ₄ C tane boyut, ağ. %10 takviye oranı) x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	38
Şekil 5.14	Kurutma uygulanmayan, 535 MPa'da preslenen, normal atmosferde sinterlenen numunenin (22-59µm B ₄ C tane boyut, ağ. %10 takviye oranı) x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.	38
Şekil 5.15	Kurutma uygulanmayan, 640 MPa'da preslenen, normal atmosferde sinterlenen numunenin (22-59µm B ₄ C tane boyutu, ağ. %10 takviye oranı) x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.	39
Şekil 5.16	Kurutma uygulanmayan, 640 MPa'da preslenen, argon atmosferinde sinterlenen numunenin (22-59µm B ₄ C tane boyut, ağ. %10 takviye oranı) x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.	39
Şekil 5.17	Kurutma uygulanan, 640 MPa'da preslenen, argon atmosferinde sinterlenen numunenin (22-59µm B ₄ C tane boyut, ağ. %10 takviye oranı) x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.	40
Şekil 5.18	Kurutma uygulanan, 640 MPa'da preslenen, normal atmosferde sinterlenen numunenin (22-59µm B ₄ C tane boyut, ağ. %10 takviye oranı) x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.	40
Şekil 5.19	İkinci Grupta Üretilen Kompozit Numunelere Ait Akım Şeması.....	43
Şekil 5.20	Uygulanan tüm koşullara göre bulunan mikrosertlik değerleri.....	45
Şekil 5.21	B ₄ C (22-59µm) takviye oranının ve basıncın sertliğe etkisi.	45

Şekil 5.22	B ₄ C (<10 µm) takviye oranının ve basıncın numune sertliğine etkisi	46
Şekil 5.23	Al-%10 B ₄ C (22-59µm) numunesinde; presleme basıncı ve sinterleme sıcaklığının sertliğe etkisi	47
Şekil 5.24	Farklı sinterleme sıcaklıkları ve presleme basınçlarının yoğunluğa etkisi.....	48
Şekil 5.25	Farklı B ₄ C (22-59µm) içeriklerine ve presleme basınçlarına sahip kompozit numunelerinin yoğunluk değişimi.	49
Şekil 5.26	Takviye oranı %20 olan, 600, 800 ve 1000 MPa basınçlarda preslenen, 550 °C’de 5 saat sinterlenen kompozit numunelerinde, B ₄ C tane boyutunun sinterleme sonrası yoğunluğa etkisi	49
Şekil 5.27	Takviye oranı %10 olan, 600, 800 ve 1000 MPa basınçlarda preslenen, 550 °C’de 5 saat sinterlenen kompozit numunelerinde, B ₄ C tane boyutunun sinterleme sonrası yoğunluğa etkisi	50
Şekil 5.28	800 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 550 °C’de sinterlenen Al-%10 B ₄ C (22-59µm) kompozit numunesinin x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	51
Şekil 5.29	1000 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 550 °C’de sinterlenen Al-%10 B ₄ C (22-59µm) kompozit numunesinin x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	51
Şekil 5.30	600 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 550 °C’de sinterlenen Al-%20 B ₄ C (22-59µm) kompozit numunesinin x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	52
Şekil 5.31	800 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 550 °C’de sinterlenen Al-%20 B ₄ C (22-59µm) kompozit numunesinin x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	52
Şekil 5.32	1000 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 550 °C’de sinterlenen Al-%20 B ₄ C (22-59µm) kompozit numunesinin x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	53
Şekil 5.33	800 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 550 °C’de sinterlenen Al-%10 B ₄ C (<10µm) kompozit numunesinin x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	53
Şekil 5.34	1000 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 550 °C’de sinterlenen Al-%10 B ₄ C (<10µm) kompozit numunesinin x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	54
Şekil 5.35	800 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 550 °C’de sinterlenen Al- %20 B ₄ C (<10µm) kompozit numunesinin x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	54
Şekil 5.36	1000 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 550 °C’de sinterlenen Al-%20 B ₄ C (<10µm) kompozit numunesinin x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.	55
Şekil 5.37	800 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 550 °C’de sinterlenen Al-%25 B ₄ C (<10µm) kompozit numunesinin x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.	55
Şekil 5.38	800 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 550 °C’de sinterlenen Al-%25 B ₄ C (22-59µm) kompozit numunesinin x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.	56
Şekil 5.39	600 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 550 °C’de sinterlenen Al-%20 B ₄ C (<10µm) kompozit numunesinin x300 büyütmedeki SEM görüntüsü.	57
Şekil 5.40	800 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 550 °C’de sinterlenen Al-%20 B ₄ C (22-59µm) kompozit numunesinin x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.	57
Şekil 5.41	800 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 550 °C’de sinterlenen Al-%20 B ₄ C (<10µm) kompozit numunesinin x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	58
Şekil 5.42	800 MPa’da preslenmiş, normal atmosferde (a) 550 °C, (b)570 °C ve (c) 590 °C’de sinterlenmiş numunelerin karşılaştırmalı görüntüsü.....	59

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Farklı üretim yöntemlerine bağlı olarak elde edilen karakteristikler.	7
Çizelge 2.2 Farklı üretim metodlarının ve takviye elemanlarının maliyet karşılaştırması	7
Çizelge 2.3 Havacılık endüstrisinde kullanılan MMK malzemeler ve özellikleri.	10
Çizelge 3.1 AMK lerde başlıca kullanılan takviye malzemeleri	11
Çizelge 5.1 Matris Malzemesinin Kimyasal Kompozisyonu(%)	26
Çizelge 5.2 İlk aşamada uygulanan presleme koşulları.....	31
Çizelge 5.3 Üretim koşullarına karşılık gelen sertlik değerleri	34
Çizelge 5.4 Yoğunluk değerleri.....	36
Çizelge 5.5 Numunelerin Üretim Koşulları.....	42
Çizelge 5.6 Üretim koşullarına karşılık gelen sertlik değerleri	44
Çizelge 5.7 Kompozit numunelerinin sinterleme sonrası yoğunluk değerleri	47

ÖNSÖZ

Bu çalışmamda ve bugüne kadar sürmüş olan yüksek lisans eğitimimde, göstermiş olduğu her türlü ilgi ve destekten dolayı değerli hocam ve tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Işıl KERTİ 'ye teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Çalışmalar sırasında tezime ait deneylerin şekillenmesinde fikirlerini esirgemeyen Doç. Dr. Ahmet KARAASLAN 'a teşekkür ederim.

Tezime ait deneylerde fikirleriyle destek sağlayan ve malzemelerin temininde, SEM görüntülerinin alınmasında yardımlarını esirgemeyen İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Bölümü'nden Prof. Dr. Servet TİMUR ve Doç. Dr. Gültekin GÖLLER'e şükranlarımı sunarım.

Aynı zamanda, SEM görüntülerinin alınmasındaki değerli katkılarından ötürü YTÜ'den Uzm. Polat TOPUZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarında ve deneylerimin yapılması sırasında yardımlarından dolayı Met.Yük. Müh. Fatih TOPTAN'a teşekkür ederim.

Tezimin şekillenmesinde yardımcı olan ve manevi desteğini esirgemeyen değerli arkadaşım Elek. Müh. Özkan ACAR'a ve hayatım boyunca bana destek olan sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

ALÜMİNYUM MATRİSLİ BOR KARBÜR TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ

ÖZET

Metal matrisli kompozit malzemeler (MMK), yaklaşık 20 yıldır otomotiv sektöründe ticari amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bu malzemelerin ticari olarak kullanılma nedeni, onların sahip oldukları özellikleridir. Bu çerçeveden incelendiğinde, metal matrisli kompozit malzemeler; yüksek mukavemetleri, yüksek spesifik modülleri, düşük ısıl genleşme katsayıları ve aşınmaya karşı iyi direnç özelliklerine sahip olduklarından dolayı yeni geliştirilmiş malzeme gruplarından birisi olarak tanımlanmaktadır.

Alüminyum metal matrisli kompozitler (Al-AMK) ağırlıkça hafif ve yüksek performansa sahip alüminyum merkezli malzeme sistemleri içinde yer almaktadır. Son birkaç yıldır da Al-MMK'ler uzay, savunma, otomotiv ve ısı gibi teknolojik yapı ve fonksiyonel uygulamalarda kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, bor karbür takviyeli alüminyum esaslı kompozitler toz metalurjisi(T/M) yöntemiyle üretilmiştir. Takviye malzemesi olarak bor karbür seçilmesinde, bu konu üzerinde diğer takviyelere nazaran (SiC, Al₂O₃ ve TiC gibi) daha az araştırma yapılması ve Türkiye'nin sahip olduğu yüksek miktarlardaki bor rezervi etkili olmuştur.

Yapılan çalışmada, Al-MMK'lerin T/M yönteminde göz önünde bulundurulacak parametrelerin optimizasyonu amaçlanmıştır. 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)'nda incelenmiş; mikrosertlik ve yoğunlukları ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, bor karbür, kompozit, toz metalurjisi

THE PRODUCTION OF AL BASED COMPOSITES REINFORCED WITH B₄C BY POWDER METALLURGY

ABSTRACT

Metal matrix composites (MMC) have been used commercially in automotive market for nearly 20 years. The aim of using this materials is commercially to have many significant properties. In this mean, MMCs are being considered as a group of new advanced materials for its high strength, high specific modulus, low co-efficient of thermal expansion and good wear resistance properties.

Aluminium metal matrix composites (Al-MMCs) refer to the class of light weight and high performance aluminium centric material systems. In the last few years, Al-MMCs have been utilized in high-tech structural and functional applications, including aerospace, defense, automotive, and thermal management areas.

In this study, Al based composites reinforced with B₄C were produced by powder metallurgy method. The amount of reseach that has been done when compared to other reinforcement types(SiC, Al₂O₃, TiC) and Turkey's serious potential of boron reserves has been very effetive in determiniy the reinforcement as boron carbide.

Within this work, the optimization of parameter, that are considered using powder metallurgy production route of aluminium matrix boron carbide composites is aimed.

Keywords : Aluminium, boron carbide, composites, powder metallurgy

1. GİRİŞ

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.

AMK'lerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için kullanılan takviyelerin başında SiC, Al₂O₃, TiC ve B₄C gibi seramikler gelmektedir. Bu seramikler arasında B₄C, sahip olduğu üstün fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ülkemizin sahip olduğu zengin bor kaynakları nedeniyle göze çarpmaktadır.

Al-B₄C 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 (T/M) yöntemiyle teorik olarak ara yüzey kinetiğinin kontrolü iyi bir şekilde sağlanabilmektedir. Bu yüzden T/M ile yapılan çalışmalar ara yüzeydeki ıslatılabilirlik seviyelerini arttırmak üzerine yoğunlaştırılmış olup, gelişmiş fiziki ve mekanik özellikleri verecek olan ekonomik bir yöntem henüz standartlaştırılamamıştır.

Bu çalışmada; alüminyum matrisli B₄C takviyeli kompozitler T/M yöntemiyle üretilmiş, optimum üretim parametreleri belirlenmeye çalışılarak karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır.

2. METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLER

2.1 Kompozit Malzemelerin Tanımı

Kompozit terimi en geniş manada ele alındığında; çok kristalli birçok metal ve metal olmayan parçaların bir arada toplanması olarak ifade edilebilir. Bu sebepten dolayı kompozit malzeme terimini daha dar kalıplar içinde ele alırsak; bir malzemenin kompozit sayılabilmesi için ve teknik olarak kompozit malzemeyi alaşımlardan ayırabilmek için kabaca aşağıdaki özellikleri taşıması gerekmektedir:

- Farklı bileşenlerle beraber kimyasal olarak birbirinden farklı en azından iki malzemenin kombinasyonundan oluşmalıdır.
- Kompozit malzemeyi oluşturan ayrı malzemeler üç boyutlu olarak birleşmelidir.
- Kompozit, kendisini meydana getiren bileşenlerin tek başlarına sahip olamayacakları özellikler göstermelidir

Kompozitleri meydana getiren bileşen sınıfları çok değişik malzemelerden olabilmektedir: seramik, metal, polimer, cam ve elastomer gibi. Kompozit sistemlerine bağlı olarak değişik sınıftaki malzemelerden en az iki grup malzeme bir araya getirilerek üstün özelliklere sahip malzemeler elde edilmektedir (Clyne ve Withers, 1993). Bileşenler kimliklerini ve özelliklerini korur; birlikte bulunmalarına rağmen birbiri içinde tamamen çözünmez ve birbiri arasında bir ara yüzey meydana getirirler (Akbulut, 2001).

Bu bilgilerin ışığında kompozit malzeme şöyle tanımlanabilmektedir: **“Kompozit malzeme, belirli özellikleri elde etmek için makro ölçülerde farklı bileşim ve şekle sahip iki veya daha fazla makro bileşenin bir arada bulunduğu, bileşenlerin özelliklerini devam ettirdikleri için fiziksel olarak belirlendiği malzeme sistemidir”** (Akbulut, 2001).

Kompozit malzemelerin kullanılacağı alanlardaki çevre şartları (sıcaklık, korozyon gibi) mukavemet özellikleri ve maliyet göz önünde bulundurularak kompozit malzemedeki matris malzemesinin seçimi yapılmaktadır. Matris malzemesinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyi belirlenmesi ile kompozit malzemeye katkıda bulunacağı faydanın optimum seviyelerde olması sağlanmaktadır (Clyne ve Withers, 1993).

İleri teknoloji malzemelerinin bir kolu olan metal matrisli kompozitler (MMK) genelde yüksek sıcaklıklarda, mevcut malzemelerin kullanımının uygun olmadığı yerlerde kullanılır. MMK'lerin avantajı çeşitli mukavemet ve rijitlik değerleri sağlayabilecek şekilde üretilmeleridir. Bu kompozitler, gelişen teknolojinin ihtiyaç duyduğu yüksek elastik modül, yüksek mukavemet, yüksek aşınma dayanımı ve düşük yoğunluk gibi malzeme özelliklerini karşılayabilecek malzemeler olarak üzerinde en çok çalışılan malzeme gruplarından biridir (Yılmaz vd, 1996).

2.2 Matris Malzemeleri

Matrisin temel görevi bağlayıcılara yükü transfer etmek ve dağıtmaktır. Yükün transferi matris ve bağlayıcılar arasındaki ara yüzey bağına bağlıdır (Şahin, 2000).

Matris ve takviye elemanı arasında fiziksel ve kimyasal bir uyumluluğun olması, MMK'lerde bulunması gereken en önemli özelliklerin başında gelmektedir. Bu uyumluluğun sağlanması amacıyla, matris malzemeleri genellikle alaşım esaslı metallerden seçilmekte ve böylece takviye fazla matris arasında ıslatabilirliğin artırılması ve güçlü bir ara yüzey bağ kuvvetlerinin oluşturulması hedeflenmektedir (Akın, 2006). Belirli uygulama alanı için matris seçimi; yoğunluk, çekme dayanımı, yüksek sıcaklık özelliği ve süneklik gibi faktörler yanında üterim metodu ve bunlar arasındaki uyumda 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).

2.3 Takviye Malzemeleri

Matris malzemelerine ilave edilen takviye malzemeleri sayesinde kullanılan matrisin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerinde olumlu etkiler sağlanmaktadır. Bu özellikler: Dayanım, korozyon direnci, aşınma direnci, yoğunluk, yorulma ömrü, ısı ve ses yalıtımı ile termal iletkenlik.

MMK malzemelerinin üretiminde kullanılan takviye malzemelerinin seçiminde kolay temin edilebilmelerinin yanında kullanıldıkları matris malzemesi ile uygunluk ve sağlayacağı üstün özellikler göz önüne alınmaktadır. Takviye elemanı seçiminde dikkat edilecek özellikler

şunları içermektedir: Elastisite modülü, çekme dayanımı, yoğunluk, ergime sıcaklığı, termal kararlılık, şekil ve boyut, maliyet ve matris tarafından ıslatılabilirlik.

MMK malzemelerde takviye elemanları, kimyasal içerikleri göz önünde tutulduğunda karbürlü, oksitli, nitrürlü olmak üzere üç ana grupta, şekilsel özellikler göz önünde tutulduğunda ise, partikül, whisker, fiber ve metalik tel takviyesi olarak 4 ana grupta toplanmaktadır. Şekilsel farklılığa göre yapılan sınıflandırma içinde partikül takviyeli MMK malzemeler takviye elemanı yönünden en düşük maliyete sahip olup yüksek hacimde takviye ilavesine imkan sağlar. Partikül takviyeli kompozitler özellikle toz metalurjisi ve döküm yöntemleri kullanılarak yapılan kompozit üretiminde oldukça başarılı sonuçlar vermektedir(Akın, 2006).

Takviye malzemesinin morfolojisi MMK’te önemli bir diğer değişkendir. Üç temel şekilde sınıflandırılabilir. Bunlar sürekli fiber, whisker ve parçacık takviyelidir. Tipik olarak takviye malzemesinin morfolojisinin seçimi, ihtiyaç duyulan özellik/maliyet birleşimi ile tanımlanır. Genellikle, sürekli fiber takviyeli MMK’ler fiber düzeninin yönünde en yüksek özellikleri sağlar fakat en pahalı takviye malzemesidir(Akbulut, 2001).

Takviye malzemeleri için rijitlik, mukavemet ve nispeten düşük yoğunluğun çok faydalı bir birleşimini sağlayan tipik seramikler kullanılır. Takviye için önerilen seramikler SiC, Al₂O₃, B₄C, TiC, TiB₂, grafit ve diğer seramiklerden biridir. Dahası tungsten ve çelik fiberler gibi metalik malzemeler de dikkate alınabilir(Akbulut, 2001).

2.3.1 Takviye Malzemesi ve Matris Ara yüzey Bağı

İki fazın ara yüzey bağı oluşturması, genellikle, ara yüzeyin uyumluluğuna, matris-takviye malzemesinin uygun seçimi ve özelliklerine dolayısıyla da ara yüzey dayanımının kompozit malzemelerin fiziksel ve mekaniksel özellikleri üzerinde rolü büyüktür. Takviye malzemesi ve matrisin elastik özellikleri arasındaki büyük farklar bazen ara yüzeyde yeterli derecede kuvvetli bağ oluşmasını engeller. Bu nedenle takviye malzemesi, matris türü ve üretim metodunun optimize edilmesi gerekir. Diğer bir ifadeyle matris üzerine etkiyen kuvvetler ara yüzey aracılığı ile takviye malzemesine iletilir. Takviye malzemelerinin yüksek dayanım ve elastik modüllerinden faydalanabilmek için bunlar matrise kuvvetli olarak bağlanmalıdır. Çünkü kompozitlerin mekanik özelliği; esas itibariyle takviye elemanı olarak takviyenin

yüksek çekme dayanımı, modülü ve kimyasal kararlılığıyla birlikte oluşan ara yüzey bağının kararlılığına bağlıdır(Şahin, 2000).

Ara yüzeyin kompozitlerin kırılma tokluğuna da önemli bir etkisi vardır. Zayıf ara yüzeye sahip kompozit malzemeler nispeten düşük dayanım ve elastik modüle sahipken tokluğu yüksektir. Yüksek ara yüzey bağ dayanımına sahip kompozitler ise yüksek dayanım ve rijitliğe sahip olurlar. Ancak bunlar diğerlerine göre daha kırılgandır. Bu etki, çatlak yayılması sırasında matristen takviyelerin kolay çekilmesi ve ara yüzeyin ayrılması ile ilgilidir(Şahin, 2000).

Ara yüzey arasında bağ oluşması ve takviye malzemesi-matris arasında uyumluluğu sağlamak en zor parametredir. Kompozitin ilk üretimi sırasında uyumluluk ve matrisin bütün takviye yüzeylerine kolaylıkla yayılması gereklidir. Bu durumda takviye malzemeleri iyi ıslanır ve boşluksuz bir kompozit üretilebilir. Ancak genelde seramiklerin ıslanma işlemi karmaşık olduğundan, metaller tarafından kolaylıkla ıslatılamaz. Özellikle Al matrisle iyi bir ara yüzey uyumluluğu elde etmek güçtür. Çünkü Al, çoğu seramik ile kolaylıkla etkileşime girerek intermetalik oluşturur ve iyi bir ara yüzey bağının gerçekleşmesini zorlaştırır(Şahin, 2000).

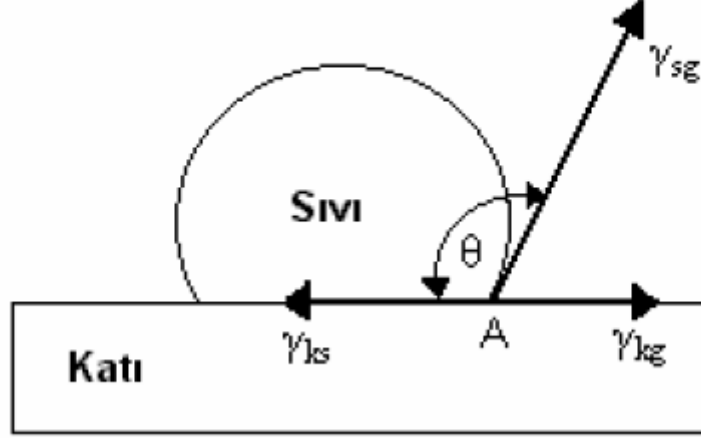
2.3.2 Islatma ve Çözünme Bağı

Ara yüzey bağı; matris ve takviye arasındaki yapışma nedeniyle çekme sonucu meydana gelir. Kararlı bir ara yüzey faz oluşumu için gerekli olan ıslatma; matrisin düşük viskozitede ve takviye elemanının kritik yüzey geriliminden daha düşük olmasıyla sağlanır.

Islatmanın meydana gelebilmesi için ara yüzey bağ mukavemetinin sıvının yüzey gerilimine galip gelmesi gerekmektedir. Islatılabilirlik temas açısı θ ölçülerek anlaşılmaktadır. Şekil 2.1'de sıvı, seramik bir malzemeye sıvı metalin damlatılması sonucunda bu damlacığın ortaya çıkarmış olduğu geometri ve oluşan ara yüzey kuvvetleri verilmektedir. Şekildeki sistemde katı-sıvı (γ_{ks}), sıvı-gaz(γ_{sg}) ve katı-gaz(γ_{kg}) arasında farklı ara yüzey kuvvetleri birbirlerine etki etmektedir. İdeal bir ıslanma için temas açısının (θ) sıfır olması yani yüzeyi tamamen kaplaması gerekmektedir. Etkin bir ıslanma için ise katı sıvı ara yüzey enerjisinin düşük olması, sıvı metal yüzey geriliminin düşmesi ve temas açısının 90 dereceden düşük olması gerekmektedir. Benzer şekilde temas açısının 180 derece olması halinde ıslanma olmayacaktır. Şekil 2.1'deki denge şartlarında Thomas-Young eşitliği (1.1) kullanılmaktadır.

$$\gamma_{kg} = \gamma_{ks} + \gamma_{sg} \cdot \cos \theta \quad \text{veya} \quad \theta = \cos^{-1} \frac{\gamma_{kg} - \gamma_{ks}}{\gamma_{sg}} \quad (1.1)$$

Eşitlikten anlaşılacağı gibi temas açısı θ 'nın 90 dereceden düşük olmasını sağlamak için $\gamma_{kg} - \gamma_{ks}$ değeri pozitif olmalıdır (Akbulut,2000).



Şekil 2.1 A noktasında temas açısını ve ara yüzey kuvvetlerini gösteren sıvı damlacığı metoduna göre ıslatma olayının şematik temsili (Toptan,2006).

Kompozit malzemelerin özellikleri, katı-sıvı-gaz fazları arasındaki enerji dengelerine ve dolayısıyla ıslatılabilirlik açısının büyüklüğüne bağlı olduğundan, ıslatma açısının düşürülmesi için çeşitli ön işlemler yapılmaktadır. Ana amaç ara yüzey bağ mukavemetini arttırmaktır ve bu aşağıda verilen faktörlere bağlıdır:

- i) Fiber veya takviye elemanı
- ii) Matris
- iii) Matris-fiber ara yüzeyinin tabiatı (Akbulut,2000).

2.4 Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Matris ve takviye malzemesinin seçimine ve takviye türüne göre üretim yöntemleri çok farklılık gösterir. Kompozit üretim tekniği önemli bir husustur. Yöntemlerde dikkat edilmesi gereken noktalar yüksek sıcaklıklarda takviye malzemesi ve matris arasında oluşan

reaksiyonlar (kompozitin hazırlanmasında ya da servis koşullarında), matris ve takviye malzemesi arasındaki yeterli bağ kuvvetini sağlamak ve takviye malzemesinin matris içindeki

dağılımıdır. Bileşenlerin verilen ayarlamaları için, özellikler ve maliyet arasındaki temel bağıntı üretim yöntemleri ile belirlenmektedir (William ve Harrigan, 1998).

Genelde yüksek performanslı kompozitler daha pahalı olan sürekli fiber takviyeleriyle üretilmektedir. Maliyet performans analizlerinin diğer ucunda ise partiküllerle pekiştirilmiş, ergitilmiş (ya da dökülmüş) metal kompozitler bulunur. İkisinin arasında ise preform infiltrasyon ya da T/M yöntemiyle üretilmiş orta maliyetli kompozitler yer alır (Davis,1996). Çizelge 2.1’de kompozitlerin eldesi için bazı üretim metotları, benzer koşullar altındaki durumlar için karşılaştırılmıştır. Çizelge 2.2’de farklı işlem takviyeler maliyet açısından karşılaştırılmıştır (Torralba vd, 2003).

Çizelge 2.1 Farklı üretim yöntemlerine bağlı olarak elde edilen karakteristikler (Torralba vd., 2003).

Özellik	Proses			
	Toz Metalurjisi	Osprey	Yarı-katı Döküm	Sıvı infiltrasyonu
Mikroyapısal Özellikler	1	2	2	2
İkincil prosesler	3	1	1	4
Maliyet	4	2	1	2
Endüstriyel Olgunluk	1	2	2	4
1=en iyi				

Çizelge 2.2 Farklı üretim metodlarının ve takviye elemanlarının maliyet karşılaştırması(Torralba vd., 2003).

Proses	Maliyet	Takviye Elemanı
Difüzyon Kaynağı	↑	Monofilamanlar
Toz Metalurjisi		Süreksiz fiberler
Sprey yöntemleri		Kısa Fiberler
Ergitme Prosesleri		Partiküller

MMK’lerin üretiminde çok çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Kompozit üretim yöntemlerinin çok değişik şekillerde sınıflandırılması mümkün olmakla beraber, matris hali

dikkate alınarak; sıvı faz, katı faz ve çift(katı-sıvı) faz yöntemi şeklinde bir sınıflandırma yapılabilir (Ahlatcı, 2003) .

Sıvı faz üretim yöntemleri, kompozit üretiminin sıvı fazda gerçekleştiği yöntemlerdir. Sıvı faz proseslerinde, farklı ve uygun teknikler kullanılarak matrisin içine seramik partiküller ilave edilmektedir. Bu yöntemler seramik partiküllerinin sıvı metal ile karıştırılma yöntemleri, sıkıştırma döküm, basınçlı ve basınçsız infiltrasyon, XD yöntemleridir.

Katı faz üretim yöntemleri arasında difüzyonla bağlanma, sıcak haddeleme, toz metalurjisi sayılabilir.

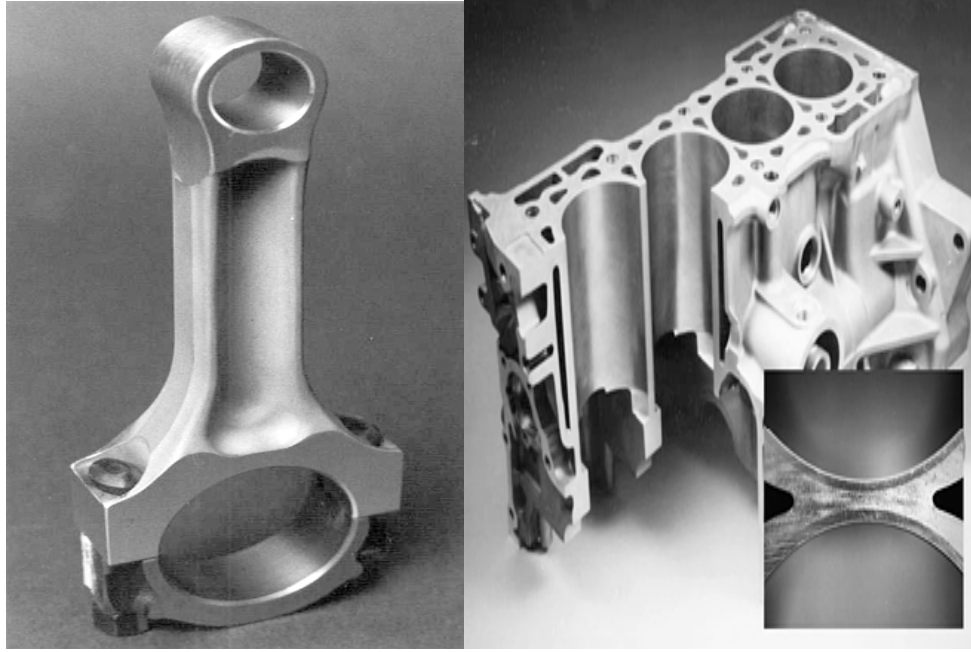
Çift faz üretim yöntemleri, matris alaşımının çift faz (katı-sıvı) içerdiği sıcaklıklarda takviye partiküllerinin matrise ilavesini içermektedir. Bu yöntemler yarı katı karıştırma ile Osprey yöntemidir (Ahlatcı, 2003).

2.5 Metal Matrisli Kompozitlerin Endüstriyel Uygulama Alanları

MMK malzemeler matris alaşımlarından daha pahalı olduklarından dolayı yalnızca malzeme özelliklerinin birince derecede önemli olduğu alanlarda kullanılırlar. Bir MMK malzeme türbin motoru olarak kullanılacaksa diğer yüksek sıcaklık motor malzemelerine göre özelliklerinin optimal olarak geliştirilmesi gerekmektedir. Kompozit performansının geliştirilmesi için en önemli anahtar parametre, mukavemet/ağırlık oranı veya spesifik mukavemettir (Akbulut, 2000).

2.5.1 Otomotiv Endüstrisi

Yüksek spesifik modül, yorulma direnci, aşınma dayanımı ve termal genleşme gibi yeniden biçimlendirme özellikleri, otomobillerde MMK'lerin yerini sağlamlaştırmaktadır. Hafif ağırlıklı malzeme seçiminde MMK'ler önemli bir rol oynamaktadır. Uygulama alanları olarak kadran milleri, fren diskleri, motor blokları ve silindir astarları, bağlantı çubukları ve pistonlar, valfler ve çekiç milleri sayılabilir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 MMK uygulamaları (a) Piston kolu (b) Silindir gömleği(Hunt ve Miracle; 2001).

En büyük taneli ve hacimsel olarak katkılı kompozitler tren ve arabaların fren sistemlerinde kullanılmaktadır. Al-MMK fren diskleri genellikle Avrupa demir yollarında kullanılmaktadır. Otomotivin geleceğinde Mg, Al kompozit malzemeler ağırlıklı olarak yer alacaktır(Akbulut, 2001); [1].

Yapılan araştırmalar, hafif ve nitelikli malzeme seçimiyle araçlarda tasarruf yapılmasının mümkün olduğunu göstermektedir. Ayrıca motor bloğunda oluşan titreşimlere ve aşınmalara karşı matrisin alüminyum olduğu kompozitler kullanılmakta ve böylece hareketli aksamaların kullanım ömrü arttırılmaktadır (Akın,2006).

2.5.2 Uzay/Havacılık Endüstrisi

Hafiflik, statik ve dinamik yüklere karşı yapısal bütünlüğün korunması amacıyla yüksek mukavemet, korozyon direnci ve termal kararlılık uzay/uçak sanayisinde kullanılan kompozitlerde arzu edilen en önemli mekanik özelliklerdir. Özellikle uçakların gövde, iskelet ve kanat omurga sisteminde kullanılan yapısal parçalarda, sahip olduğu düşük yoğunluk, korozyona karşı kararlılığı ve ısıl işlemlerle birlikte spesifik mukavemetinde yapılan iyileştirmeler neticesinde alüminyum esaslı kompozitler uçak sektöründe yoğun bir biçimde kullanılmaktadır (Çizelge 2.3). Parçacık katkılı Al-MMK'ler helikopterlerin pervane kanat

kollarında, uçuş kontrol hidrolik manifoldlarda %40 SiC katkıli kompozitler başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Akbulut, 2001); [1].

Çizelge 2.3 Havacılık endüstrisinde kullanılan MMK malzemeler ve özellikleri(Akın, 2006).

Kompozit	Kullanım Alanı	Avantajları
Al-SiC partikül	Uçak omurga ve iskeleti	Aşınma direnci
Al-karbon fiber	Uçak motorları	Termal kararlılık Sürtünmeye karşı direnç
Mg-Al ₂ O ₃	Uçak motorları	Termal kararlılık Sürtünmeye karşı direnç
Al-Ti/Be şerit	Helikopter pervane şaftı	Mukavemet
Ti-Al/karbon fiber	Roket motorları	Termal kararlılık
Ti /Mo fiberler	Ses üstü uçak roketi fırlatıcısı	Yüksek servis sıcaklığı
Al-Ti-V/bor fiber	Türbin kanatları	Yüksek mukavemet Sürünme direnci
Ti-Al/SiC	Turbojet motor aksamaları	Yüksek mukavemet Sürünme direnci

3. ALÜMİNYUM METAL MATRİSLİ B₄C TAKVİYELİ KOMPOZİTLER

Uzun bir zamandır, MMK'ler de matris malzemesi olarak alüminyum alaşımları çok geniş olarak, hem araştırma ve geliştirmede hem de endüstriyel uygulamalarda kullanım alanı bulmaktadır. Bu alüminyum alaşımlarının düşük yoğunluğundan dolayı olmuştur. Dahası diğer düşük yoğunluklu metallerle (Mg, Ti gibi) karşılaştırıldığında daha ucuzdur. Ayrıca, gösterdiği iyi korozyon direnci, düşük elektriksel direnç ve mükemmel mekanik özelliklerinden dolayı metal matrislerde odak noktası olmuştur. Bu özelliklere ilaveten hafifliği, sinterlenmiş alüminyum ürünlerinin düşük kompaktlama basıncı ve düşük sinterleme sıcaklığından kaynaklanan enerji tasarrufu, otomotiv endüstrisinde alüminyum matrisli kompozitlerin, bazı demir bazlı parçaların yerine tercih edilmesine sebep olmuştur. Sonuçta alüminyum ve alaşımları, havacılıktan otomotiv sanayisine kadar olmak üzere birçok endüstriyel alanda yüksek kullanıma sahip olduğundan çok iyi bilinmektedir (Torralba vd., 2003).

Matris malzemesi olarak büyük ölçüde 2xxx, 6xxx ve 7xxx alüminyum alaşımları kullanılır. Son zamanlarda iyi ıslatma özelliğinden dolayı 8xxx alaşımları da araştırmacıların dikkatini çekmektedir.

Al-MMK'de takviye malzemesi olarak SiC ve Al₂O₃ en yaygın kullanıma sahiptir. B₄C ise sahip olduğu yüksek sertlik ve mukavemet ile düşük yoğunluk özelliklerine rağmen yüksek maliyeti sebebiyle kompozitlerde kullanımı üzerinde fazla çalışılmamıştır. Çok az malzemede bulunan, sıcaklıkla çekme mukavemetinin artması da B₄C'yi diğer takviye malzemelerine göre ön plana çıkarmaktadır (Lillo, 2005).

Çizelge 3.1 AMK lerde başlıca kullanılan takviye malzemeleri (Toptan, 2006).

Takviye Malzemesi	Yoğunluk (x 10 ³ kgm ⁻³)	Isıl Genleşme Katsayısı (10 ⁻⁶ C ⁻¹)	Ergime Sıcaklığı (°C)	Mukavemet (MPa)	Elastiklik Modülü (GPa)
Al ₂ O ₃	3,98	7,92	2100	221 (1090 °C)	379 (1090 °C)
SiC	3,21	5,4	2750	-	324 (1090 °C)
C	2,18	-1,44		-	690
SiO ₂	2,66	<1,08	1710	-	73
AlN	3,26	4,84	2375	2069 (24 °C)	310 (1090 °C)
B ₄ C	2,52	6,08	2420	2759 (24 °C)	448 (24 °C)

B₄C takviyeli kompozitin proses problemleri ve mekanik özelliklerinin sınırlılıkları, Al'un katılımıyla önemli ölçüde azalabilmektedir. B₄C-Al kompozitlerinin parçacıklı olmasının amacı, daha büyük oranda içeriğe sahip olmak (hacimsel olarak >%55)tır. Güçlü bir iç yüzey bağlanmasını sağlamak için ve sinterleme sırasında sıvı artış aralığına izin vermek için, matris ile takviye partikülleri arasında ıslanma gerçekleşmesi gerekir. Eğer gerçekleşmezse birleşmeyi arttırmak için dış basınç uygulanmak zorundadır. Fakat her basınç tekniği bazı yüksek seramikli kompozitler (hacimsel olarak >%60) için uygun olmayabilir (Halverson ve Pyzik, 1989).

Alüminyum matrisli kompozitlerde başlıca kullanılan üretim yöntemleri sıvı metal infiltrasyonu ve döküm yöntemleridir. Bunun yanında T/M yöntemi, gerek nihai malzeme özelliklerinin kontrolünde sağladığı avantajlar gerekse yüksek sıcaklıklara çıkmayı gerektirmeyen proses şartlarıyla diğer yöntemlere göre avantajlıdır.

Al-B₄C kompozitlerinin üretimindeki ana sorun, matris metali ile takviye partikülleri arasındaki düşük ıslanmadır. Bu konudaki mevcut çalışmalar, matris metali ile takviye partikülleri arasındaki ıslatma sorunu üzerinde yoğunlaşmıştır. Islatma problemi takviye partiküllerine bazı ön işlemler uygulanarak aşılmaya çalışılmıştır. Literatürde Al-B₄C kompozitlerinin üretimi için önerilen infiltrasyon ve T/M gibi yöntemler, nispeten iyi mekanik özellikler verse de işlem maliyetleri yüksek olmaktadır. Bunun yanında düşük sıcaklıklarda döküm yöntemi üzerine yapılan çalışmalarda genel olarak ara yüzeydeki ıslatılabilirlik problemlerinin aşılması üzerinde yoğunlaştırılmış olup, gelişmiş fiziksel ve mekanik özellikleri verecek olan yöntem henüz standartlaştırılamamıştır. Araştırmacılar Al-B₄C kompozitlerinin aşınma uygulamaları için kullanılabileceğini belirtmekle birlikte, nihai üretim yöntemi ve mukavemet artırıcı yöntemler üzerinde yeterince sonuç ortaya koyulamamıştır (Toptan,2006).

3.1 B₄C Tozu ve Özellikleri

Alüminyum ve alaşımları, aşınma davranışını ve mekaniksel dayanımı geliştirmek için seramiklerle takviye edilirler. Alüminyumun kolay elde edilebilir olması, düşük yoğunluklu olması ve uygun üretim şartları altında B₄C ile tepkime oluşturması nedeniyle takviye elemanı olarak B₄C tercih edilmektedir. Düşük yoğunluklu Al kompozit üretmek amacıyla, rijitliği yüksek ve sert B₄C ile sünek alüminyum birleştirilir (Yetgin ve Köken, 2005).

B₄C, elmas ve kübik yapıli bor nitrürden sonra bilinen en sert (9.5+Mohs skalasında) üçüncü malzemedir. Nötron absorbsiyonu, sürünme direnci ve darbe dayanımı isteyen uygulamalar için farklı avantajlara sahip, kovalent bağıli seramik yapıdadır. Ayrıca seramiklerin en hafifidir. Bu yüzden kompozitin toplam ağırlığını arttırmadan mekanik özelliklerini geliştirmede kullanılabilir. B₄C ile çalışılırken dikkat edilmesi gereken dezavantajı, B₄C'nin yüksek sertliğinden dolayı kompozitin ekstrüzyon yapabilme kabiliyetinin limitli olmasıdır. Tamamen yoğun mikroyapıların üretiminde karşılaşılan sorunlar ve gevrek kırılmaya karşı B₄C'ün aşırı hassasiyeti bu takviye malzemesinin sahip olduğı sınırlılıklardır (Lee ve Kang, 2001).

3.2 Alüminyum Matrisli - B₄C Takviyeli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

3.2.1 İnfiltrasyon Yöntemi İle Üretimi

İnfiltrasyon yöntemi, B₄C-Al kompozitlerinin üretiminde sık kullanılan bir yöntemdir. Bununla birlikte; Al'un B₄C üzerindeki düşük ıslatabilirliği nedeniyle endüstride bu işlem çok yüksek sıcaklıklarda (1200 °C) uygulanmaktadır.

Gözenekli B₄C preformu, Al ile infiltre edilir. Yeterli ıslatmanın ardından başlayan infiltrasyon yüksek sıcaklıklarda meydana gelir. Yüksek içerikli B₄C kompozitlerinin imalatı için, metalle infiltrasyonda, seramik preformlar 800-900°C'de kısmen (bölgesel olarak) sinterlenir (Lee ve Kang, 2001).

3.2.2 Döküm Yöntemi İle Üretimi

Döküm yöntemi, diğeri MMK'lerde olduğı gibi, Al-B₄C kompozitlerinde de düşük maliyetli olması nedeniyle tercih edilebilir. Ancak Al ile B₄C arasındaki ıslanabilirliğin 1100 °C nin altındaki sıcaklıklarda düşük olması, Al-B₄C kompozitlerinin bu sıcaklıklarda döküm yoluyla üretiminin zor olduğı anlamına gelmektedir. B₄C partiküllerinin Al üzerindeki

ıslatılabilirliğini artırmak ve sıvı alüminyum ile birleşebilirliğini kolaylaştırmak için, partiküller genellikle ısıtılma tabii tutulur veya kaplanırlar (Kennedy ve Brampton, 2001).

3.2.3 Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretimi

Toz metalurjisi yöntemi, matris alaşımı ve takviye elemanı tozlarının bir karıştırıcı yardımıyla karıştırılmasını, karıştırılan tozların preslenmesini ve sinterlenmesini içerir.

Bu yöntem tamamen katı halde gerçekleştiğinden, gerekli sıcaklık diğer yöntemlerden daha düşüktür. Bu yöntemde, kuvvetli ara yüzey reaksiyonlarının oluşmaması ve matris-takviye elemanı arasında istenmeyen reaksiyonların minimize edilmesi yöntemin avantajıdır (Halverson vd., 1989).

3.3 Alüminyum-B₄C Kompozitleri- Literatürdeki Çalışmalar

Literatürde henüz Al-B₄C kompozitleri ile ilgili yeterli bir çalışma bulunmamaktadır. Mevcut çalışmalar daha çok infiltrasyon ve döküm üzerine yoğunlaşmıştır. Bunun yanında toz metalurjisiyle yapılan çalışmalar ara yüzeydeki ıslatılabilirlik seviyelerini arttırmak üzerine yoğunlaştırılmış olup, gelişmiş fiziksel ve mekanik özellikler üzerine çalışmalar devam etmektedir.

Halverson ve Pyzik, yaptıkları çalışmada; yüksek seramik içerikli Al-B₄C kompozitlerinde, takviye ile matris arasındaki ıslatmayı sağlamaya ve B-C-Al sisteminde faz dengesini gözlemlemeye çalışmışlardır. Ara yüzeydeki ıslatmayı sağlayabilmek için; 1000 °C'nin üzerinde bir işlem sıcaklığı kullanılmış ve sistemdeki reaksiyonlar dikkatlice gözlemlenmiştir. Yapılan çalışma göstermiştir ki; bor karbür katılmış kompozitlerin proses problemleri ve mekanik özellik sınırlılıkları; metal bir fazın katılımıyla önemli ölçüde azaltılabilir. Düşük ergime noktalı metal bir faz (Al veya Al alaşımları) kullanılarak B₄C'nin kırılma tokluğu arttırabilir (Halverson vd.,1989).

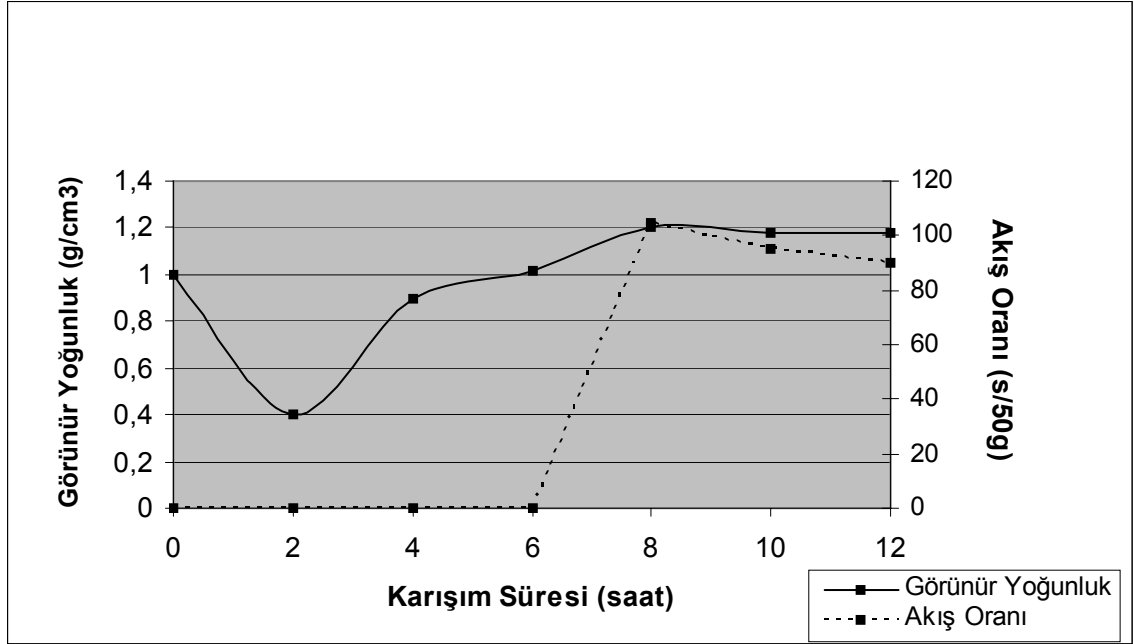
Zhang, Ramesh ve Chin yaptıkları çalışmada, ekstrüzyon ve sıcak izostatik presleme gibi iki farklı işlemle Al6092-B₄C MMK'ler üretmişlerdir. Üretilen kompozitlerin mukavemetlerinin, partikül takviyelerinin artan hacim oranlarıyla arttığını; düşük gerinmede (%5'in altı) takviyenin artan hacim oranı ile gerinme sertliğinin arttığını gözlemlenmiştir (Zhang vd.,2004).

Kouzeli, Marchi ve Mortensen yaptıkları çalışmada, infiltrasyon yöntemiyle ürettikleri Al-B₄C kompozitlerin çekme davranışlarını incelemişlerdir. Sıvı metal infiltrasyon ile desteklenmiş gaz basıncı, değişik hacim oranlarına sahip B₄C-Al kompozitlerinin üretiminde kullanılmıştır. Deneylerin sonunda, iki reaksiyon ürünü gözlemlenmiş ve kompozitin içinde AlB₂ ve Al₃BC olarak tanımlanmıştır. Bu fazların toplam hacim miktarlarındaki artma, kompozitin sertliğinin ve sünekliğinin azalmasına sebep olmuştur (Kozeli vd.,2002).

Akın'ın yaptığı çalışmada; Al-B₄C kompozitleri, T/M yöntemiyle üretilmiş, aşınma ve korozyon dirençleri araştırılarak optimum üretim parametreleri saptanmaya çalışılmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda, B₄C takviye oranının artması ile aşınma dürenci de artmıştır; fakat belirli bir takviye oranından sonra (%9 B₄C) kompozitin sertliği artmasına rağmen aşınma direnci düşmüştür. %9 B₄C içeren kompozite uygulanan ara deformasyon ile korozyon direnci artmıştır. B₄C içeriğinin artmasıyla korozyon direnci azalmıştır. Sertlik kriter alınarak yapılan değerlendirmede; optimum üretim parametrelerine 570°C'de atmosferik ortam koşullarında, 12 saat süre ile yapılan sinterleme neticesinde ulaşılmıştır (Akın, 2006).

Abenojar, Velasco ve Martinez in yaptıkları çalışmada; Al-B₄C kompozitleri üretiminde T/M yöntemi kullanılmışlardır. Bu kompozitlerin üretiminde ana problem olan homojeniteyi, mekanik alaşımlama ile çözmeye çalışmışlardır. Al-B₄C toz karışımı 12 saat süreyle karıştırılmış ve her 2 saatte bir, karışım tozunun yoğunluk ve akış oranı ölçülmüştür. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi; 2 saatlik karıştırma işleminde gevrek fazların çatladığı, sünek fazların deformasyona uğradığı görülmüştür; karışımın görünür yoğunluğu düşüktür. 4 saat sonunda uniform bir tane boyutuna ulaşılmış fakat yer yer ince parçalar görülmüştür. Bu ince parçalar kayboldukça görünür yoğunlukta artma gözlemlenmiştir. 8 saat sonunda tozların yeterince karıştığı, partiküllerarası birleşmelerin tamamlandığı ve görünür yoğunluğun sabit kaldığı; 12

saatlik karıştırma sonunda üretilen karışımda topaklaşmaların olduğu görülmüştür (Abenojar vd., 2007).



Şekil 3.1 Al+10%B₄C Tozlarının Karışım Süresinin Görünür Yoğunluk ve Akış Oranlarına Etkisi (Abenojar, vd., 2007).

4. TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ

Seramik partiküllerin sıvı alaşım tarafından ıslatılmasındaki güçlük nedeniyle ilk olarak geliştirilen kompozit üretim yöntemi T/M'dir. Bu yöntemde whisker veya partikül şeklindeki takviye malzemesi ile metal veya alaşım tozları karıştırılır. Bu karışım daha sonra soğuk ya da sıcak presleme ile kalıplanır. Soğuk preslemeden sonra ürün, partikül veya matris ara yüzey mukavemetinin artırılması amacıyla sinterlenir. Sinterleme sonrasında %75-85 yoğunluğa sahip ara ürün elde edilir. Bu ara ürün daha sonra dövülür, haddelenir ya da ekstrüze edilir.

T/M yöntemi genelde, takviyelenecek parçacıklara sahip matris alaşımının tozlarının karışımını, preslenmesini ve katı hal sinterlemesini içerir. Bu, takviye ile matris arasındaki az reaksiyonun olduğu, diğer yöntemlerden daha düşük sıcaklıkların kullanılması anlamını taşır. İyi bir mikroyapı elde edebilmek için karışımda bütün parçacıkların homojen dağılması önemlidir (Torralba vd., 2003).

T/M, çeşitli metal işleme teknolojileri arasında en farklı üretim tekniğidir. Yüksek kaliteli ve karmaşık parçaların ekonomik olarak üretilebilmesi, T/M'ni cazip kılmaktadır. T/M, farklı boyut, şekil ve paketlenme özelliğine sahip tozları hassas, sağlam ve yüksek performanslı parçalara dönüştürür. Bu işlem; şekillendirme veya presleme ve daha sonra parçacıkların sinterleme yoluyla ısı bağlanması basamaklarını içerir. T/M nispeten düşük enerji tüketimine, yüksek malzeme kullanımına ve düşük maliyete sahip otomatikleşmiş işlemleri verimlice kullanır (Akın, 2006 ; Torralba vd., 2003).

4.1 Toz Özellikleri ve Karakterizasyonu

T/M ile imal edilen parçaların özelliklerini büyük oranda bu parçaların imalinde kullanılan tozların sahip olduğu özellikler belirlemektedir. Bu nedenle tozların özelliklerinin önemi ve aldıkları rolün anlaşılması önemlidir. Sinterlenmiş parçaların özellikleri toz boyutu, boyut dağılımı ve yüzey şartları gibi toz özellikleri tarafından etkilenir. Tozların görünür yoğunluğu, yani preslenmemiş ve yerleşmemiş tozların verilen hacminin kütlesi, önemli bir parametredir. Görünür yoğunluk tozlardaki boşluk derecesi ve toz şeklinin bir fonksiyonudur. Toz şeklinin karmaşılaşması ve gözenekliliğinin artması görünür yoğunluğu düşürür. Görünür yoğunluğun düşmesi ise presleme aşamasında hacim azalmasını artırır ve böylece soğuk

kaynak miktarını artırır. Neticede daha yüksek ham mukavemetli parça elde edilmiş olur. Parçanın sinterleme verimi de soğuk kaynak miktarının artmasından dolayı artacaktır. Kalıp

içindeki tozların paketlenme verimliliği toz boyut dağılımına geniş ölçüde bağlıdır. Büyük tozlar arasında oluşan boşluklar küçük boyuttaki tozlar ile doldurulabilir.

Tozların fiziksel özelliklerinden olan toz şekli, toz boyut dağılımı ve spesifik yüzey alanı tozların, ham yoğunluğuna, sıkıştırılma işlemi sırasında kalıba akış davranışlarına, sıkıştırılabilirliğine ve sinterleme sonrası davranışlarına, örneğin dayanımlarına (green strenght) doğrudan etki etmektedir. Tozların saflığı da çok önemlidir. Müsaade edilebilecek yabancı madde seviyesi büyük oranda maddelerin tamamının yapı ve durumuna bağlıdır. Pek çok metal tozunun ince bir oksit tabakası ile kaplı olması presleme işlemine fazla etkili olmaz. Çünkü tozlar arası sürtünme ile bu tabaka kolayca yırtılır ve açığa çıkan metal yüzeyler hemen soğuk kaynak olurlar (Sağırlı, 1990).

4.2 Toz Metalurjisi İmalat Safhaları

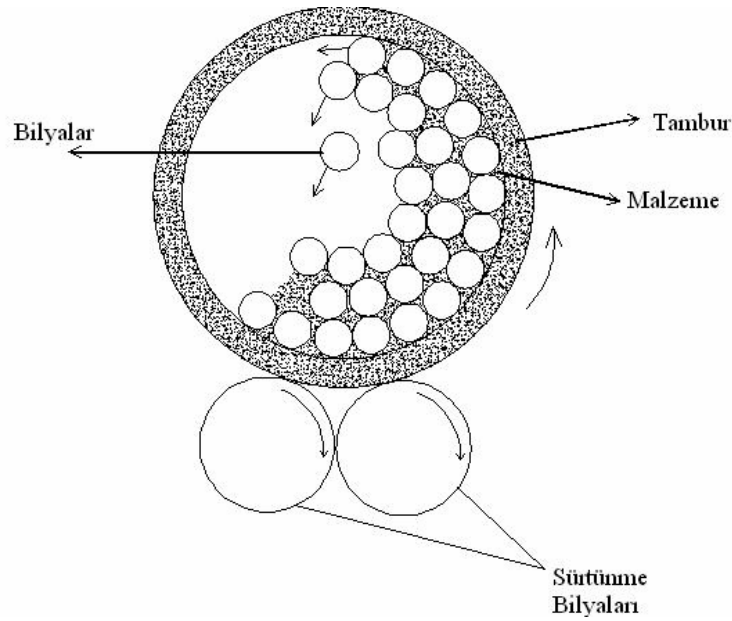
4.2.1 Tozların ve/veya Alaşımların Karıştırılması

Karıştırma; tek tane boyut dağılımlı toz elde etmek, preslemeyi kolaylaştıracak yağlayıcıları ilave etmek amacı ile yapılır. İşlemin temel sebeplerinden biri, toz içerisindeki nem ve taşıma sırasındaki şartlara bağlı oluşan segregasyonu ortadan kaldırmaktır. Taşıma sırasında büyük tanelerin yukarıda kalması, presleme ve sinterleme aşamasında problem yaratır. Fazla nem miktarı sonucu oluşabilecek aglomerasyonu önlemek için karışım öncesinde düşük sıcaklıklarda kurutma yapılabilir (Tan vd., 1998).

Toz bileşimlerinin birbiri içerisinde homojen bir dağılım oluşturacak şekilde karıştırılması evresi, T/M ile parça üretiminde başlangıç kademesini oluşturmaktadır. Bu safhada, elemental metal tozları ve/veya mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla bazı alaşımsal ilaveler, uygun karıştırıcılarda harmanlanır veya mekanik olarak alaşımlamaya tabi tutulur (Akın, 2006). Bunu sağlamak için tozlar hassas bir şekilde tartılır, yağlayıcı ve diğer katlı ilaveleriyle bir karıştırıcıya verilir. Karışımı oluşturan tozların tane boyutları ve şekilleri, katkı maddelerinin miktarı karışım kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir.

Yağlayıcı ilavesiyle ön şekillendirme esnasında kalıp ve zımba aşınmaları azalacak, tozun şekillenmesi kolaylaşacak ve numune kalıptan kolay çıkarılabilecektir.

Karıştırıcı tipi ve karışımın süresi de karışım kalitesini etkileyen faktörlerdendir. Karıştırıcı olarak bilyalı değirmenler, atritör kullanılır. Karışımın süresi, karışımın homojen olarak elde edilebilmesi için önemlidir. Belirli bir zamandan sonra karışım süresi etkili olmamaktadır (Sağırlı, 1990).



Şekil 4.1 Bilyalı değirmen

4.2.2 Tozların Preslenmesi (Yoğunlaştıma Safhaları)

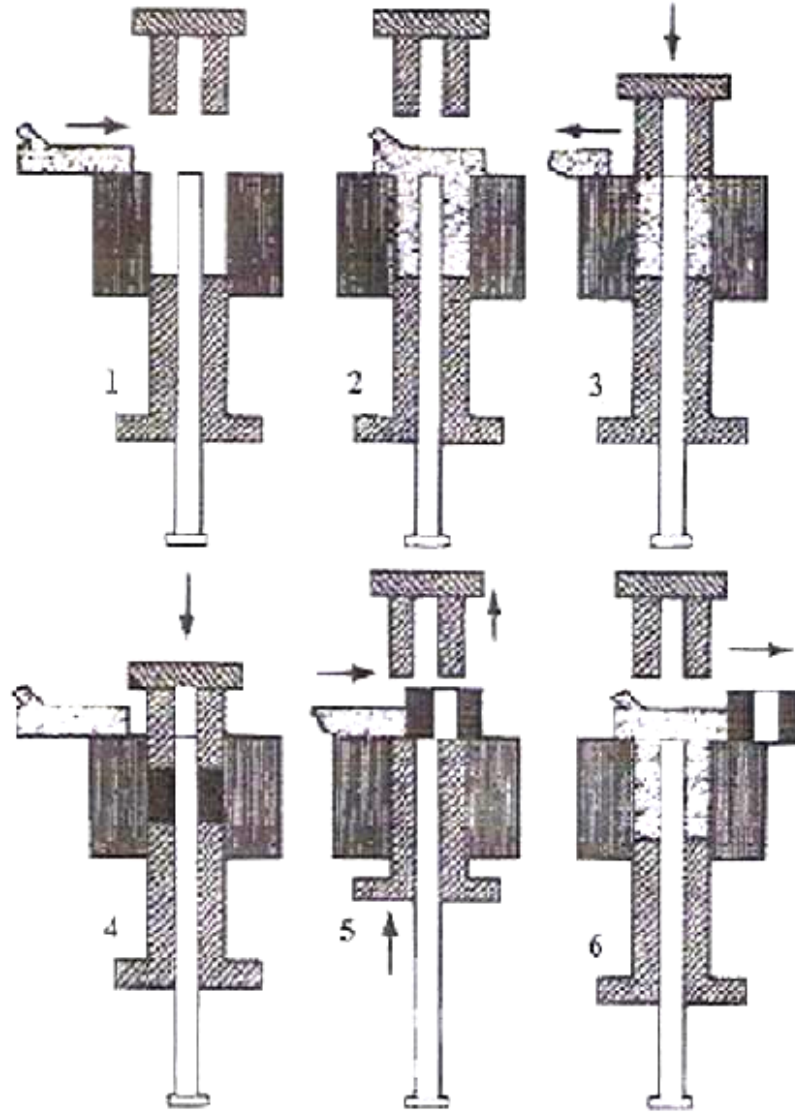
Tozların preslenmesinde ana amaç, ham yoğunluk ve dayanımın elde edilmesidir. Sıkıştırma, bir yük altında serbest yapıdaki toz partiküllerinin istenilen şekle ve forma dönüştürülmesi için yoğunluk kazandırma işlemi olarak tanımlanabilir. Değişik sıkıştırma teknikleri olmakla beraber en yaygın sıkıştırma yolu, bir çelik veya sert bir metal kalıp içerirsinde 300-800MPa basınç altında aksenal preslemedir. Presleme sonrası parça kalıptan çıkarılabilecek yeterli mukavemete sahiptir. T/M üretim yöntemi ile elde edilen malzemenin dayanımı presleme ve sinterleme sonrası yoğunluğu ile doğrudan ilgilidir.

Presleme esnasında tozlar, kalıba doldurulma sırasında sadece yerçekiminin etkisi altında serbest, düzensiz ve gelişigüzel köprücükler kurarak yığılırlar. Bu arada toz partikülleri arasında büyük boşluklar vardır. Kalıbın titreştirilmesi sonucu tozlar kalıp içerisinde daha yüksek yoğunluklu olarak düzene girerler. Bu birinci safha “paketlenme safhası” olarak adlandırılır. Bundan sonra kalıbın ve presin hareketleri sonucunda tozlar sıkışmaya başlarlar.

Belirli bir basınçtan sonra toz partikülleri ilk önce elastik daha sonra plastik şekil değişikliğine uğrarlar. Şekil değiştirme kabiliyeti olmayan metal tozları ise kırılırlar. Toz taneciklerinin yüzeylerindeki kayma deformasyonu sonucu meydana gelen bu şekil değişiklikleri toz partiküllerine etki eden simetrik ve asimetrik kuvvetler sonucudur. Bu deformasyonlar sonucu toz partikülleri birbirlerine kenetlenerek kümeler oluştururlar. Bir yandan da oksit tabakaları kırılır. Bu safhaya “elastik ve plastik şekil değiştirme safhası” adı verilir.

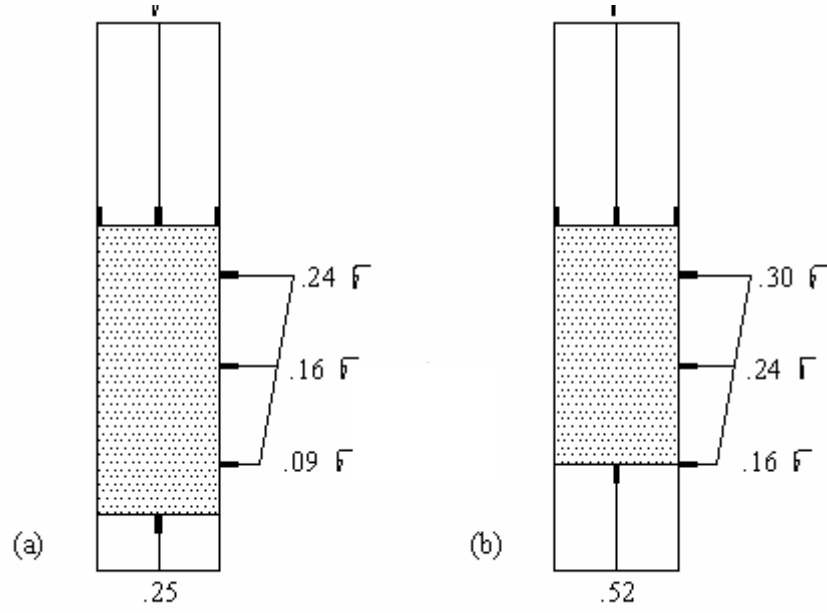
Mekanik kenetlenme olayı esnasında şekil değiştirmiş olan toz partiküllerinin birbirlerine değme alanları da artmıştır. Sıkıştırma sonucu partiküller arası adhezyon kuvveti artar ve şekil değiştirme yeteneği kalmayan tozlar soğuk kaynak olur ve sıkıştırma işlemi tamamlanmış olur (Palacı, 2001; Sağırılı,1990).

Presleme tek etkili ya da çift etkili yapılabilir. Şekil 4.2’de tek etkili preslemenin aşamaları görülmektedir.



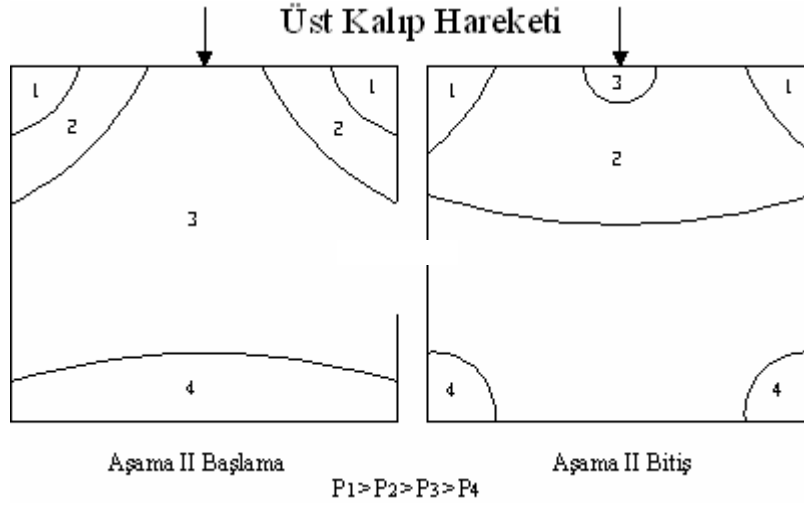
Şekil 4.2 Tek etkili preslemenin aşamaları (Palacı, 2001).

Tek etkili presleme yönteminde üst zımba hareketli ve alt zımba sabittir. Tozlar kalıba doldurulduktan sonra kuvvet, sadece bir yönden uygulanır. Kuvvetin en az iletilebildiği kısım kalıbın ortasında bulunur. Dolayısıyla bu bölgede düşük yoğunluklu koniye benzer toz katmanları oluşur. Maksimum yoğunluk basıncın uygulandığı tarafta, üst zımbanın alt yüzeyi çevresince oluşur. Bu, tek etkili preslemenin dezavantajıdır. Bu nedenledir ki, bu tip presleme tekniği, ince ve tek kademeli parçaların imalatında kullanılır. Kalınlığı (yüksekliği) fazla olan parçaları bu yöntemle imal etmek uygun değildir (Sağırlı, 1990)



Şekil 4.3 Tek etkili preslemede oluşan basınç dağılımları (Ekşi ve Kurt, 1999).

Metal kalıplarda preslemede dikkate alınması gerekli faktörlerden bir tanesi, toz ve kalıp duvarı arasındaki sürtünmedir. Tek eksenli presleme de dikey doğrultuda deformasyonun başlamasıyla, tozlar arası ve toz-kalıp duvarı arasında oluşan sürtünme düzensiz bir basınç dağılımına neden olmaktadır. Bu durum Şekil 4.3’de görülmektedir. Sonuç olarak uygulanan yük düzenli olarak kalıp içerisindeki toza uygulanmamaktadır. Dolayısıyla iş parçasındaki yoğunluk homojen bir dağılım göstermemektedir. Yoğunluk, hareketli zımbaya yakın bölgelerde daha yoğun olmakta ve sabit zımbaya doğru giderek azalmaktadır. Bu amaçla sürtünmeyi en aza indirmek, üniform bir yoğunlaşma elde edebilmek ve sıkıştırabilirliği arttırmak için yağlayıcılar kullanılır. En çok kullanılan yağlayıcılar çinko stearat, stearik asit ve asetondur. Kalıp duvarlarının tozlardan çizilmemesi ve aşınmaması için çok sert olması gereklidir. Bundan dolayı genellikle çok sert metal kalıplar kullanılmaktadır (Ekşi ve Kurt, 1999).



Şekil 4.4 Tek etkili presle imal edilmiş parçada yoğunluk dağılımı(Palacı, 2001)

Tozlar bir metal kalıba dolduruldukları zaman belirli bir yoğunluk alırlar. Bu görünür yoğunluk toz şekline, tane büyüklüğüne ve dağılımına, katkı maddelerine ve kısmen de kalıp şekline bağlıdır. Basınç artıkça, kompakt yoğunluğu da artar veya alternatif olarak gözeneklilik azalır. Sonuç olarak tozlarda, uygulanan yükten dolayı deformasyonla birlikte ham yoğunluk meydana gelir. Pişirme öncesi ham yoğunluğun, kompaktın elle taşınabilmesi (dağılmaması) yeterli olmaktadır. Şekil 4.4’de tek eksenli kalıpta preslenen kompaktta meydana gelen yoğunluk dağılımı görülmektedir (Ekşi ve Kurt,1999).

Çift Etkili Presleme: Çift etkili preslemede alt ve üst zımba hareketlidir, kalıp ise sabittir. Bu yöntem yükseklikleri bir hayli fazla ve tek kademeli parçaların sıkıştırılmasında kullanılır. Ayrıca ince parçaların imalatı da bu yöntemle gerçekleştirilebilir. Yöntemin özelliği, parça içinde yoğunluk dağılımının homojene yakın olmasıdır.

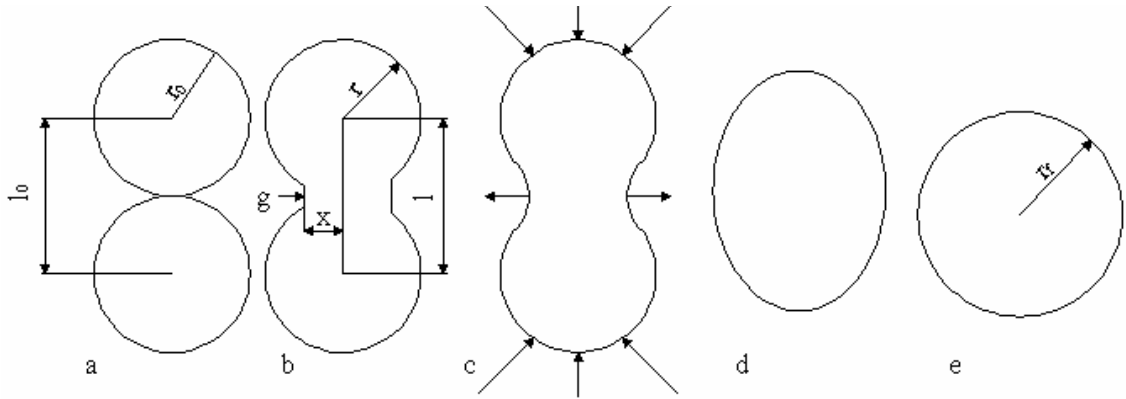
İzostatik Presleme: Bu sistemde sıkıştırma basıncı bir gaz ya da sıvı yardımıyla parçaya her yönden ve eşit olarak uygulanır. Bütün yönlerde eşit yoğunluk, eşit büzülme ve eşit mukavemet sağlanır.

Sıcak Presleme: Bu yöntemde parçanın preslenmesi ve sinterlenmesi birlikte gerçekleştirilir. Bu yöntemle gerek tozlar gerekse daha önce ön şekillendirme yapılmış parçalar preslenebilir (Sağırlı, 1990; Akın, 2006).

4.2.3 Sinterleme

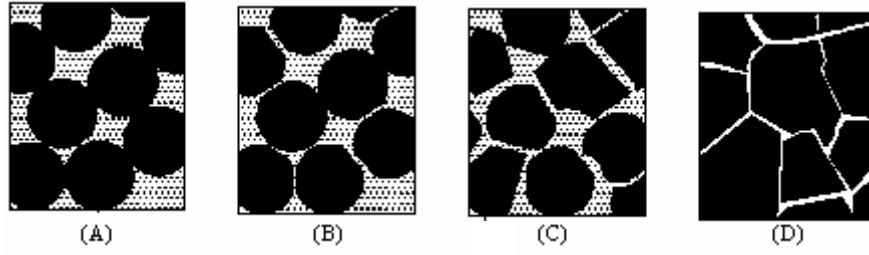
Tüm toz metal ve seramik parçalar, mukavemet kazandırmak amacıyla yüksek sıcaklıklarda sinterlemeye tabi tutulurlar. Sinterleme T/M'nin en önemli üretim süreçlerinden birisidir ve bir ısıtma işlemidir. Bu işlemde ön şekil verilmiş tozların belli bir sıcaklık ve sürede birbirlerine bağlanması, koherant bir kütleye dönüşmesi sağlanır. Ön şekillendirilmiş toz kütlesine en az iki fazlı bir malzeme diye, yani katı ve gözenek diye yaklaşım yapılabilir. Bunların her biri kendi morfolojisine, boyut dağılımına, şekil ve miktarlara sahiptirler

Sinterleme, gözenekli yapıda bir şekil kazandırılmış tozların spesifik yüzey alanının küçülmesi, partikül temas noktalarının büyümesi ve buna bağlı olarak gözenek şeklinin değişmesine ve gözenek hacminin küçülmesine neden olan ısıtma olarak aktive edilmiş malzeme taşınımı olayı olarak tanımlanabilir (Şekil 4.5). Sinterleme ile partikül temas noktaları artmakta ve atomlar ile iyonlar arasında fiziksel bir bağ oluşmaktadır. Bu tür bağ oluşumu, kristal kafes sistemi içerisindeki yüksek dayanımlı atomsal bağlanma ile benzeştir. (Bakkaloğlu, 2000 ; Palacı, 2001)



Şekil 4.5 Sinterleme sırasında meydana eden olayların şematik gösterimi (Palacı, 2001).

Sinterleme sıcaklığı malzemenin ergime sıcaklığının altında seçilirse ‘katı faz sinterlemesi’ adını alır. Bu sinterleme de yüzeysel taşınım, buharlaşma yoğunlaşması, yüzeysel yayınma ve yayınma taşınmasıdır (Şekil 4.6). Hacim taşınımı ise latis yayınması, tane sınırı yayınması ve plastik akıştır. Hacimsel taşınım yoğunlaşmayı yani büzülmeyi gerçekleştirirken yüzeysel taşınım kaynaşmayı sağlayıcı ve tozlar arasındaki bağları kuvvetlendirici etki yapar (Kurnaz, 1999).



Şekil 4.6 Katı hal sinterlemesinin aşamaları (Palacı, 2001).

A:Yapışma B: Başlangıç safhası C:Ara aşama D:Son aşama

Sinterleme sıcaklığı bileşenlerden en az birinin ergime sıcaklığının üzerine alınırsa ‘sıvı faz sinterlemesi’ adı verilir. Bu sinterlemede asıl amaç çok yüksek yoğunluklar elde etmektir (Bakkaloğlu,2000).

4.2.4 Son İşlemler

Sinterleme sonrası isteğe göre şu işlemler yapılabilir: Yapıda oluşan porların doldurulması, yağ emdirme, tekrar presleme ve/veya tekrar sinterleme, yüzey sertleştirme, yüzey kaplama, son işlemler (talaş kaldırma, montaj, ısıl işlem vb.) (Akın, 2006).

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, Al matrisli B₄C takviyeli kompozitler, T/M yöntemi kullanılarak üretilmiştir.

Yöntemde yer alan parametrelerden; kullanılan B₄C tane boyutu ve yüzdesi, presleme basıncı ile sinterleme sıcaklığı değiştirilerek, üretilen numunelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkileri belirlenmiştir.

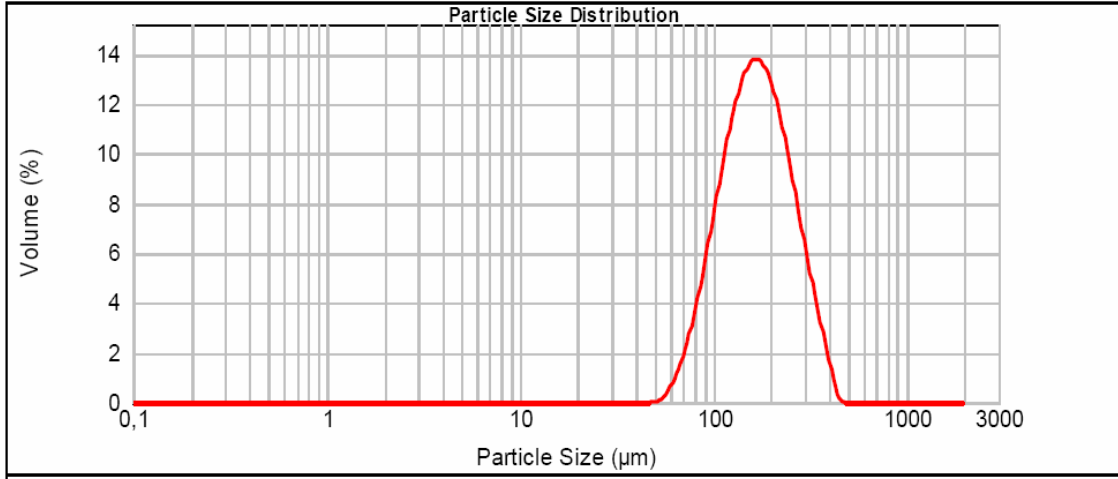
5.1 Kompozit Malzeme Üretimi

5.1.1 Deneyde Kullanılan Malzemeler

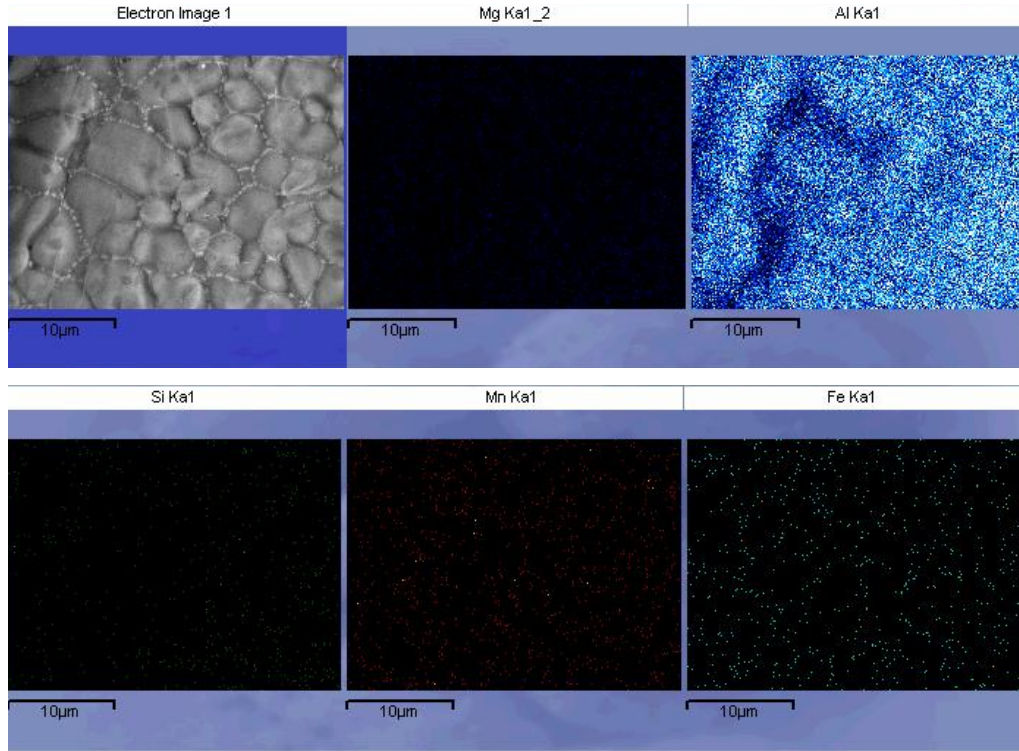
Deneylerde matris malzemesi olarak kullanılan; kimyasal bileşimi Çizelge 5.1’de, partikül-boyut dağılımı (ortalama tane boyutu 180µm) Şekil 5.1’de, X-Ray haritası Şekil 5.2’de verilen ticari saf alüminyum kullanılmıştır (Şekil 5.6).

Çizelge 5.1 Matris malzemesinin kimyasal kompozisyonu (%)

ELEMENT	Al	Mg	Si	Mn	Fe
AĞIRLIKÇA	97.16	0.90	0.61	0.85	0.47

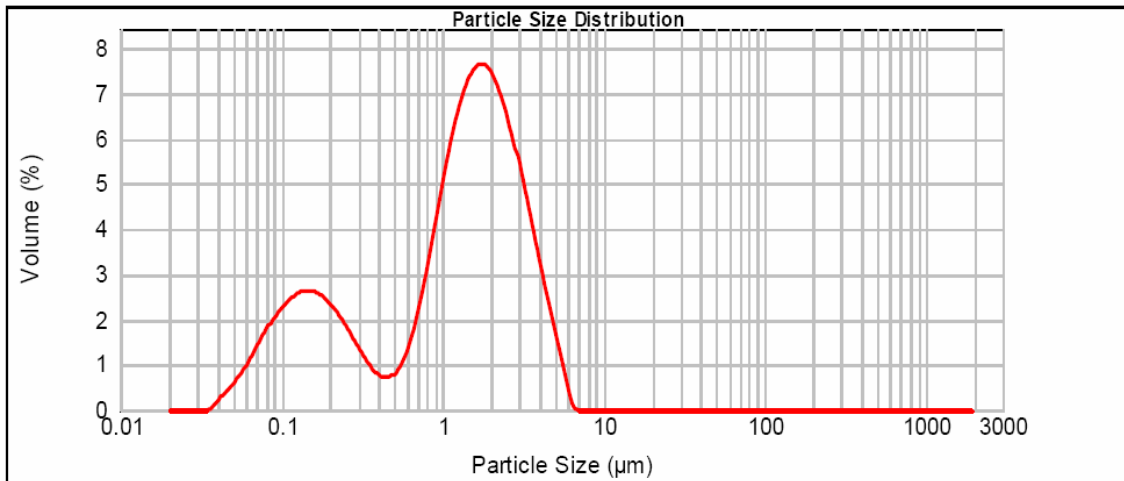


Şekil 5.1 Deneylerde kullanılan Al tozunun partikül-boyut dağılımı

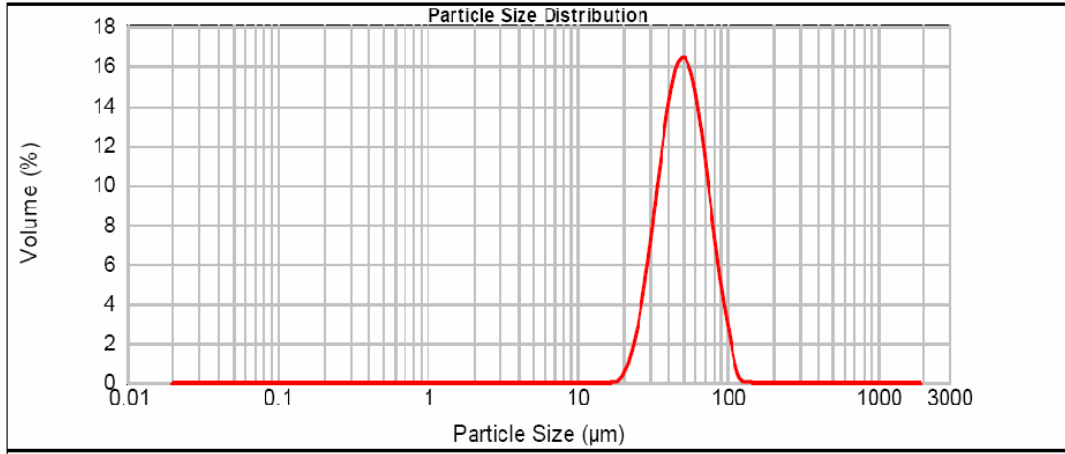


Şekil 5.2 Al tozunun X-Ray Haritası

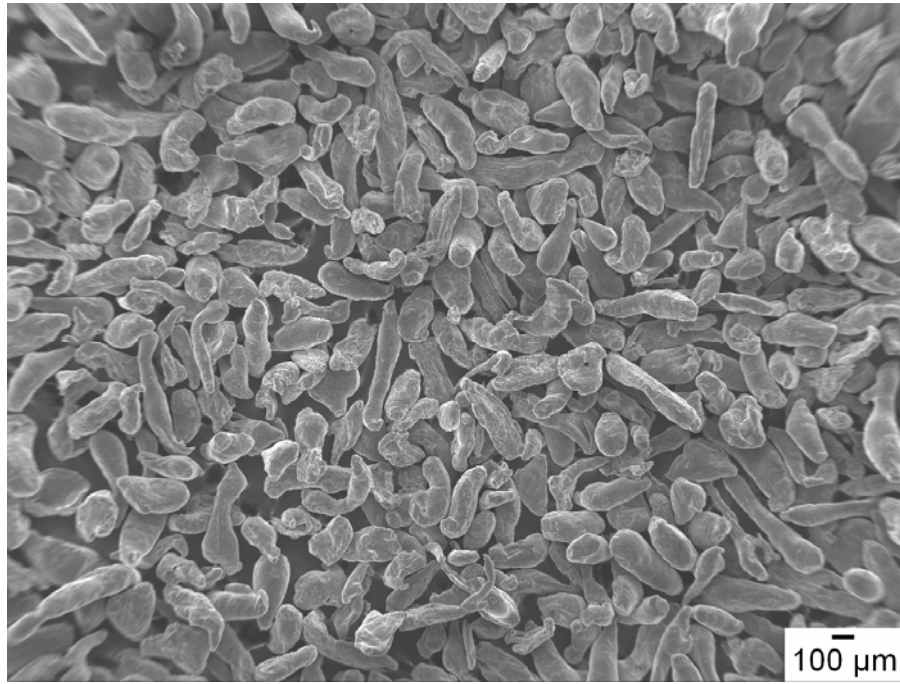
Takviye malzemesi olarak, Alfa Aesar'dan temin edilen, 2 farklı tane boyutuna sahip (<10 ve $22-59\mu\text{m}$) B_4C tozu; bağlayıcı olarak da polietilen glikol kullanılmıştır. B_4C partikül-boyut dağılımları Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'de verilmiştir.



Şekil 5.3 Deneylerde kullanılan $<10 \mu\text{m}$ tane boyutlu B_4C tozunun partikül-boyut dağılımı



Şekil 5.4 Deneylerde kullanılan 22-5μm tane boyutlu B₄C tozunun partikül-boyut dağılımı



Şekil 5.6. Deneylerde kullanılan Al tozunun SEM görüntüsü

5.1.2 Deneylerde Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar

Deneyisel çalışmaların başlangıcında, Al ve B₄C tozlarının tane boyutlarının belirlenebilmesi için tane boyut analizleri yapılmıştır. Al tozunun şekil ve büyüklüğü Jeol JSM-5600 taramalı elektron mikroskopunda (SEM) incelenmiştir.

Ağırlık ölçümleri $\pm 0,001$ g hassasiyete sahip terazide yapılmış ve hazırlanan toz karışımları bilyalı değirmende karıştırılmıştır. Karışım kabı içerisine Al₂O₃ bilya konulmuştur. Toz ve bilya toplamının karıştırma kabının hacminin 2/3'ünü geçmemesine dikkat edilmiştir. Toz karışımında bulunan nem etüvde uçurulmuştur.

Hazırlanan toz, Mohr Federhoff AG universal çekme-basma cihazında preslenerek, silindirik numuneler haline getirilmiştir (Şekil 5.7). Presin maksimum uygulayabileceği yük 10 ton ile sınırlı olup, preste tek eksenle yük uygulanmıştır.



Şekil 5.7 Deney numuneleri

Kompaktlanan tozların bir bölümü, atmosfer kontrollü fırında vakum ortamında diğer bölümü normal atmosfer ortamında ısıtma işlemi fırınında sinterlenmiştir. Metalografik incelemeler için numunelerin hazırlanmasında Streus'tan temin edilen elmas zımpara ve solüsyonlar kullanılmıştır. Sinterlenen numunelerin yoğunlukları piknometre ile ölçülmüştür.

Numunelerin sertlikleri mikro sertlik cihazında ölçülmüştür. Mikroyapılar ise Jeol JSM-5410 LV ve Jeol JSM-5600 taramalı elektron mikroskoplarında (SEM) incelenerek görüntüler alınmıştır. Normal atmosfer sinterlemesinin yapıldığı fırın Şekil 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.8 Sinterlemenin yapıldığı ısıtma işlemi fırını

5.1.3 Deneylerin Yapılışı

Deneysel çalışmalar iki aşamada yürütülmüştür. Birinci aşamada, yapılan ön deneylerden elde edilen sonuçlar değerlendirildikten sonra, bu sonuçlara göre ikinci aşama deneylere geçilmiştir.

5.2 Birinci Aşama Deneylerin Yapılışı

Ağırlıkça Al - %10B₄C (22-59 µm tane boyutlu) tozları bilyalı değirmende karıştırılmıştır. Karışım süresi, literatür bilgileri temel alınarak 5 saat olarak belirlenmiştir. Homojen olarak karışımı sağlanmış tozlar, 1.5 g’lık numuneler halinde 400, 535 ve 640 MPa’da preslenerek silindirik numuneler elde edilmiştir. Sağlıklı sonuçlar elde edebilmek için her gruptan 4’er tane hazırlanmıştır. Preslemede bazı numunelere önce belirli basınçlarda önyüklemeye uygulanmıştır. Numunelerin mukavemetlerinin artırılması ve yapıdaki mevcut porozitenin azaltılması amacıyla sinterleme çalışmaları yapılmıştır. Sinterleme işlemleri 550 °C’de atmosferik koşullarda ve argon atmosferinde gerçekleştirilmiştir. Sinterleme süresi 5 saat olarak seçilmiş ve sinterleme sonrası numuneler fırın içinde soğumaya bırakılmıştır.

Çalışmalar dört grupta yürütülmüştür. İlk iki grup numunelerde, tozlara presleme öncesinde kurutma uygulanmamış, 3. ve 4. gruba ise 150 °C’de iki saat kurutma yapılmıştır. 1 ve 3. gruptaki numuneler argon atmosferinde sinterlenirken, 2 ve 4. gruptakiler açık atmosferde sinterlenmiştir. Her bir gruptaki numuneye 4 farklı presleme koşulu uygulanmıştır. Uygulanan basınç koşulları Çizelge 5.2’de, deneylere ait akım şeması ise Şekil 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.2 İlk aşamada uygulanan presleme koşulları

Grup	Önyüklem Basıncı ve Bekleme Süresi	Uygulanan Basınç-I Bekleme Süresi	Uygulanan Basınç-II Bekleme Süresi
1	40 MPa	240 MPa da 2 dakika	400 MPa da 2 dakika
2	160 MPa	535 MPa da 2 dakika.	-
3	Önyüklem yok	535 MPa da 2 dakika	-
4	Önyüklem yok	640 MPa da 2 dakika	-

Sertlik ölçümlerinde, vickers sertlik cihazı kullanılarak, 10 kp yük altında her bir numunenin farklı bölgelerinden 6 adet ölçüm yapılarak ortalamaları alınmıştır.

Yoğunluk verilerinin elde edilmesinde, (5.1) nolu formülden her bir kombinasyonun kompozit parça yoğunluğu hesaplanmıştır. Her bir kombinasyondan ikişer adet preslenip sinterlenen numunelerin, sinterleme sonrası yoğunlukları piknometre ile ölçülmüştür. Ölçülen kompozit numuneler için sinterleme sonrası parça yoğunluğu bulunmuş ve bunların ortalaması, ortalama sinterleme sonrası parça yoğunluğunu vermiştir. Sinterleme sonrası yoğunluğun, kompozit parça yoğunluğuna bölünmesiyle teorik yoğunluk (%) belirlenmiştir.

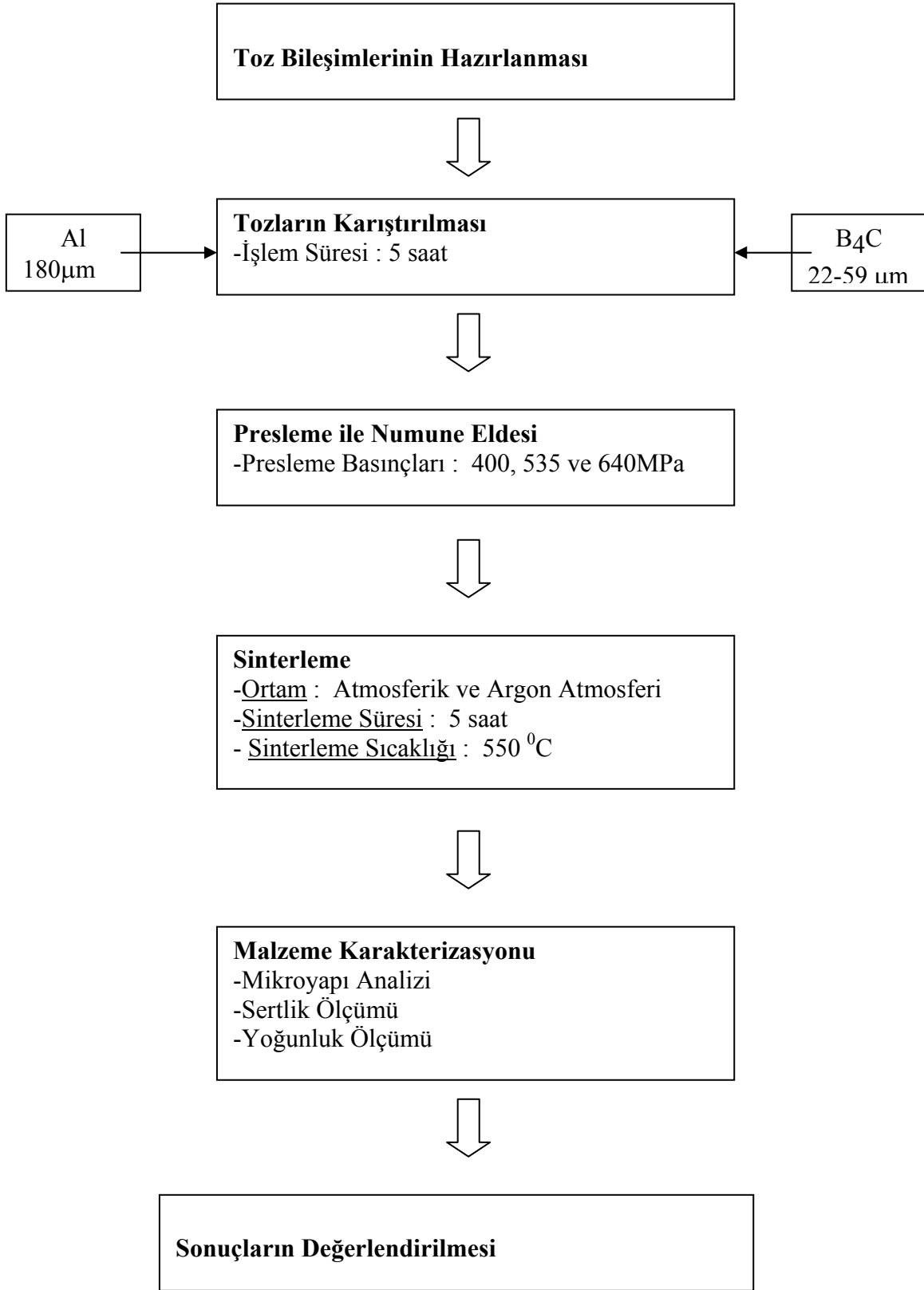
$$\rho_{kar} = [(\%W)_1 * \rho_1] + [(\%W)_2 * \rho_2] + + [(\%W)_n * \rho_n] \quad (5.1)$$

Burada;

ρ_{kar} : toz karışımının yoğunluğu,

$(\%W)_n$: her bir bileşenin karışım içindeki ağırlık yüzdesi,

ρ_n : her bir bileşenin yoğunluğudur.



Şekil 5.9 Birinci aşamadaki deneylerde üretilen kompozit numunelere ait akım şeması

5.3 Birinci Aşamadaki Deneylerin Sonuçları ve Değerlendirilmesi

5.3.1 Sertlik Sonuçlarının İncelenmesi

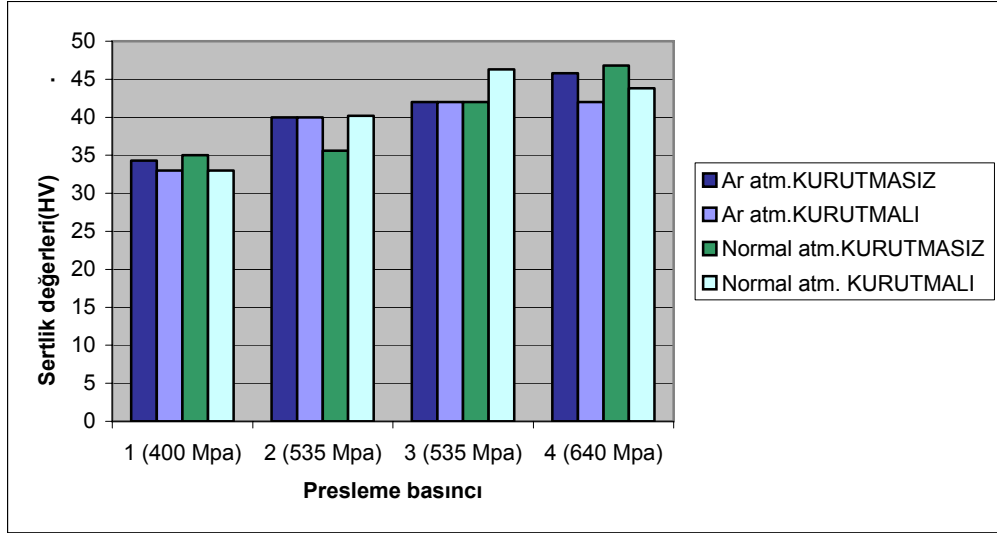
Birinci aşamadaki deneylerde; 400, 535 ve 640 MPa'lık presleme sonrasında atmosferik ve argon atmosferinde 550°C'de 5 saat süreyle sinterlenen numunelerin sertlik ölçüm sonuçları Çizelge 5.3'de verilmiştir. Presleme sonrası elde edilen numunede tozların iyi kompaktlanabildiği gözlemlendiği için bağlayıcı kullanımına gerek duyulmamıştır.

Gerek argon atmosferinde gerekse atmosferik koşullarda sinterlenen kompozitlerde preslenmeden önce yapılan kurutmanın önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

En uygun presleme basıncını bulmak amacıyla; ön kurutma yapılan ve yapılmayan matris ve takviye toz karışımına, Çizelge 5.2'de verilen farklı pres koşulları uygulanmıştır. Mikroyapılarda bir değişiklik görülmemesine karşılık, sertlik değerleri incelendiğinde, 640 MPa basınçta 2 dk. beklenerek yapılan preslemelerden, sertlik değerleri açısından en iyi sonuçların alındığı görülmüştür (Şekil 5.10).

Çizelge 5.3 Üretim koşullarına karşılık gelen sertlik değerleri

Grup	Sıra	Kurutma	Presleme Basıncı (MPa)	Presleme Koşulları	Sinter Atmosferi	Sertlik (HV)
1	1	Yok	400	40 MPa'da önyükleme, 240 MPa'da 2dk; 400 MPa'da 2 dk. bekleme	Argon	34,3
	2	Yok	535	160 MPa'da önyükleme, 535 MPa'da 2dk. bekleme	Argon	40
	3	Yok	535	535 MPa'da 2 dk. bekleme	Argon	42
	4	Yok	640	640 MPa'da 2 dk. bekleme	Argon	45,8
2	5	Yok	400	40 MPa'da önyükleme, 240 MPa'da 2dk; 400 MPa'da 2 dk. bekleme	Açık	35
	6	Yok	535	160 MPa'da önyükleme, 535 MPa'da 2dk. bekleme	Açık	35,6
	7	Yok	535	535 MPa'da 2 dk. bekleme	Açık	42
	8	Yok	640	640 MPa'da 2 dk. bekleme	Açık	46,8
3	9	Var	400	40 MPa'da önyükleme, 240 MPa'da 2dk; 400 MPa'da 2 dk. bekleme	Argon	33
	10	Var	535	160 MPa'da önyükleme, 535 MPa'da 2dk. bekleme	Argon	40
	11	Var	535	535 MPa'da 2 dk. bekleme	Argon	42
	12	Var	640	640 MPa'da 2 dk. bekleme	Argon	42
4	13	Var	400	160 MPa'da önyükleme, 535 MPa'da 2dk. bekleme	Açık	33
	14	Var	535	160 MPa'da yük boşaltma, 535 MPa'da 1.5 dk. bekleme	Açık	40,2
	15	Var	535	535 MPa'da 2 dk. bekleme	Açık	46,3
	16	Var	640	640 MPa'da 2 dk. bekleme	Açık	43,8



Şekil 5.10 Presleme basıncının kompozit numunenin sertliğine etkisi

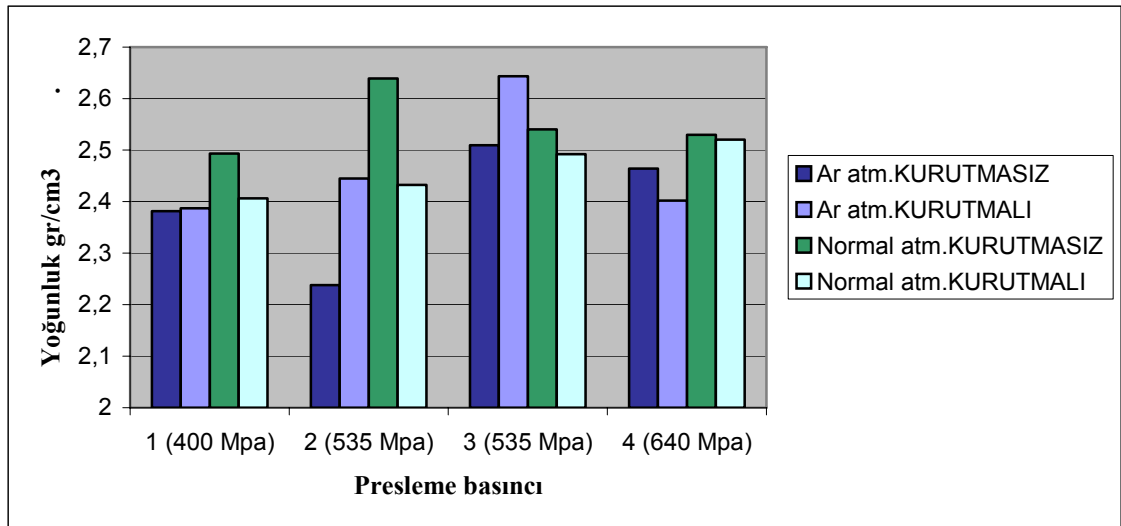
Atmosferik ortamda yapılan sinterlemenin, argon atmosferinde yapılan sinterlemeye oranla daha fazla sertlik artışı sağladığı tespit edilmiştir. Cihazdaki mikroskop görüntüsünden tozların homojen dağıldığı görülmüştür.

5.3.2 Yoğunluk Sonuçlarının İncelenmesi

Birinci aşama deneylerdeki numunelerin yoğunluk değerleri Çizelge 5.4’de ki gibi bulunmuştur. Sonuçlar Şekil 5.11’de grafik halinde görülmektedir.

Çizelge 5.4 Yoğunluk değerleri (g/cm³)

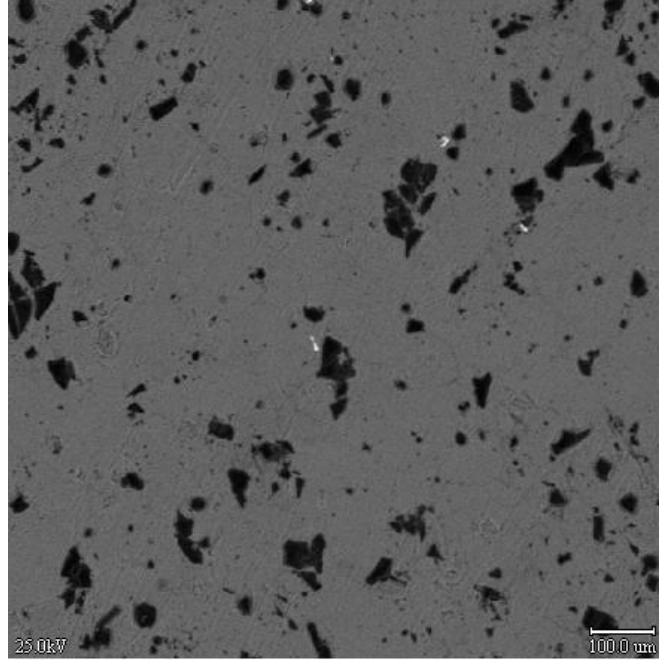
	Presleme basıncı(MPa)	Al(%)	B ₄ C (%)	Ham yoğunluk(gr/cm ³)	Teorik yoğunluk(%)	Gerçek yoğunluk(gr/cm ³)
Kurutma yapılan/ Normal atm.de sinterlenen	(1) 400 MPa (önyüklemeli)	90	10	2,681	89,76	2,4065
	(2) 535 MPa (önyüklemeli)	90	10	2,681	90,73	2,4324
	(3) 535 MPa	90	10	2,681	92,95	2,4918
	(4) 640 Mpa	90	10	2,681	94,02	2,5207
Kurutma yapılmayan/ Normal atm.de sinterlenen	(1) 400 MPa (önyüklemeli)	90	10	2,681	93	2,4933
	(2) 535 MPa (önyüklemeli)	90	10	2,681	98,43	2,639
	(3) 535 MPa	90	10	2,681	94,76	2,5405
	(4) 640 Mpa	90	10	2,681	94,37	2,5301
Kurutma yapılan/ Argon atm.de sinterlenen	(1) 400 MPa (önyüklemeli)	90	10	2,681	89,03	2,3868
	(2) 535 MPa (önyüklemeli)	90	10	2,681	91,2	2,4449
	(3) 535 MPa	90	10	2,681	98,6	2,6435
	(4) 640 MPa	90	10	2,681	89,6	2,4021
Kurutma yapılmayan/ Argon atm.de sinterlenen	(1) 400 MPa (önyüklemeli)	90	10	2,681	88,82	2,3811
	(2) 535 MPa (önyüklemeli)	90	10	2,681	83,48	2,238
	(3) 535 MPa	90	10	2,681	93,6	2,5095
	(4) 640 MPa	90	10	2,681	91,9	2,4637



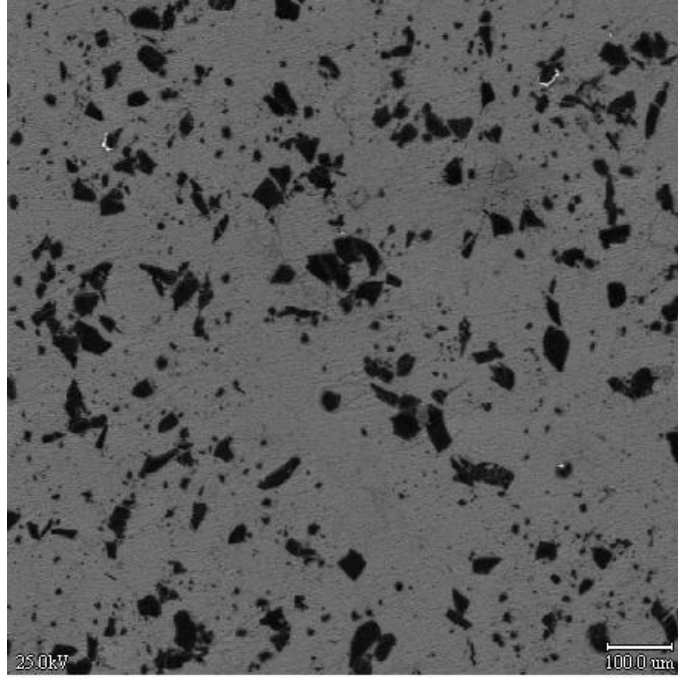
Şekil 5.11 Numunelerin yoğunluk değerleri

5.3.3 Mikroyapı Görüntülerinin İncelenmesi

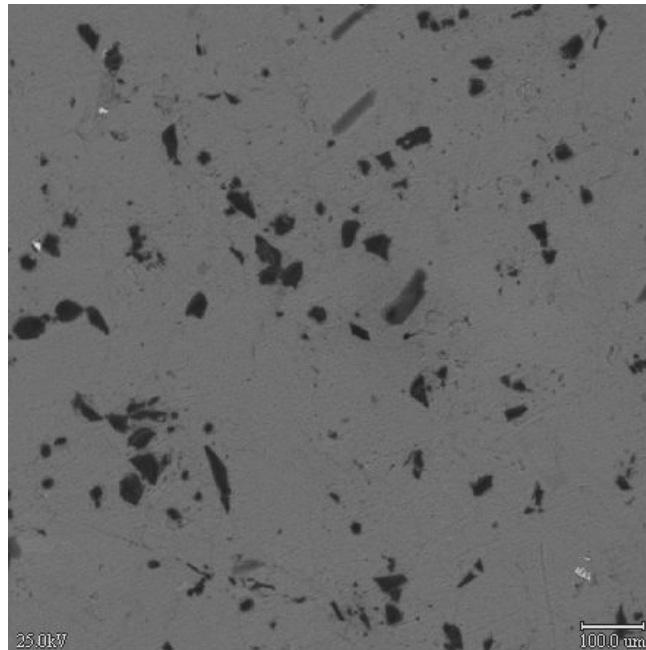
T/M’de ana problemlerden biri homojeniteyi sağlayamamaktır. Toz karışım süresi buna etkendir. Deneylerde karıştırma süresi, 5 saat alınmıştır. Gerek yapılan optik mikroskop incelemelerinde gerekse alınan SEM görüntülerinde; 22-59 μm tane boyutu ve ağı. %10B₄C içeren numunelerde takviye malzemesinin yapıda homojen bir şekilde dağıldığı görülmüştür (Şekil 5.12-5.18).



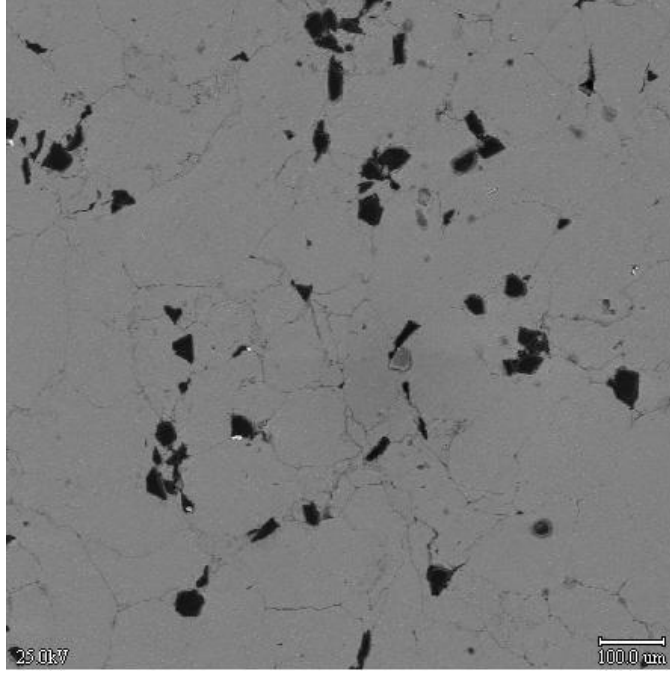
Şekil 5.12 Kurutma uygulanmayan, 400MPa’da preslenen, normal atmosferde sinterlenen numunenin (22-59 μm B₄C tane boyut, ağı. %10 takviye oranı) x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.



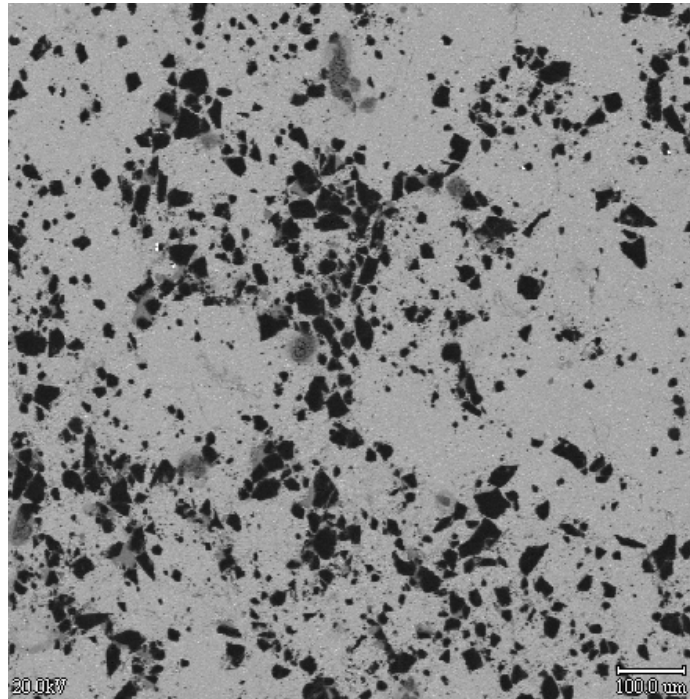
Şekil 5.13 Kurutma uygulanmayan, 160 MPa’da önyükleme yapıp 535 MPa’da preslenen, normal atmosferde sinterlenen numunenin (22-59µm B₄C tane boyut, ağ. %10 takviye oranı) x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.



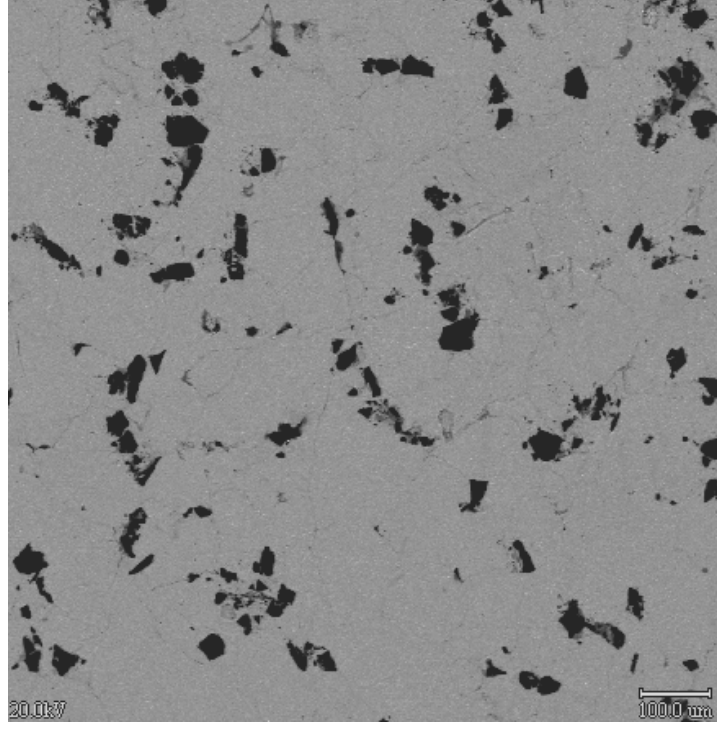
Şekil 5.14 Kurutma uygulanmayan, 535 MPa’da preslenen, normal atmosferde sinterlenen numunenin (22-59µm B₄C tane boyut, ağ. %10 takviye oranı) x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.



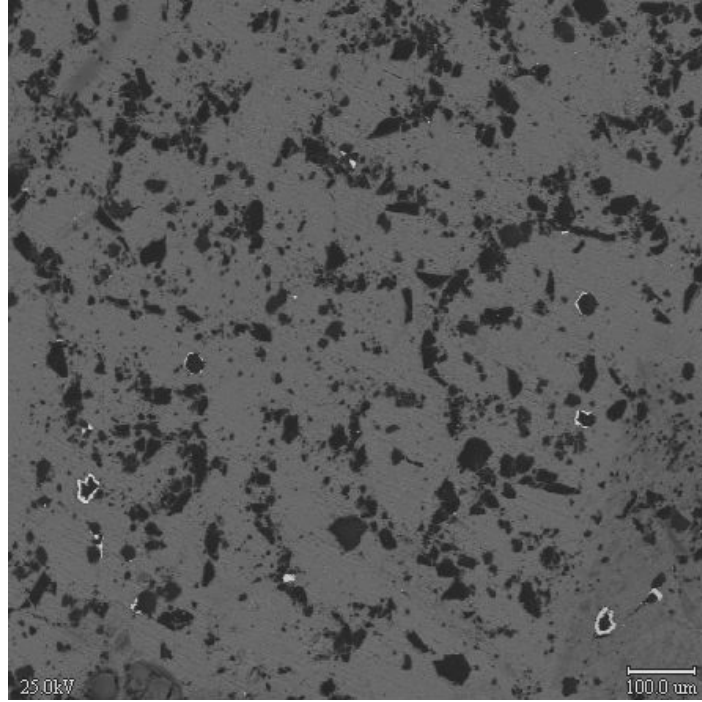
Şekil 5.15 Kurutma uygulanmayan, 640 MPa’da preslenen, normal atmosferde sinterlenen numunenin (22-59µm B₄C tane boyutu, ağı. %10 takviye oranı) x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.



Şekil 5.16 Kurutma uygulanmayan, 640 MPa’da preslenen, argon atmosferinde sinterlenen numunenin (22-59µm B₄C tane boyutu, ağı. %10 takviye oranı) x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.



Şekil 5.17 Kurutma uygulanan, 640 MPa'da preslenen, argon atmosferinde sinterlenen numunenin (22-59µm B₄C tane boyut, ağı. %10 takviye oranı) x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.



Şekil 5.18 Kurutma uygulanan, 640 MPa'da preslenen, normal atmosferde sinterlenen numunenin (22-59µm B₄C tane boyut, ağı. %10 takviye oranı) x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.

Yapılan SEM incelemelerinde, ilk grup deneylerde elde edilen 4 grup numunede de partiküllerin matris içinde homojen dağılım gösterdikleri görülmüştür. İstenilen homojen dağılımın sağlandığı için toz karıştırma süresinin (5saat) yeterli olduğu görülmüş, ikinci grup numunelerde de karışım süresi aynı seçilmiştir. Matriste ya da B_4C 'lerde herhangi bir çatlığa rastlanmamıştır.

Alınan sonuçlara göre, en uygun değerler kurutma yapılmayan, 640 MPa basınçta preslenen ve normal atmosferde sinterlenen numunelerden alınmıştır. Bu sonuçlar göz önünde bulundurularak ikinci aşama deneylerde; farklı B_4C tane boyutu ve oranı, presleme basıncı ve sinterleme sıcaklıkları uygulamaya karar verilmiştir. Sinterleme atmosferi olarak normal atmosferde sinterleme yapılmıştır.

5.4 İkinci Aşama Deneylerin Yapılışı

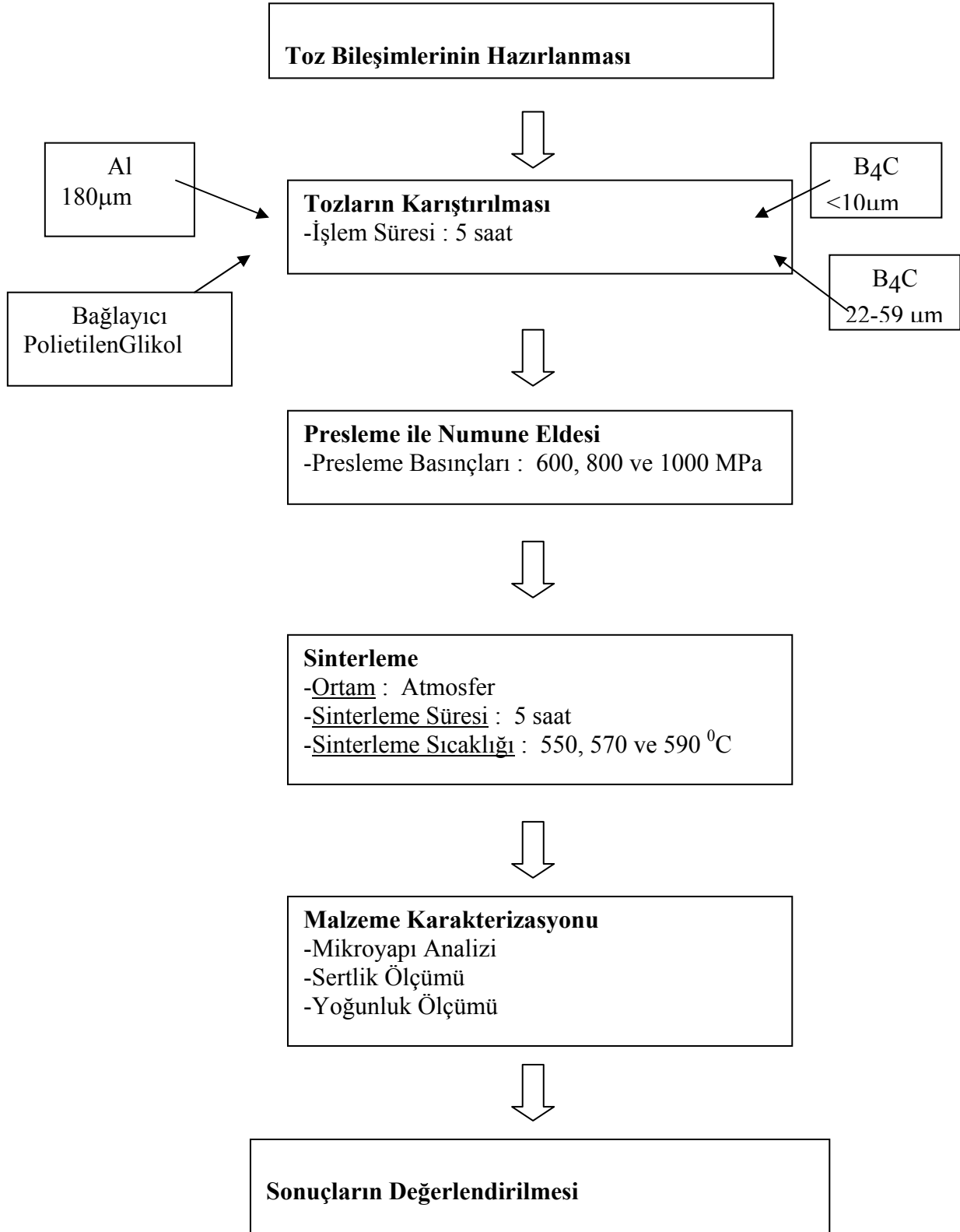
Yapılan ikinci aşama deneylerde, iki değişik boyutta ($<10\ \mu m$ ve $22-59\ \mu m$) B_4C tozu kullanılmıştır. Al tozu içerisine ağırlıkça %10, 20 ve 25 oranlarında B_4C ilave edilerek Çizelge 5.5'de verilen 6 grup karışım tozları hazırlanmıştır. Presleme esnasında tozlar iyi kompaktlanamayıp dağıldığı için, bağlayıcı olarak ağırlıkça %1 oranında polietilen glikol kullanılmıştır. Hazırlanan toz karışımlar bilyalı değirmende 5 saat karıştırılmıştır. Karıştırılan tozlar, 1.5 g'lık numuneler halinde Mohr Federaf universal çekme cihazında 600, 800 ve 1000 MPa olmak üzere 3 farklı presleme basıncında preslenmiştir. Her farklı özellikteki numunelerden ikişer adet numune hazırlanmıştır. 550, 570 ve $590^{\circ}C$ olmak üzere 3 farklı sıcaklıkta atmosferik ortamda sinterlenmiştir. Karşılaştırma amacıyla da takviyesiz Al numuneler 600, 800 ve 1000 MPa basınçlarda preslenerek hazırlanmıştır. Deneylere ait akım şeması Şekil 5.19'da verilmiştir.

Çizelge 5.5 Numunelerin Üretim Koşulları

Grup	% B ₄ C	B ₄ C Tane boyutu(μm)	Basınç(MPa)
1	10	22-59	600
	10	22-59	800
	10	22-59	1000
2	10	<10	600
	10	<10	800
	10	<10	1000
3	20	22-59	600
	20	22-59	800
	20	22-59	1000
4	20	<10	600
	20	<10	800
	20	<10	1000
5	25	22-59	600
	25	22-59	800
	25	22-59	1000
6	25	<10	600
	25	<10	800
	25	<10	1000

Sertlik ölçümlerinde, mikro sertlik cihazı kullanılarak, 0,1 kg yük altında her bir numunenin farklı bölgelerinden 6 adet ölçüm yapılarak ortalamaları alınmıştır.

Yoğunluk verilerinin elde edilmesinde, ilk aşama deneylerinde yapıldığı gibi (5.1) nolu formülden her bir kombinasyonun kompozit parça yoğunluğu hesaplanmıştır. Her bir kombinasyondan ikişer adet preslenip sinterlenen numunelerin, sinterleme sonrası yoğunlukları piknometre ile ölçülmüştür. Ölçülen kompozit numuneler için sinterleme sonrası parça yoğunluğu bulunmuş ve bunların ortalaması, ortalama sinterleme sonrası parça yoğunluğunu vermiştir. Sinterleme sonrası yoğunluğun, kompozit parça yoğunluğuna bölünmesiyle teorik yoğunluk (%) belirlenmiştir.



Şekil 5.19 İkinci Grupta Üretilen Kompozit Numunelere Ait Akım Şeması

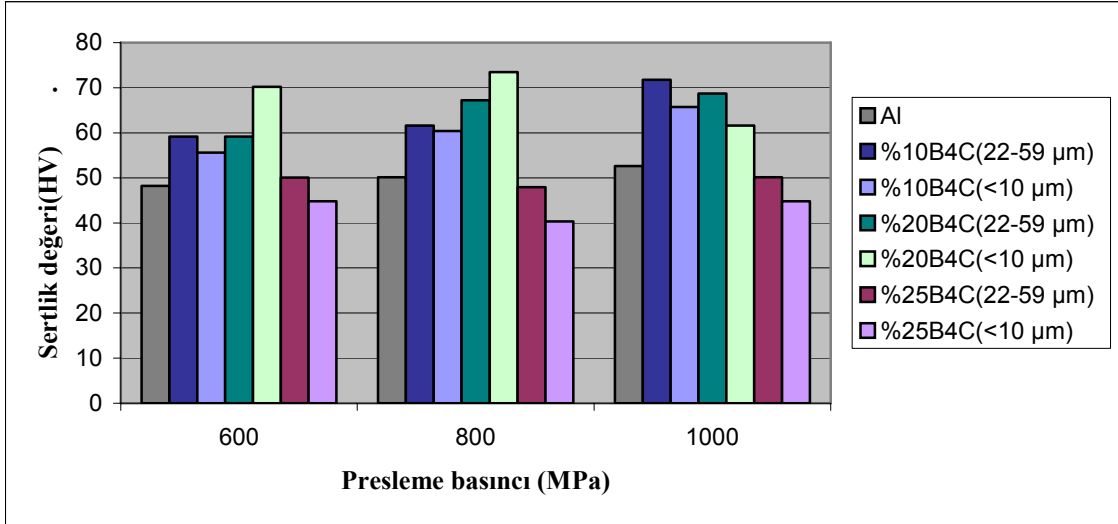
5.5 İkinci Aşama Deneylerin Sonuçları ve Değerlendirilmesi

5.5.1 Sertlik Sonuçlarının İncelenmesi

İkinci aşama deneylerde üretilen numunelerin sertlik ölçüm sonuçları Çizelge 5.6'da verilmiştir. Parçacık ilavesi nedeni ile matrisin plastik deformasyon yeteneği azaldığı için, matriste bir sertlik artışı tespit edilmiştir. Yumuşak bir matrisle çevrili olan seramik parçacıklarının yüksek sertliği yüzünden, kompozit malzemelerin sertliğinin Al matristen daha yüksek olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.6 Üretim koşullarına karşılık gelen sertlik değerleri

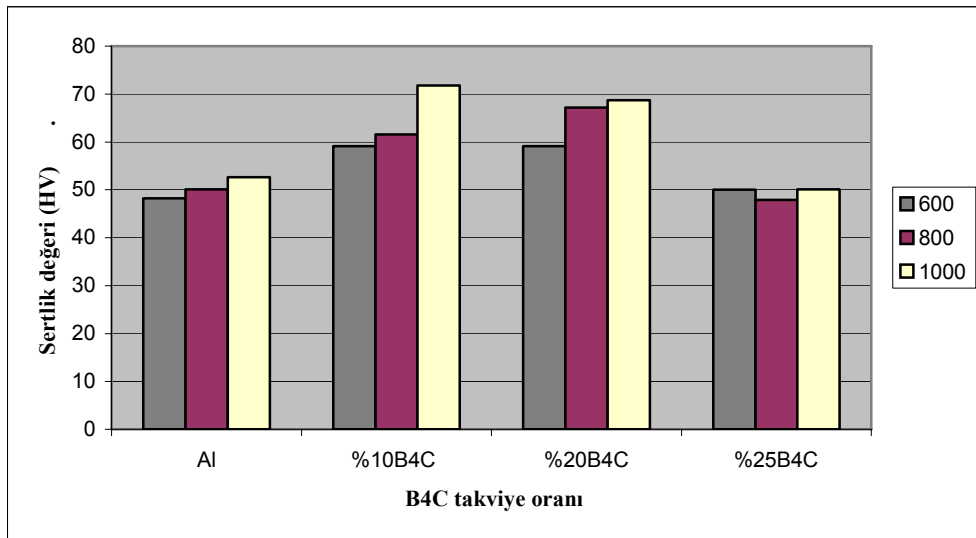
Grup	% B ₄ C	B ₄ C Tane boyutu(μ m)	Basınç(MPa)	Mikro sertlik
1	10	22-59	600	59,1
	10	22-59	800	61,6
	10	22-59	1000	71,8
2	10	<10	600	55,6
	10	<10	800	60,4
	10	<10	1000	65,7
3	20	22-59	600	59,1
	20	22-59	800	67,2
	20	22-59	1000	68,7
4	20	<10	600	70,2
	20	<10	800	73,5
	20	<10	1000	61,6
5	25	22-59	600	50,01
	25	22-59	800	47,9
	25	22-59	1000	50,1
6	25	<10	600	44,8
	25	<10	800	40,33
	25	<10	1000	44,8



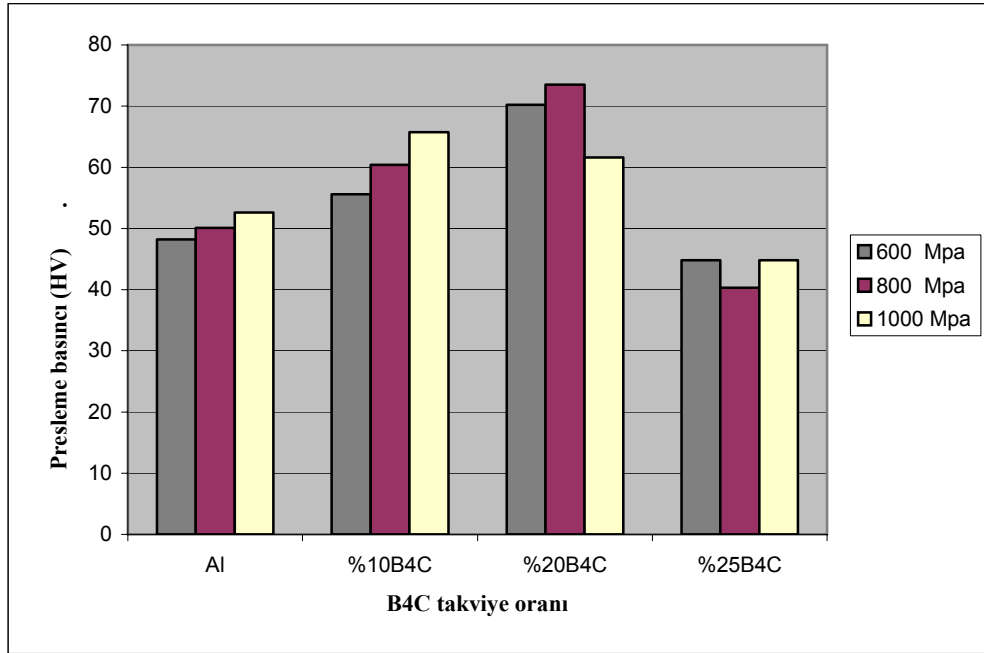
Şekil 5.20 Uygulanan tüm koşullara göre bulunan mikrosertlik değerleri

Sertlik sonuçlarında görüldüğü gibi, <10 μ m tane boyutuna sahip numunelerin 22-59 μ m tane boyutuna sahip numunelere göre daha fazla sertlik sağlaması, bunun parçacık alanına bağlı olduğunu gösterir.

Basıncın artmasıyla birlikte sertlik artmış fakat 800MPa'dan sonra azalmıştır. 800 MPa'a kadar görülen sertlik artışı, plastik deformasyondan kaynaklanmaktadır. Fakat 800 MPa'dan itibaren başlayan aşırı plastik deformasyondan kaynaklanan bir pekleşme ile mikrosertlik düşmektedir.



Şekil 5.21 B₄C (22-59 μ m) takviye oranının ve basıncın sertliğe etkisi.

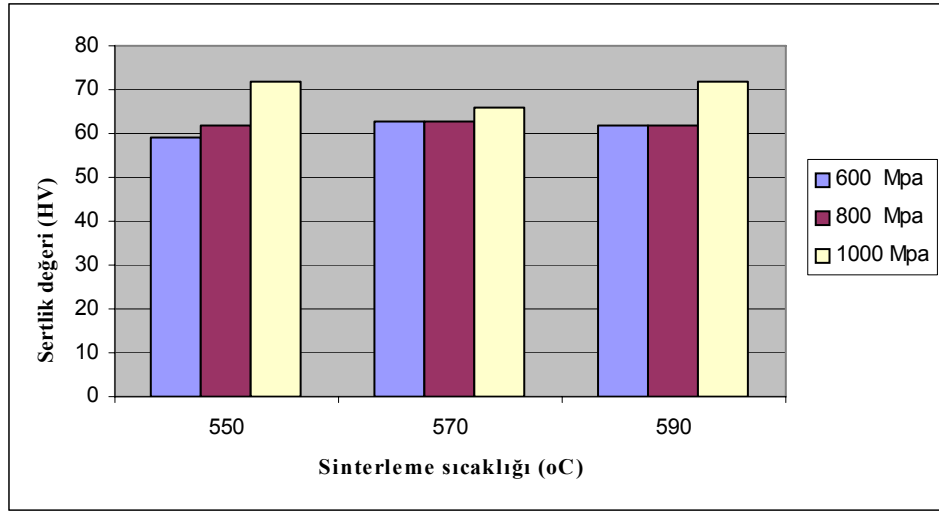


Şekil 5.22 B₄C (<10 µm) takviye oranının ve basıncın numune sertliğine etkisi

Grafiklerde de (Şekil 5.21 ve Şekil 5.22) görüldüğü gibi kompozit numunedeki takviye oranı arttıkça, sertlik artmaktadır. Fakat %25 B₄C içeren numunelerin bir kısmı presleme sırasında ve metalografik çalışmalarda dağılmıştır. Diğer numunelerin sertlik ölçümleri ise %10 ve %20 B₄C içeren numunelerin sertliğinden bile daha düşük çıkmıştır. Artan seramik faz içeriğinin, bağlanma ve reaksiyon kabiliyetinin zayıflamasına sebep olduğu düşünülmektedir..

5.5.1.1 Farklı Sinterleme Sıcaklıklarının Sertliğe Etkisi

B₄C'ün içeriği arttıkça kompozitin yüksek sinterleme sıcaklıklarında özelliklerinin, aynı zamanda sertliğinin de arttığı görülür. Artan sinterleme sıcaklığı dolaylı olarak sinterleme yoğunluğunu da arttırdığı görülür. Şekil 5.23'de basınca bağlı olarak, sıcaklık arttıkça sertlikte artışın olduğu görülmektedir.



Şekil 5.23 Al-%10 B₄C (22-59µm) numunesinde; presleme basıncı ve sinterleme sıcaklığının sertliğe etkisi

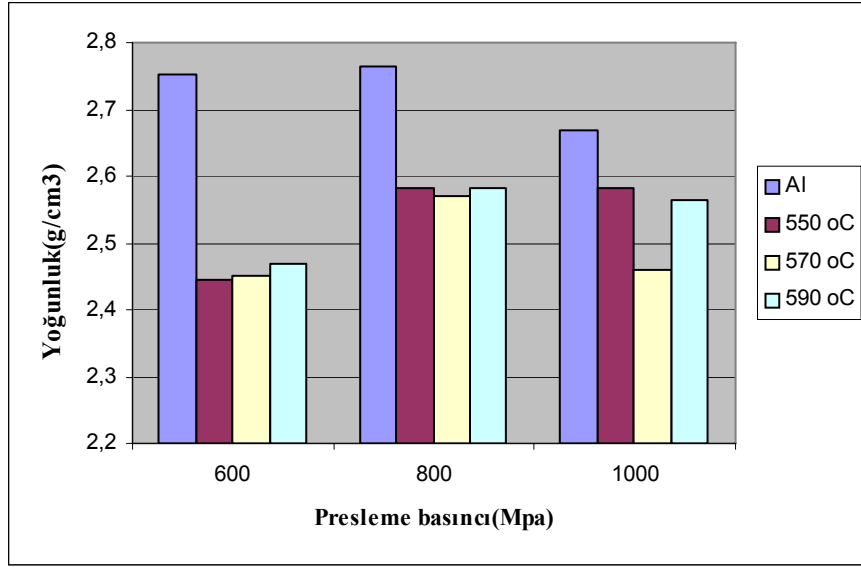
5.5.2 Yoğunluk Sonuçlarının İncelenmesi

Çizelge 5.7 Kompozit numunelerinin sinterleme sonrası yoğunluk değerleri

Sinterleme sıcaklığı(°C)	Presleme basıncı(Mpa)	Al(%)	B ₄ C (%)	Ham yoğunluk(gr/cm ³)	Teorik yoğunluk(%)	Gerçek yoğunluk(gr/cm ³)
550	600	90	10	2,681	91,12	2,4447
	800	90	10	2,681	96,32	2,5824
	1000	90	10	2,681	96,31	2,5822
570	600	90	10	2,681	91,41	2,4508
	800	90	10	2,681	95,9	2,5712
	1000	90	10	2,681	91,78	2,4607
590	600	90	10	2,681	92,11	2,4697
	800	90	10	2,681	96,36	2,5835
	1000	90	10	2,681	95,66	2,5649

Sinterleme sonrası elde edilen numunelerin yoğunluk ölçüm sonuçları Çizelge 5.7’de verilmiştir. Sonuçlara göre, presleme basıncı ve sinterleme sıcaklığı arttıkça, gerçek parça yoğunluklarında ve teorik yoğunluklarda artma görülmüştür. Sinterleme süresinin sabit olduğu göz önüne alınarak yoğunluğun artması basıncın ve sıcaklığın artmasına bağlıdır.

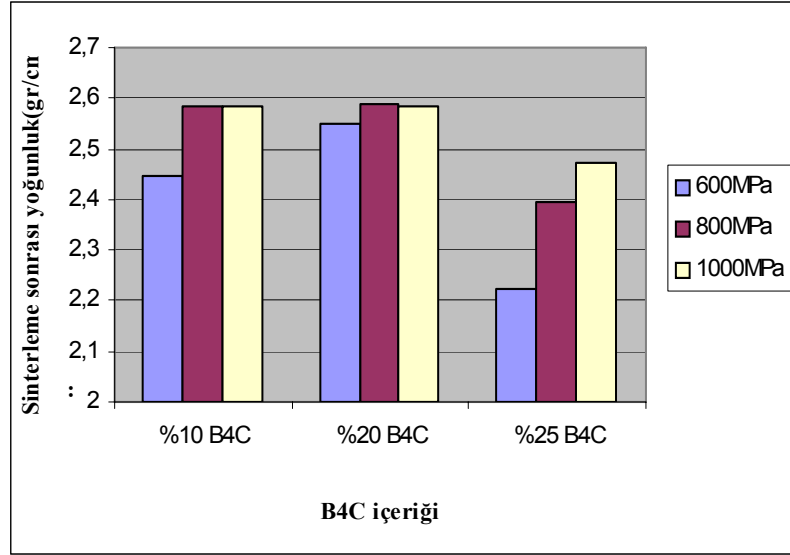
Fakat 800 MPa'dan daha yukarılarda basınç uygulanırsa yoğunluk ve mekanik özelliklerin düştüğü göz önüne alınırsa sinterlenen numunelerin yoğunluğunu daha fazla arttırmak için sinterleme sıcaklığını artırmak gerekir. Bu da belli koşullar altında ekonomikliğe bağlıdır. Ancak burada dikkat edilmesi gereken nokta; sıcaklığın yükseltilmesi ile sıvı fazın oluşması, T/M' nin avantajlarını ortadan kaldırıp ara yüzeyde istenmeyen reaksiyonların oluşmasına neden olabilmektedir.



Şekil 5.24 Farklı sinterleme sıcaklıkları ve presleme basınçlarının yoğunluğa etkisi

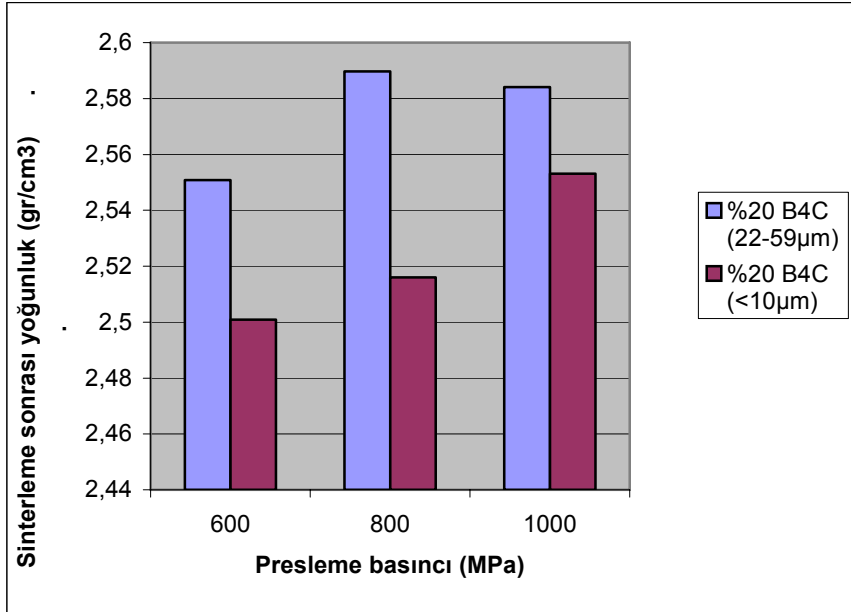
Tozlar kalıba dolduruldukları zaman belirli bir yoğunluk aldığı için basınç arttıkça yoğunluk da artar veya alternatif olarak gözeneklilik azalır Belirli bir basınçtan sonra da kırılkan sert fazdan dolayı yoğunluk azalmaktadır.

B₄C içeriği arttıkça sinterleme sonrası yoğunluklarda artma görülmüştür. Ancak B₄C içeriği %25'e arttırıldığında, yapıda porozite arttığından sinterleme sonrası yoğunluklarda düşme görülmüştür (Şekil 5.25)

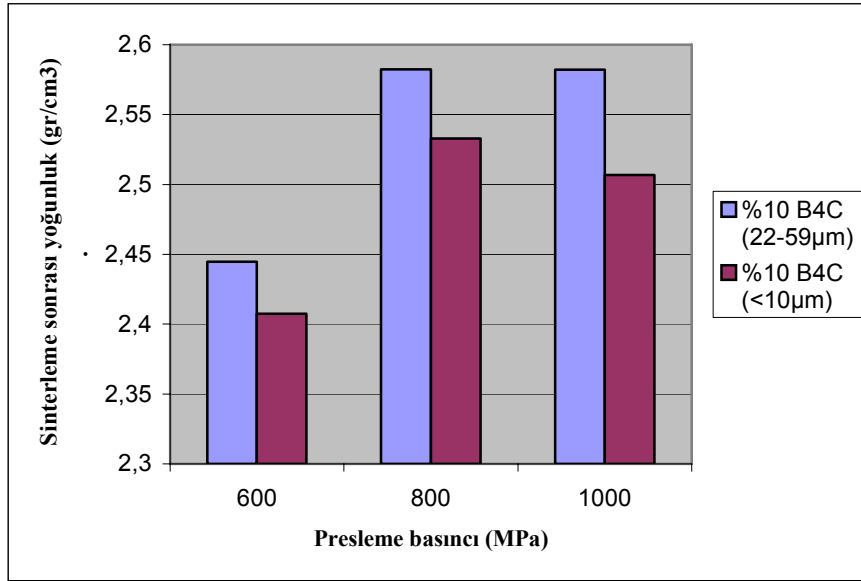


Şekil 5.25 Farklı B₄C (22-59µm) içeriklerine ve presleme basınçlarına sahip kompozit numunelerinin yoğunluk değişimi.

B₄C tane boyutu <10 µm olan numunelerde B₄C oranının artmasıyla, sinterleme sonrası yoğunluklarda belirgin bir düşüş gözlenmiştir. Bunun nedeninin, yapıdaki B₄C'nin homojen dağılmayıp topaklanması ve bundan dolayı gözenekli bir yapının olmasına sebep olduğu düşünülmektedir(Şekil 5.26 ve Şekil 5.27).



Şekil 5.26 Takviye oranı %20 olan, 600, 800 ve 1000 MPa basınçlarda preslenen, 550°C'de 5 saat sinterlenen kompozit numunelerinde, B₄C tane boyutunun sinterleme sonrası yoğunluğa etkisi

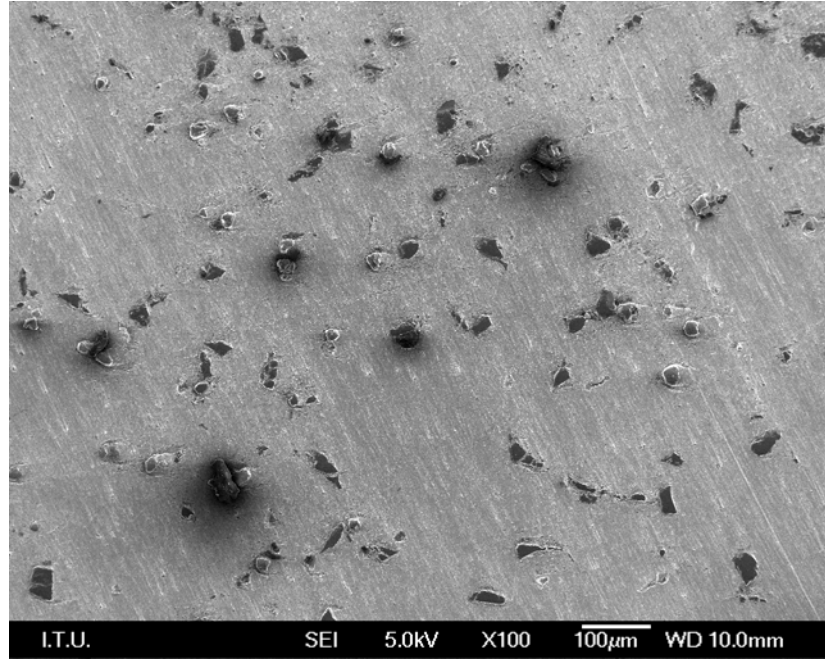


Şekil 5.27 Takviye oranı %10 olan, 600, 800 ve 1000 MPa basınçlarda preslenen, 550°C’de 5 saat sinterlenen kompozit numunelerinde, B₄C tane boyutunun sinterleme sonrası yoğunluğa etkisi

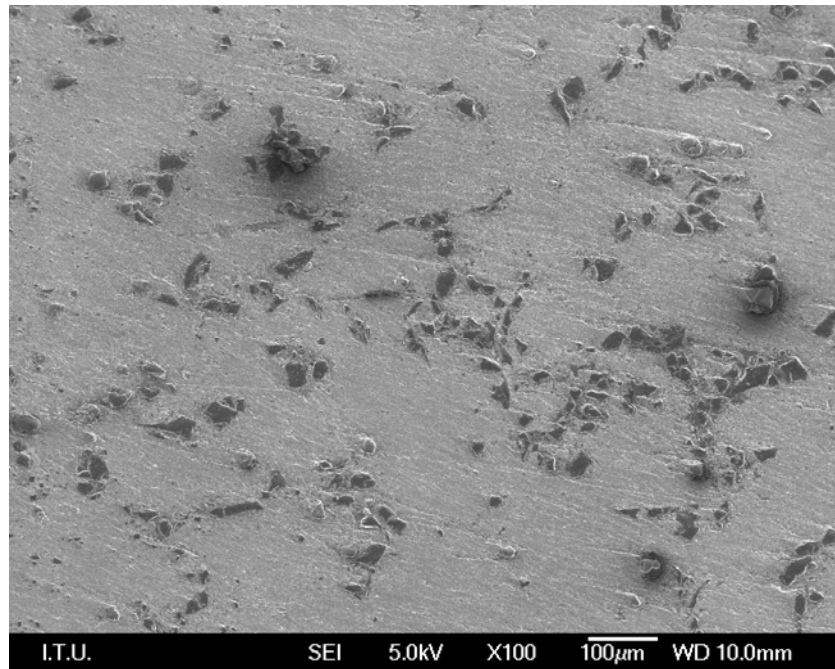
5.5.3 Mikroyapıların İncelenmesi

İkinci grup deney numunelerinin mikroyapısı incelendiğinde, B₄C tane boyutunun 22-59 µm olduğu numunelerde homojen bir dağılım görülmüştür. <10µm tane boyutuna sahip B₄C’lerin kullanıldığı numunelerde ise dağılım homojen değildir, topaklanmalar vardır. Topaklanmalar yoğun olarak yapıya dağılmıştır. B₄C takviye oranının %25 olduğu numuneler ise, her iki takviye boyutu için (22-59 µm ve <10µm) oldukça poroz bir yapıya sahip olduğu görülmüştür.

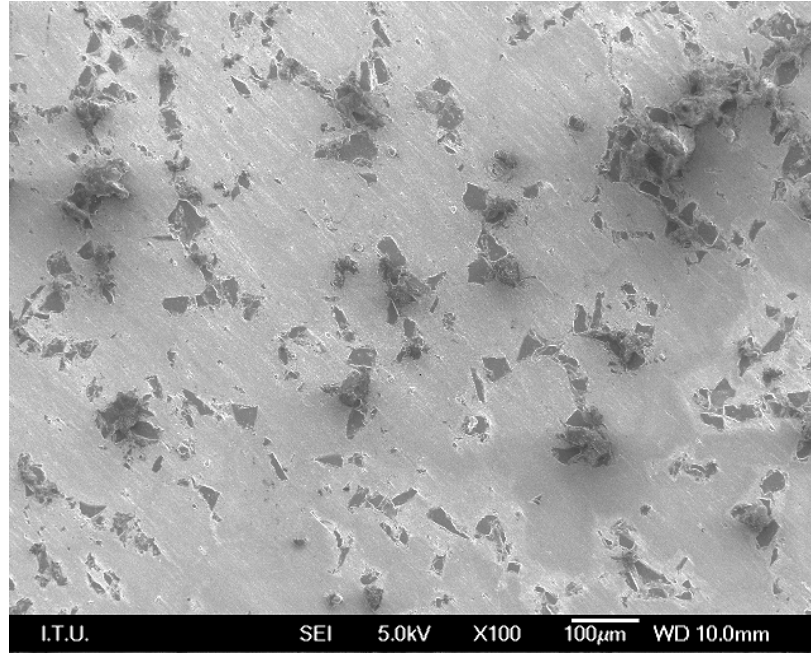
%20 B₄C oranına sahip 1000 MPa presleme basıncıyla üretilmiş numunelerde %10 B₄C oranına sahip numuneye göre porozite miktarı fazladır. B₄C tanelerinin olması gereken yerlerde boşluklar vardır.



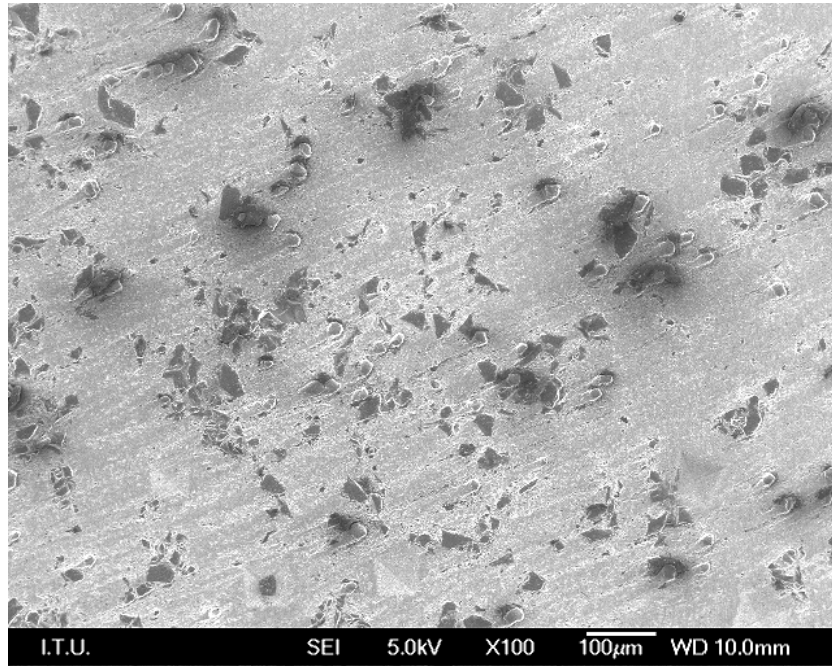
Şekil 5.28 800 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 550°C’de sinterlenen Al-%10 B₄C (22-59µm) kompozit numunesinin x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.



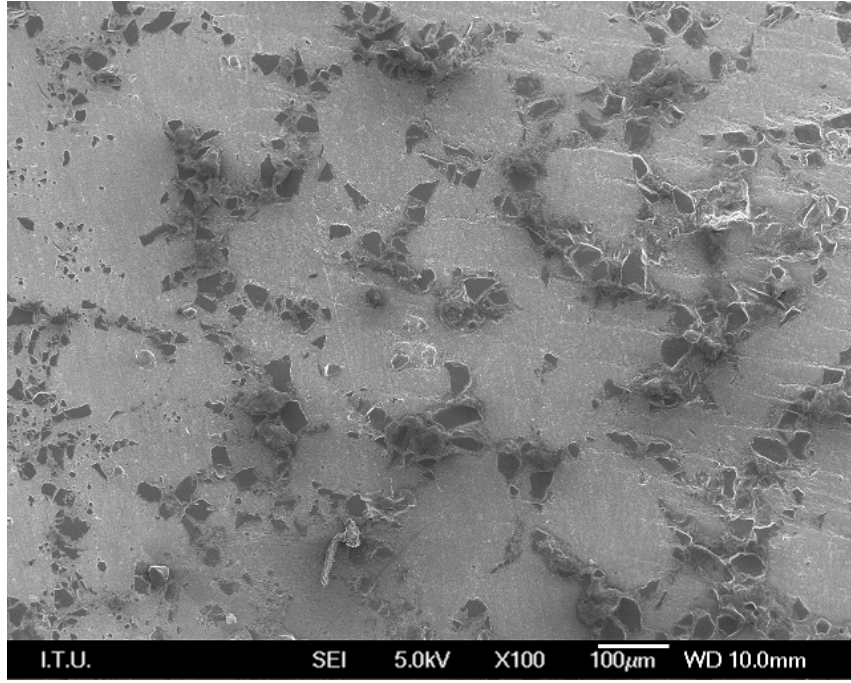
Şekil 5.29 1000 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 550 °C’de sinterlenen Al-%10 B₄C (22-59µm) kompozit numunesinin x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.



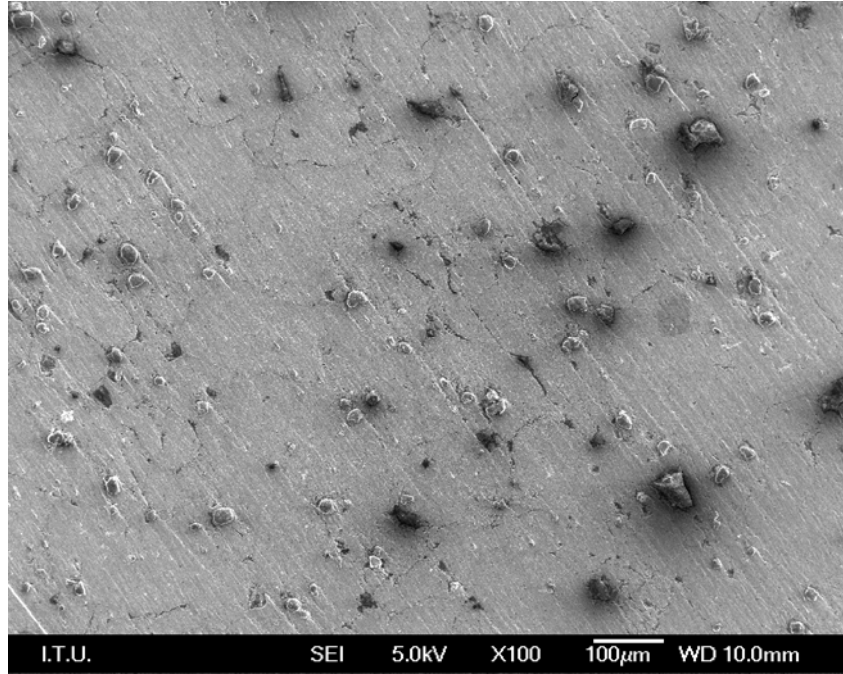
Şekil 5.30 600 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 550 °C’de sinterlenen Al-%20 B₄C (22-59μm) kompozit numunesinin x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.



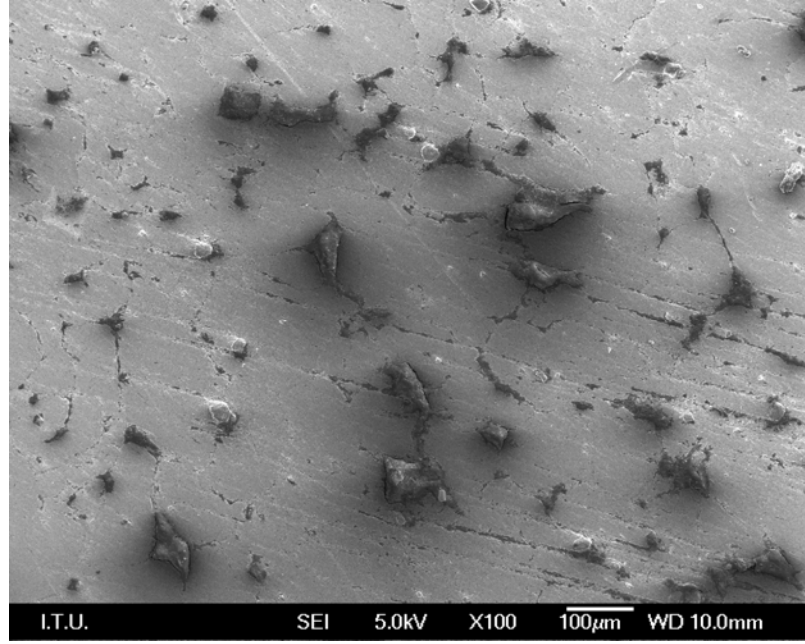
Şekil 5.31 800 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 550 °C’de sinterlenen Al-%20 B₄C (22-59μm) kompozit numunesinin x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.



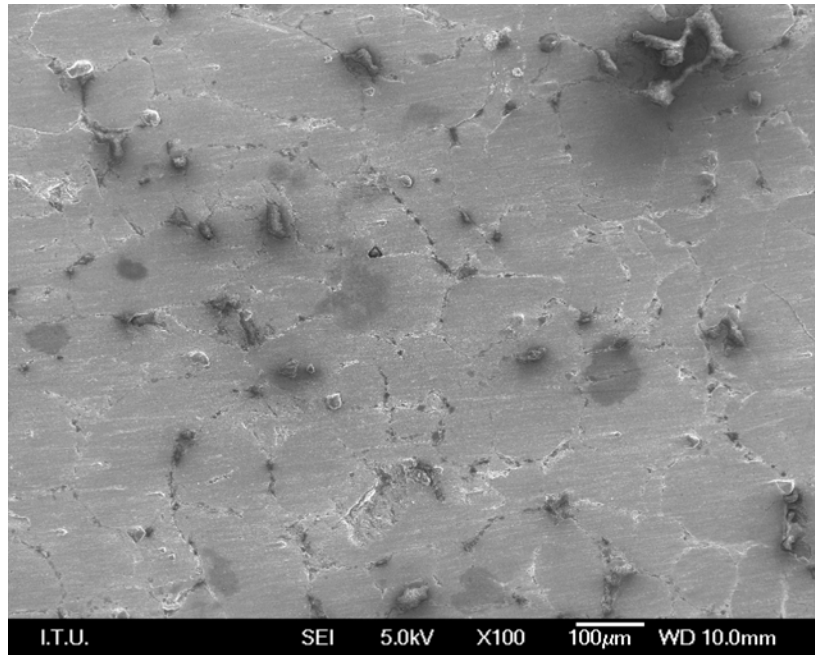
Şekil 5.32 1000 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 550 °C’de sinterlenen Al-%20 B₄C (22-59μm) kompozit numunesinin x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.



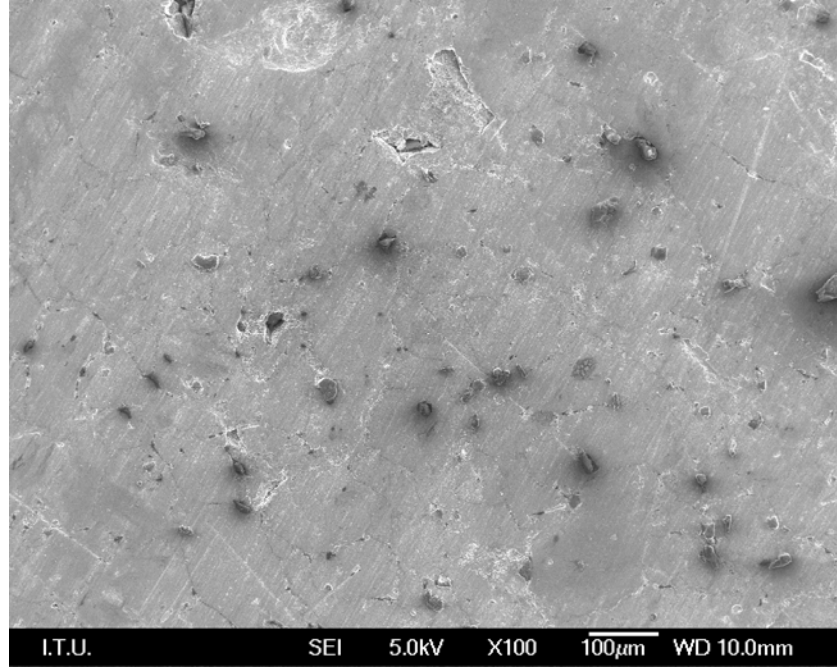
Şekil 5.33 800 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 550 °C’de sinterlenen Al-%10 B₄C (<10μm) kompozit numunesinin x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.



Şekil 5.34 1000 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 550 °C’de sinterlenen Al-%10 B₄C (<10μm) kompozit numunesinin x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.

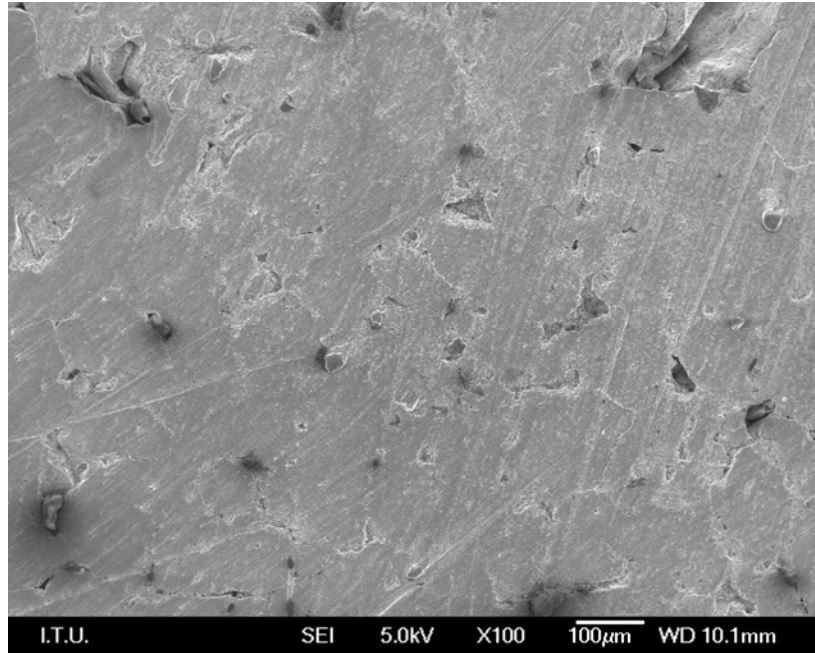


Şekil 5.35 800 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 550 °C’de sinterlenen Al-%20 B₄C (<10μm) kompozit numunesinin x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.

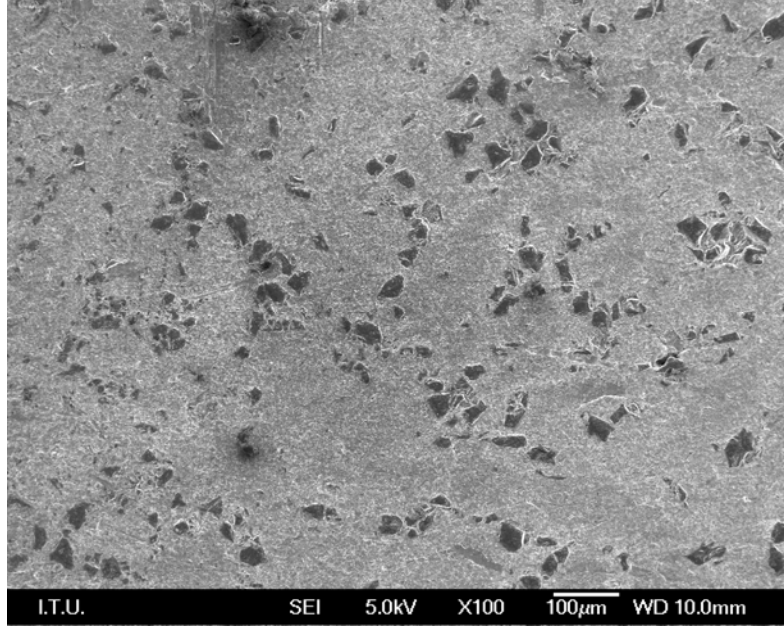


Şekil 5.36 1000 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 550 °C’de sinterlenen Al-%20 B₄C (<10μm) kompozit numunesinin x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.

%25 B₄C oranına sahip numunelerin mikroyapı görüntülerinde yoğun şekilde porozite vardır(Şekil 5.37 ve Şekil 5.38). Yapıda B₄C’ün iyi dağılmadan topaklanması yapının gözenekli olmasına sebebiyet vermektedir

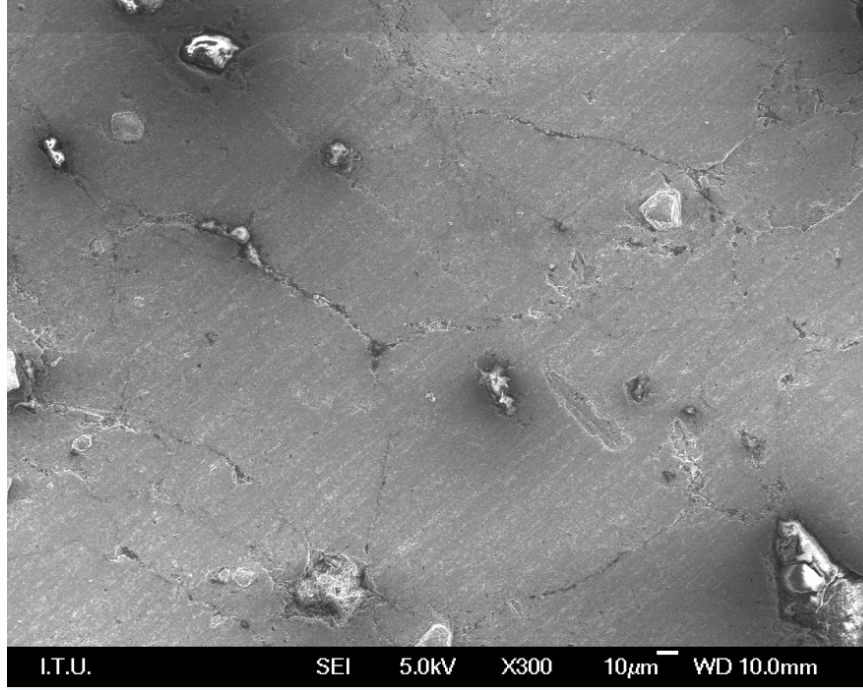


Şekil 5.37 800 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 550 °C’de sinterlenen Al-%25 B₄C (<10μm) kompozit numunesinin x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.

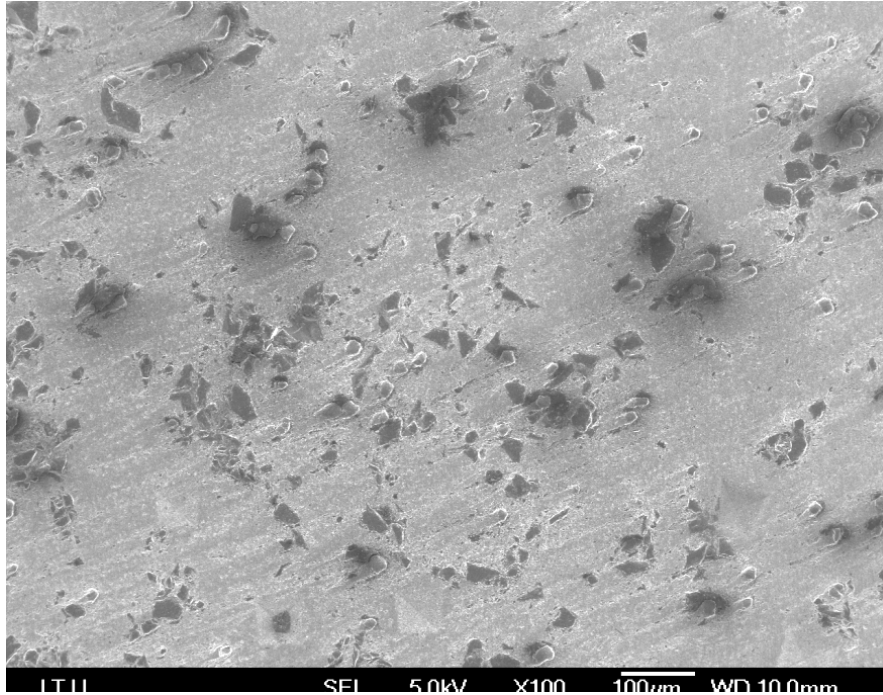


Şekil 5.38 800 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 550 °C’de sinterlenen Al-%25 B₄C (22-59μm) kompozit numunesinin x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.

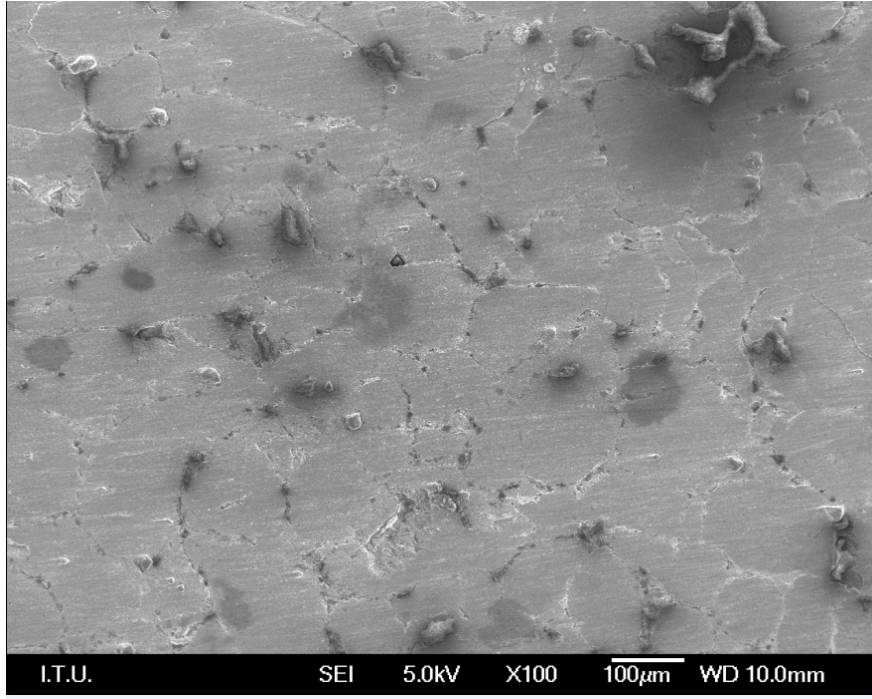
Mikroyapı görüntülerinde de görüldüğü gibi, B₄C tane boyutunun <10μm olduğu kompozitlerde, 550 °C’de sinterlemenin tam gerçekleşmediği görülmektedir. İnce B₄C tozları, Al tozlarının boyun oluşumunda araya girerek teması engellemiştir. Sinterleme tam tamamlanmamış ve iki Al tozu arasında bağ oluşamamıştır. İnce B₄C taneleri sınırlara oturmuştur. Tüm basınçlarda aynı durum görülmektedir (Şekil 5.39-Şekil 5.41).



Şekil 5.39 600 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 550°C’de sinterlenen Al-%20 B₄C (<10μm) kompozit numunesinin x300 büyütmedeki SEM görüntüsü.

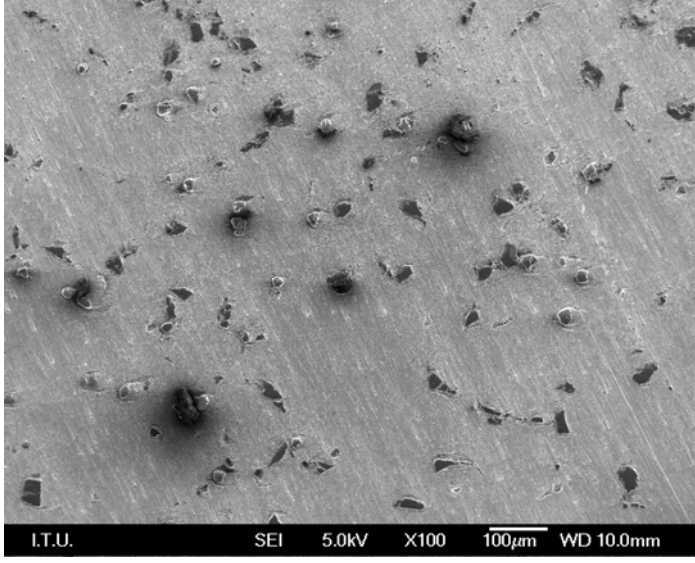


Şekil 5.40 800 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 550°C’de sinterlenen Al-%20 B₄C (22-59μm) kompozit numunesinin x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.

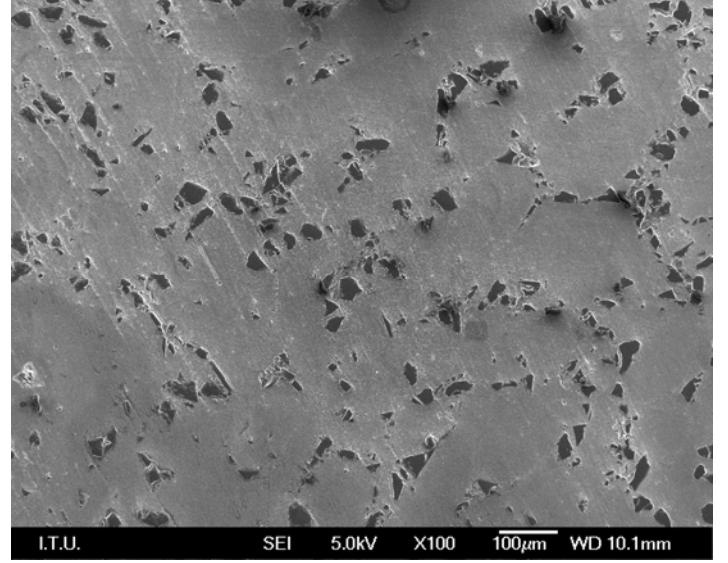


Şekil 5.41 800 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 550°C’de sinterlenen Al-%20 B₄C (<10µm) kompozit numunesinin x100 büyütmedeki SEM görüntüsü.

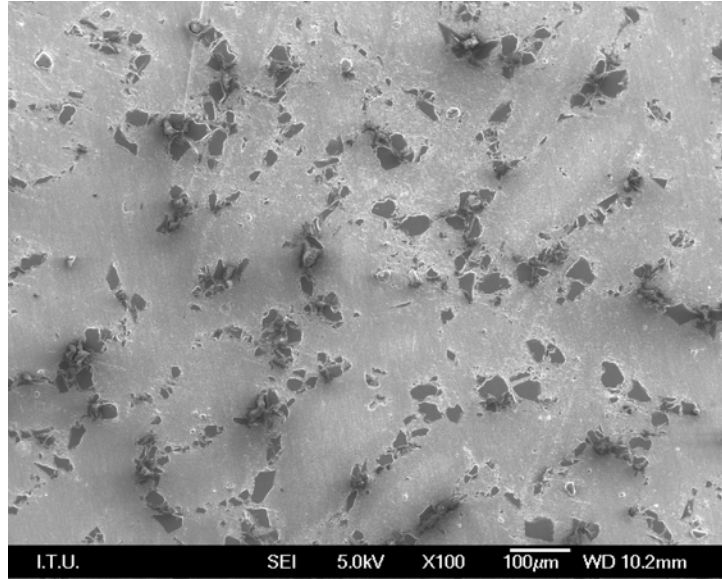
Sinterleme sıcaklıklarının artması bununla beraber presleme basıncının da artmasıyla dağılım daha iyidir. Şekil 5.42’de farklı sinterleme sıcaklıklarında sinterlenen kompozit numunelerinin karşılaştırmalı mikroyapı görüntüleri görülmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.42 800 MPa’da preslenmiş, normal atmosferde (a) 550 °C, (b) 570 °C ve (c) 590 °C’de sinterlenmiş numunelerin karşılaştırmalı görüntüsü.

6. GENEL SONUÇLAR

1. Yapılan değerlendirmeler ışığında optimum üretim parametreleri:

- Presleme basıncı: 800 MPa
- Sinterleme ortamı: Atmosferik
- Sinterleme sıcaklığı: 590° C

2. Sinterlenmiş numunelerin mikroyapısal görüntüleri incelendiğinde %10 B₄C takviyeli, toz boyutunun 22-59 µm olduğu numunelerde, yapıda tozların homojen dağıldığı gözlemlenmiş, karıştırma süresinin yeterli olduğu görülmüştür.

Toz boyutunun <10µm olduğu numunelerde ise aglomerasyonun meydana geldiği ve artan B₄C yüzdesinin bunu tetiklediği gözlemlenmiştir.

3. Matris ile takviye tane boyutlarının birbirine yakın olmayışı iyi bir karışım elde edilmesini engeller ve B₄C'nin Al taneleri arasındaki boşluklara birikmesine neden olur. Bunu önlemek için matris ile takviye tane boyutu birbirine yakın seçilmelidir.

4. Sinterleme işlemi için seçilen sıcaklıklar ergime fazı altındaki sıvı faza geçişler göz önünde bulundurularak seçilmelidir.

5. %10 B₄C içeren ince taneli tozların kullanıldığı numunelerdeki sertlik, %20 B₄C içerikli numunelere göre daha fazladır. Mikroyapı görüntülerinden görüldüğü üzere ince taneli B₄C miktarı arttıkça ince taneli tozlar yapının her yerine dağılarak tane sınırlarına çökmüş ve sinterlemeyi engellemiştir.

6. Sinterleme sıcaklıkları arttırıldıkça Al un artan yüzey enerjisi ve enerjiyi iyi absorblaması sinterlemenin iyi olması yönünde fayda sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- Abenojar, J., Velasco, F., Martinez, M.A. (2007), "Optimization of Processing Parameters For The Al+10%B₄C System Obtained by Mechanical Alloying", Journal of Materials Processing Technology, 184:441-446.
- Ahlatcı, H. (2003), Alüminyum-Silisyum Karbür Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine ve Aşınma Davranışına Takviye Boyutunun ve Matris Bileşiminin Etkisi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Akbulut, H.(2000), Sakarya Üniversitesi Kompozit Malzemeler Ders Notları.
- Akın, G. (2006), Toz Metalurjisi Yöntemiyle Alüminyum Matrisli Bor Karbür Takviyeli Kompozitlerin Üretilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Arslan, G., Kara, F., Turan, S.(2003), "Quantitative X-Ray Diffraction Analysis of Reactive Infiltrated Boron Carbide-Aluminium Composites", J. Am. Ceram. Soc., 23:1443-1255.
- Bakkaloğlu, A. (2000), Yıldız Teknik Üniversitesi Toz Metalurjisi Ders Notları.
- Cambroner, L.E.G., Sanchez, E., Ruiz-Roman, J.M., Ruiz-Prieto, J.M.(2003), "Mechanical Characterisation of AA7015 Aluminium Alloy Reinforced With Ceramics", Journal of Materials Processing Technology, 143-144:378-383.
- Clyne,T.W., Withers(1993), An Introduction to Metal Matrix Composites, Cambridge University pres, USA.
- Davis, J.R. (1996), Aluminum and Aluminum Alloys, ASM Speciality Handbook, USA.
- Ekşi, A., Kurt, A.O. (1999), "Metal ve Seramik Tozlarının Bilgisayar Kontrollü Tek Eksenli Kalıpta Preslenmesi", 2. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, 15-17 Eylül 1999, İstanbul, 557-563.
- Halverson, D.C., Pyzik, A.J., Aksay, I.A., Snowden, W.E. (1989), "Processing of BoronCarbide-Aluminium Composites", J. Am. Ceram. Soc., 72 (5):775-780.
- Harrigan, Jr., William, C. (2001), "Commercial Processing of Metal Matrix Composites", Material Science and Engineering, A297 94-104,
- Hiçyılmaz, N., Aydın, Ş., Sarıtaş, S. (1999), "Toz Metalurjisi İle Üretilmiş Alüminyum Esaslı Tanecikli Kompozitlerin Mekanik Özellikleri", 2. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, 15-17 Eylül 1999, İstanbul, 621-629.
- Hu, H.M., Lavernia, E.J., Harrigan, W.C., Kajuch, J., Nutt, S.R. (2001), "Microstructural Invesigation on B₄C/Al-7093 Composite", Materials Science & Engineering, A297:94-104.
- Hunt, Jr., W.H., Miracle, D.B. (2001), Automotive Applications of Metal-Matrix Composites, Composites, Volume 21, ASM Handbook, 1029-1032.
- İşiker, V., Ögel, B. (1996), "Al-SiC Kompozitlerinin Üretiminde Yatay Bilyalı Değirmen Kullanımı ve Parçacık Dağılımının Etkisi", 1. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, 16-17 Eylül, Ankara, 377-386.

- Jiang, Q.C., Wang,H.Y., Ma,B.X., Wang,Y., Zhao,F. (2005), “Fabrication of B₄C Particulate Reinforced Magnesium Matrix Composite by Powder Metallurgy”, *Journal of Alloys and Compounds*, 386:177-181.
- Kaczmar, J.W., Pietrzak, K., Wlosinski, W. (2000), “The Production and Application of Metal Matrix Composite Materials”, *Journal of Materials Processing Technology*, 106:58-67.
- Kennedy, A.R., Brampton, B. (2001), “The Reactive Wetting and Incorporation of B₄C particles Into Molten Aluminium”, *Scripta Materialia*, 44:1077-1082.
- Kerti, I.Ç. (1998), Gaz Enjeksiyon ve Elementel Karbon İlavesi Yöntemleri ile TiC Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozit Üretimi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü (yayımlanmamış).
- Kouzeli, M., Marchi, C.S., Mortensen, A. (2002), “Effect of Reaction On The Tensile Behavior of Infiltrated Boron Carbide-Aluminum Composites”, *Materials Science & Engineering*, A337:264-273.
- Lee, B.-S., Kang, S. (2001), “Low-temperature Processing of B₄C-Al Composites ViaInfiltration Technique”, *Materials Chemistry and Physics*, 67:249-255.
- Lillo, T.M. (2005), “Enhancing Ductility of AL6061 + 10 wt.%B₄C Through Equal-Channel Angular Extrusion processing”, *Materials Science & Engineering*, A410-411 : 443-446.
- Nayeb-Hashemi,H., Shan, D. (1999), “Evaluation of Heat Damage On B₄C Particulate Reinforced Aluminum Alloy Matrix Composite Using Acoustic Emission Techniques”, *Materials Science & Engineering*, A266:8-17.
- Newaz, G.M., Neber-Aeschbacher, H., Wöhlbier, F.H. (1995), *MMCs: Materials, Manufacturing and Mechanical Properties Metal Matriz Composites* , Trans Tech Publications, USA.
- Palacı, Y (2001), Alüminanın Özelliklerine, Şekillendirme Yönteminin, Katkıların ve Sinterleme Sıcaklığının Etkisi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sağırlı, A. (1990), Mekanik Ekzantrik Toz Metal Presi ve Toz Metal Teknolojisi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Smagorinski, M.E., Tsantrizos, P.G., Grenier, S., Cavaşin, A., Brzezinski, T., Kim,G. (1998), “The Properties and Microstructure of Al-based Composites Reinforced with Ceramic Particles”, *Materials Science & Engineering*, A244:86-90.
- Şahin, Y. (2000), Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Üniversitesi, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Tan, M.J., Zhang, X. (1998), “Powder Metal Matrix Composites : Selection and Processing”, *Materials Science & Engineering*, A244:80-85.
- Toptan, F. (2006), Alüminyum Matrisli B₄C Takviyeli Kompozitlerin Döküm Yöntemi ile Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Torralba, J.M., Costa, C.E., Velasco, F. (2003), “P/M Aluminum Matrix Composites: An Overview”, *Journal of Metarials Processing Technology*, 133: 203-206.

Yetgin, S.H., Köken, A., Aydın, M., Ünal, R. (2005), Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilmiş Al-B₄C MMK'lerde Karıştırıcı Tipi ve Takviye Oranının Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisi, 4. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, 18-22 Mayıs, Sakarya, 622-631.

Yılmaz, M., Durlu, N., Altıntaş, S. (1996), "Al-SiC Kompozitlerinin Toz Metalurjisi Yoluyla Üretilmesi" I. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, 16-17 Eylül, Ankara, 277-285.

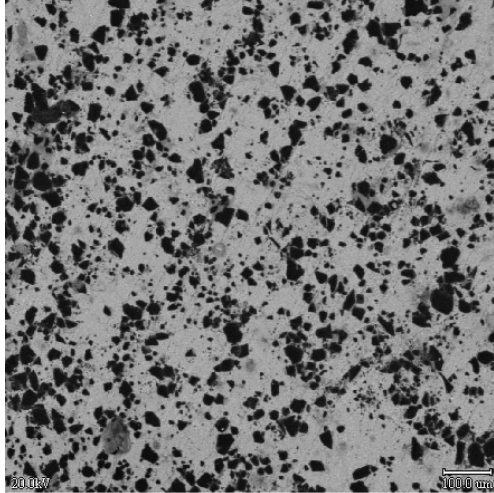
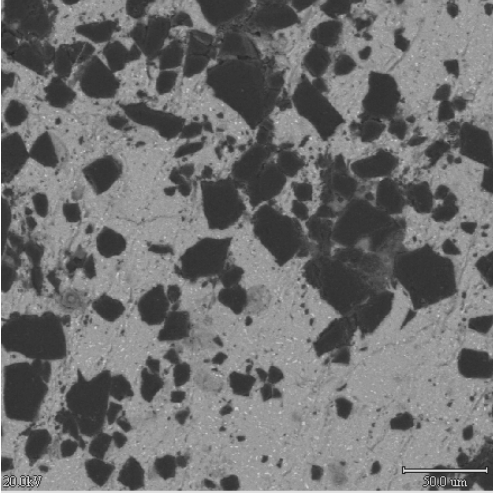
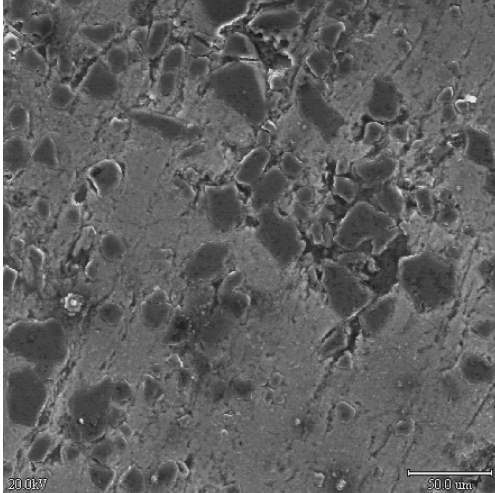
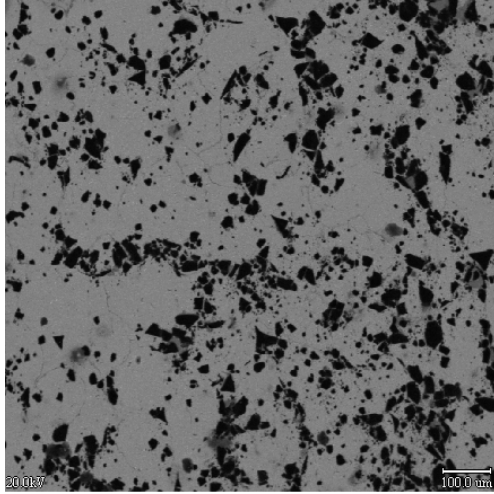
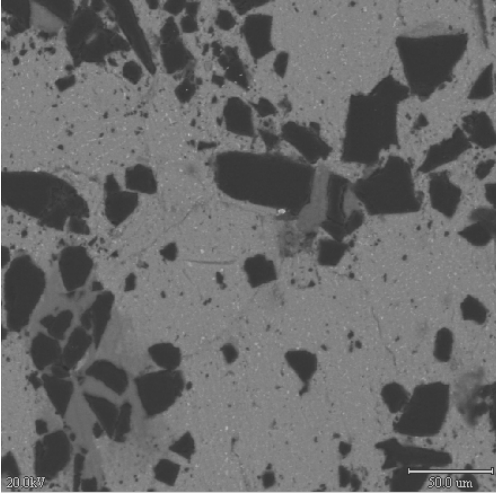
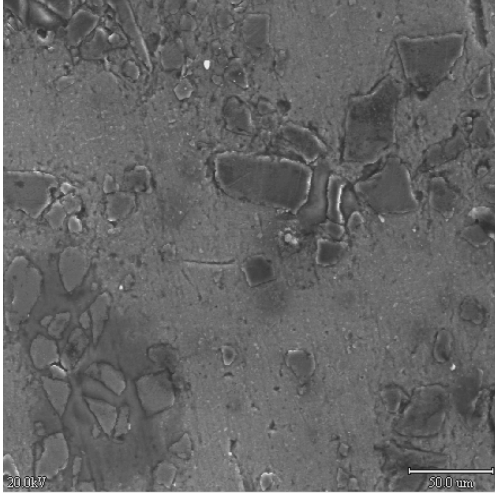
William, C., Harrigan, Jr. (1998), "Commercial Processing of Metal Matrix Composites", Materials Science & Engineering, A244:75-79.

Zhang, G, Ramesh, K.T., Chin, E.S.C. (2004), "High Strain Rate Response of Aluminum 6092/B₄C Composites, Materials Science and Engineering", A384: 26-34.

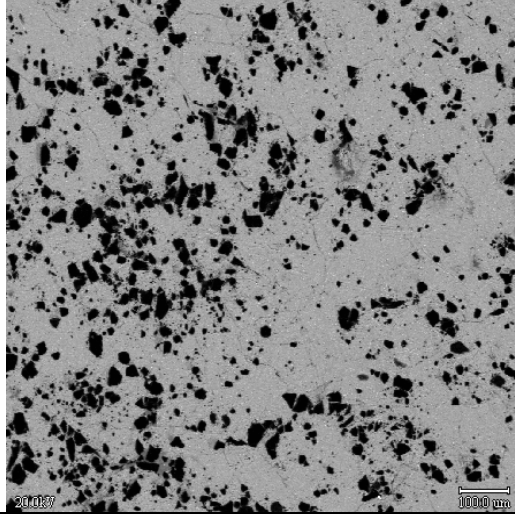
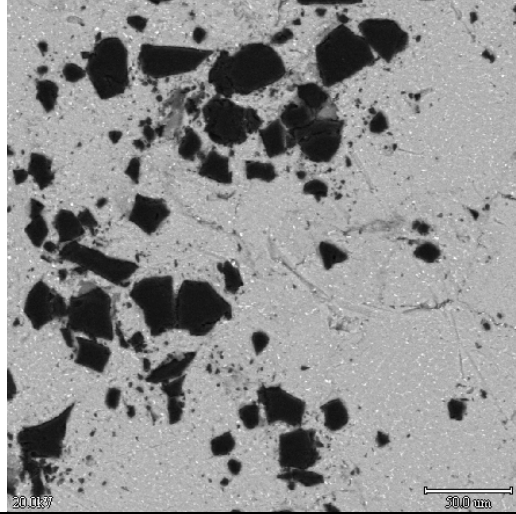
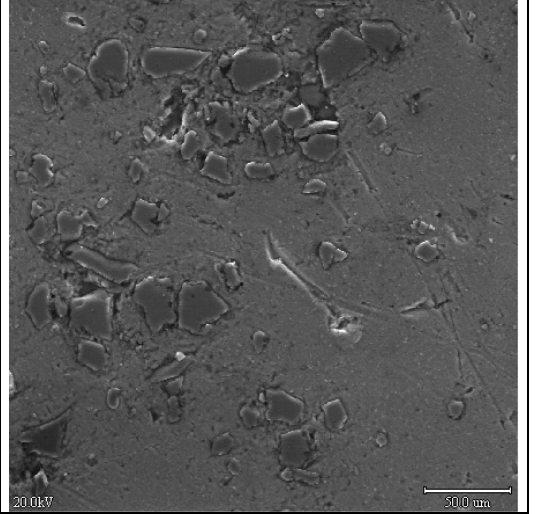
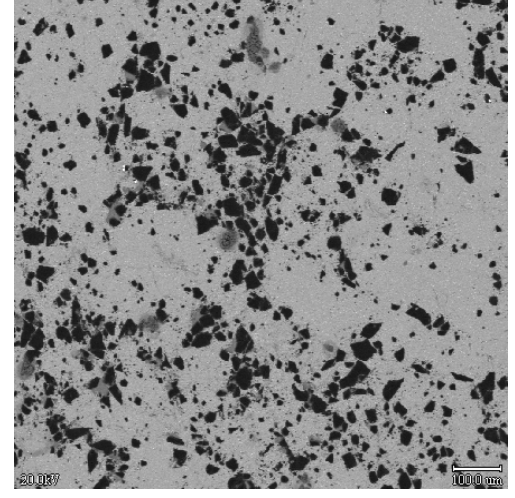
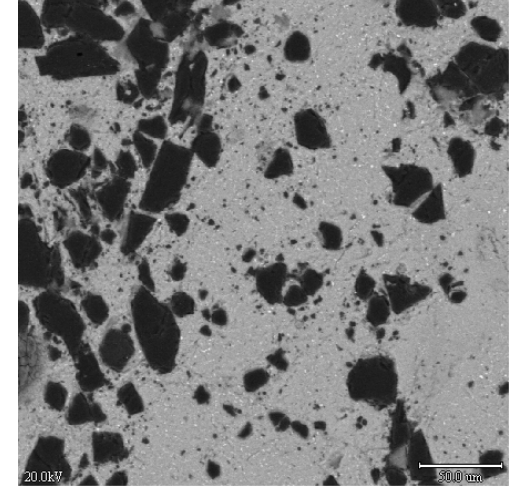
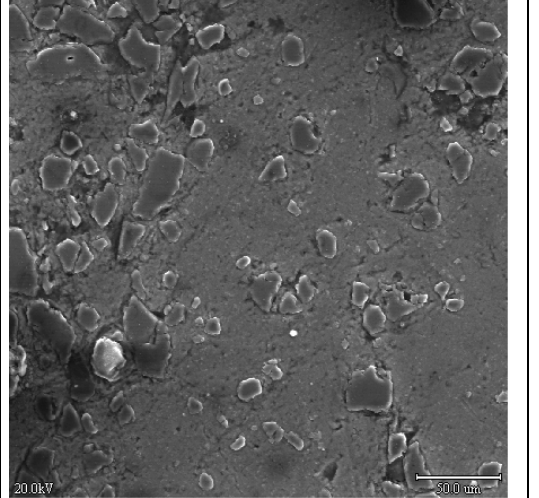
İNTERNET KAYNAKLARI

[1] <http://mmc-assess.tuwien.ac.at>

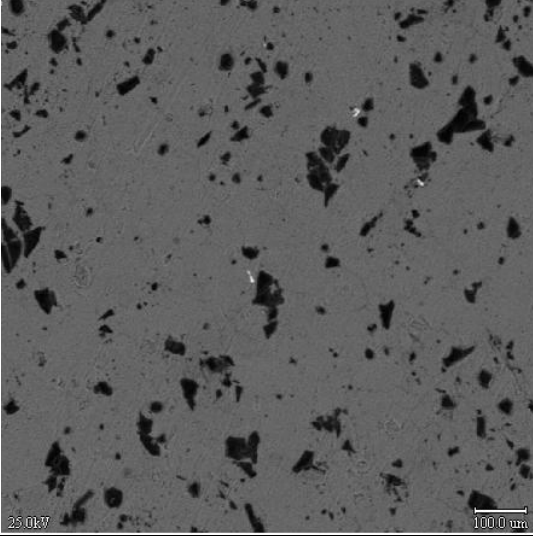
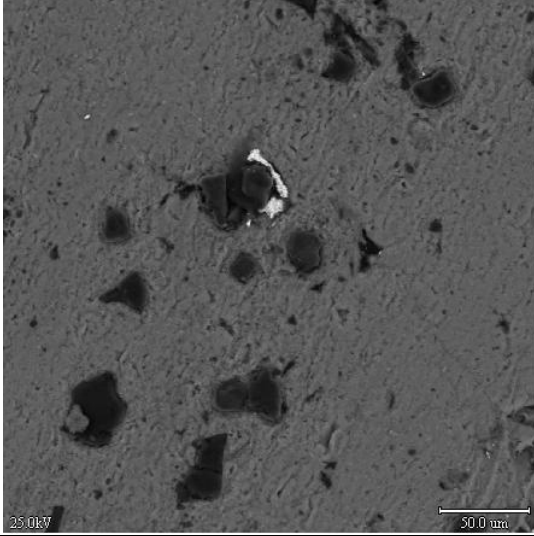
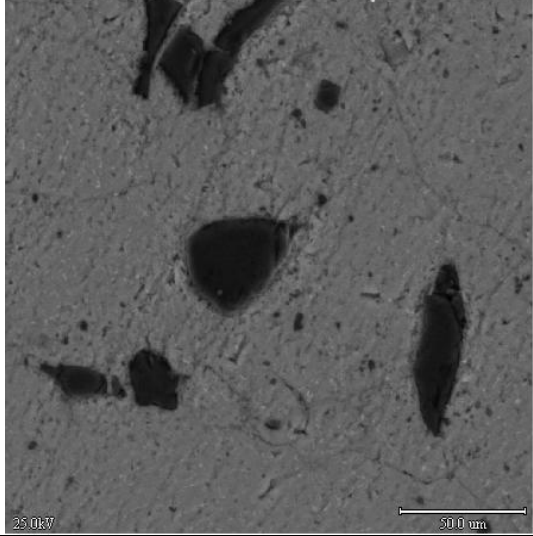
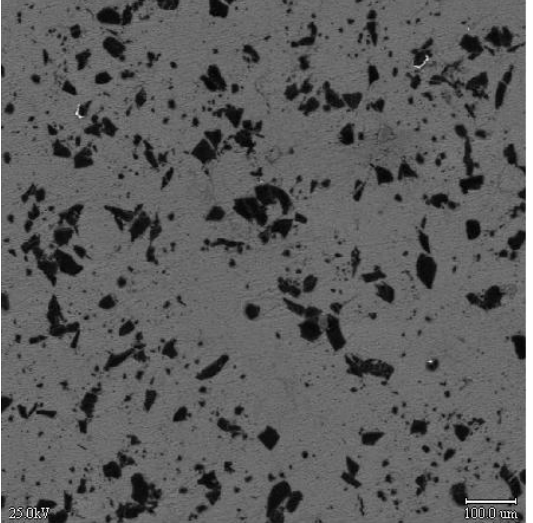
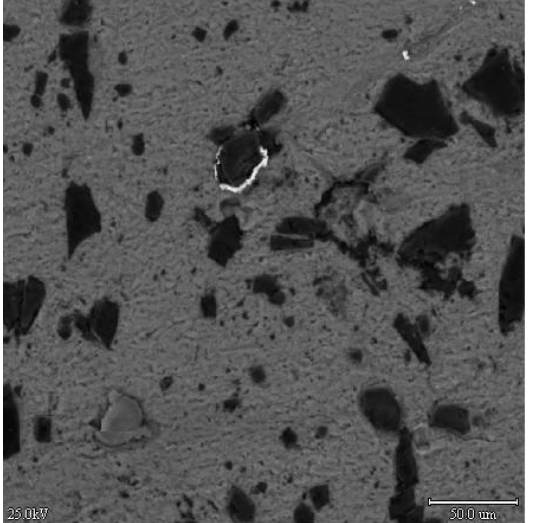
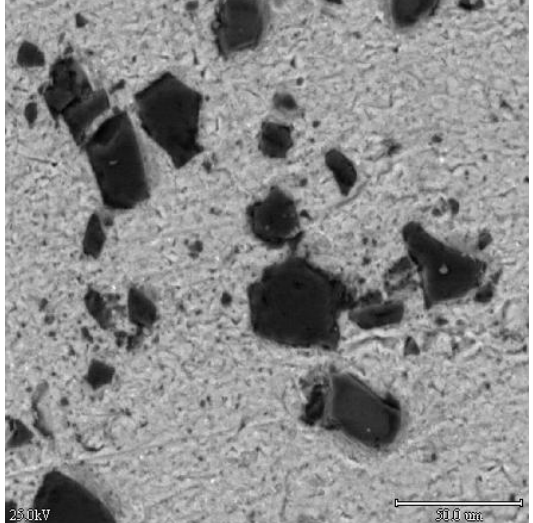
Ek A.1. Üretilen kompozitlere ait mikroyapı resimleri

Kurutma yapılmayan, Argon atmosferinde 550°C de 5 saat sinterlenen kompozit numuneler			
	X100	X350	X350(TOPOGRAFIK)
Presleme koşulu: 40 MPa önyükleme; 240 MPa'da 2 dakika, 400 MPa'da 2 dakika bekleme			
Presleme koşulu: 160 MPa önyükleme, 535 MPa'da 2 dakika bekleme			

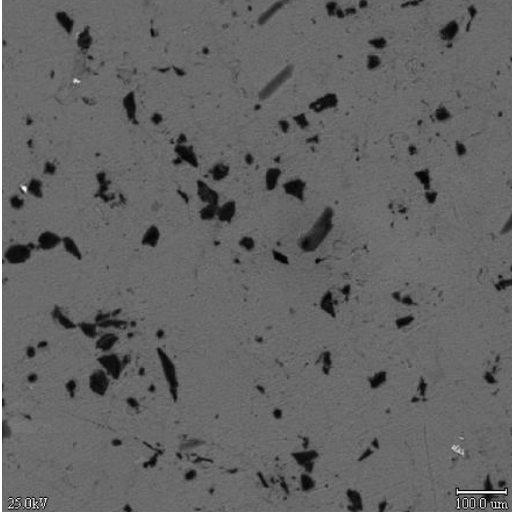
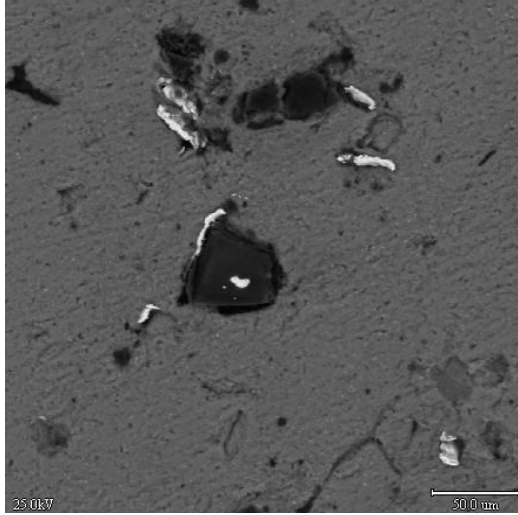
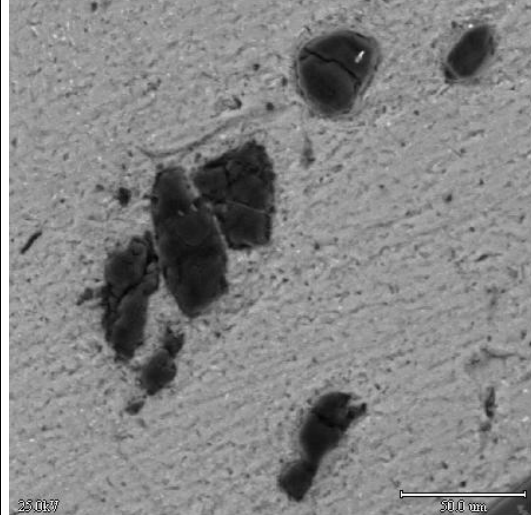
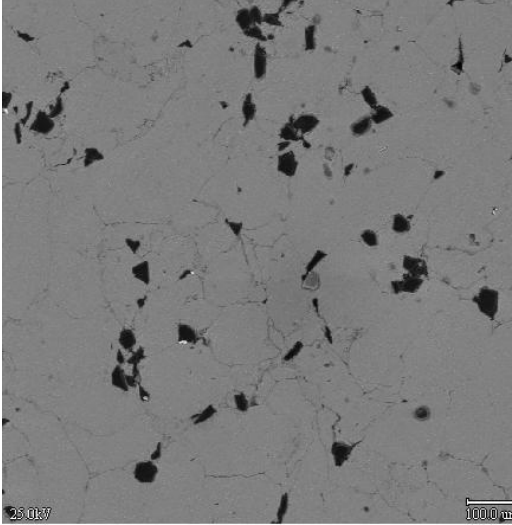
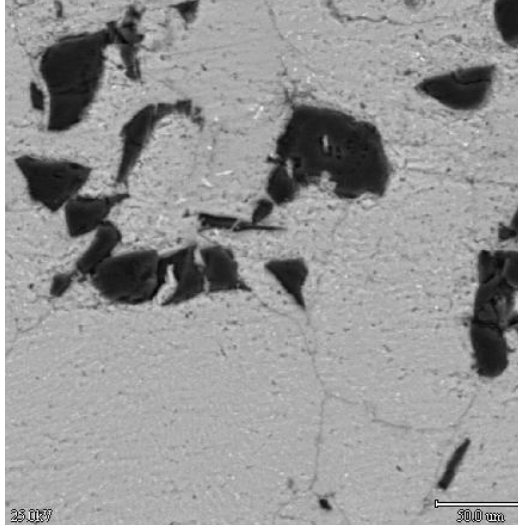
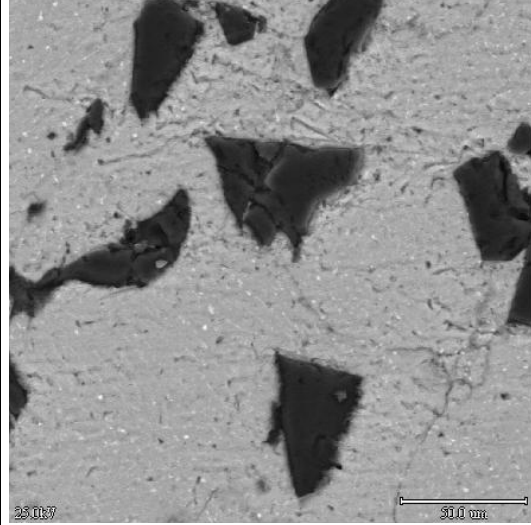
Ek A.2. Üretilen kompozitlere ait mikroyapı resimleri

Kurutma yapılmayan, Argon atmosferinde 550 °C de 5 saat sinterlenen kompozit numuneler			
	X100	X350	X350(TOPOGRAFIK)
Presleme koşulu: 535 MPa'da 2 dakika bekleme			
Presleme koşulu: 640 MPa'da 2 dakika bekleme			

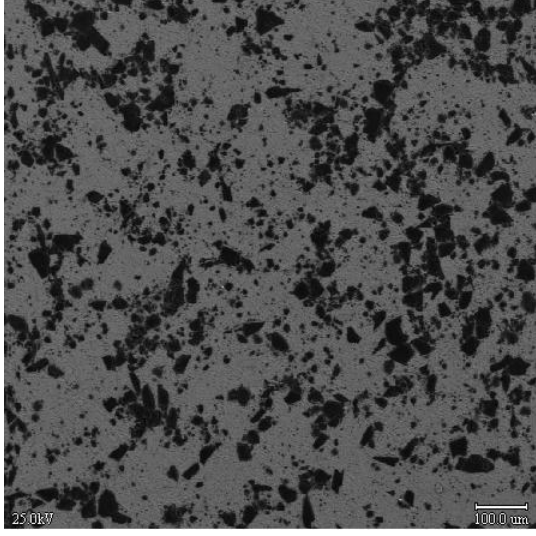
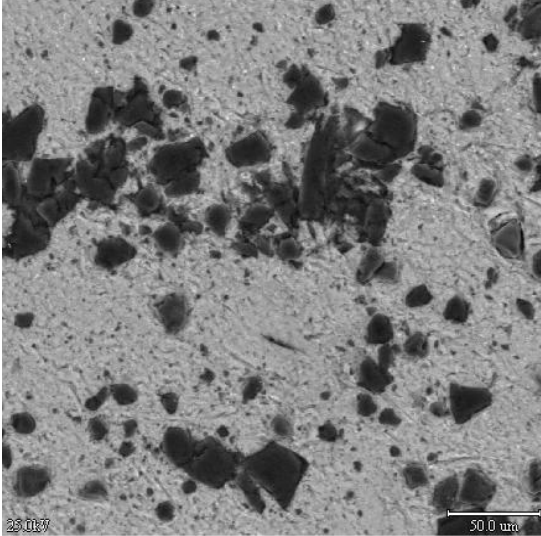
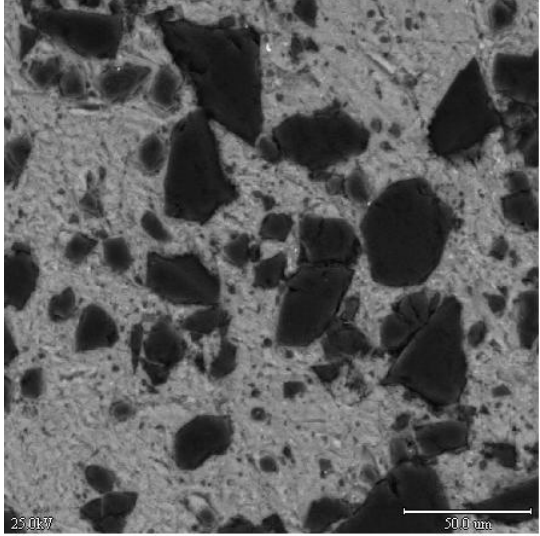
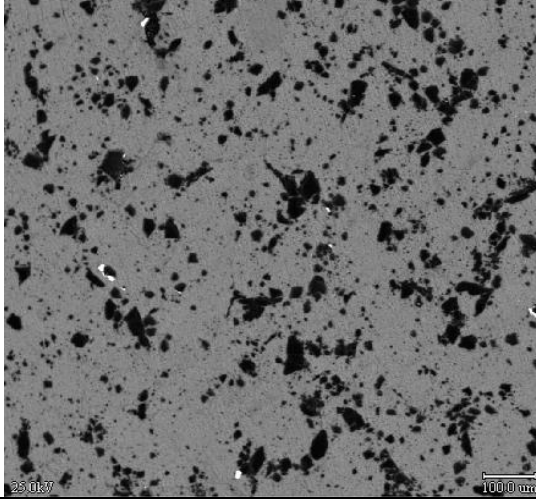
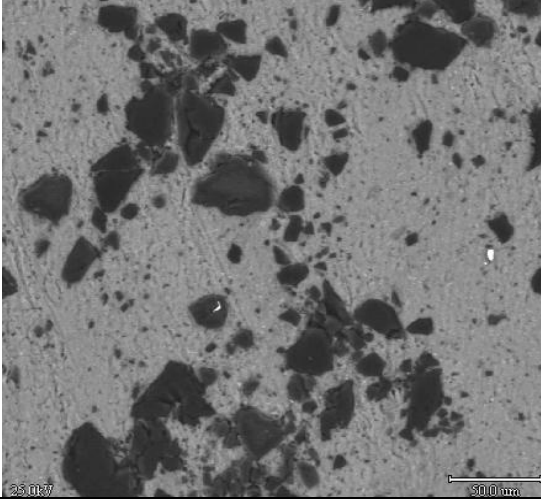
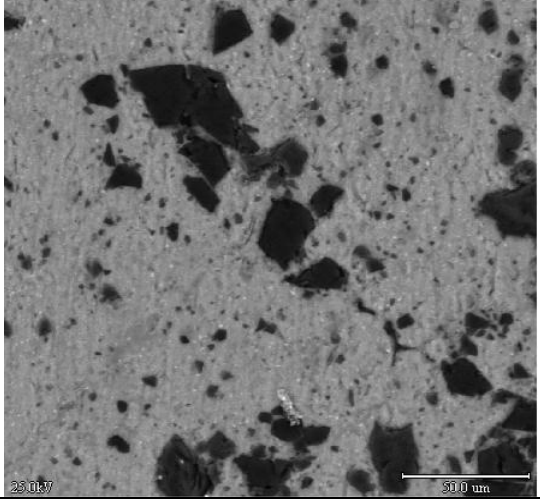
Ek A.3. Üretilen kompozitlere ait mikroyapı resimleri

Kurutma yapılmayan, normal atmosferde 550 °C’de 5 saat sinterlenen kompozit numuneler			
	X100	X350	X500
Presleme koşulu: 40 Mpa önyükleme;240 MPa’da 2 dakika,400 MPa’da 2 dakika bekleme			
Presleme koşulu: 160 MPa önyükleme, 535 MPa’da 2 dakika bekleme			

Ek A.4. Üretilen kompozitlere ait mikroyapı resimleri

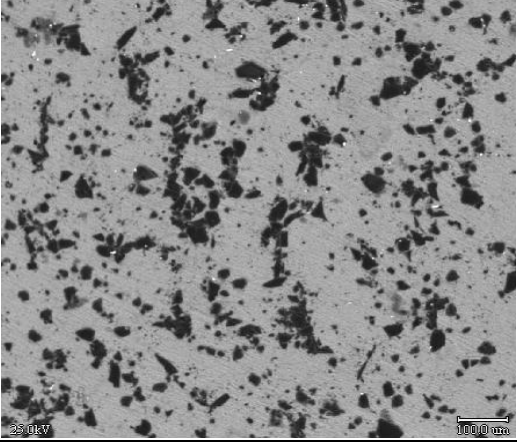
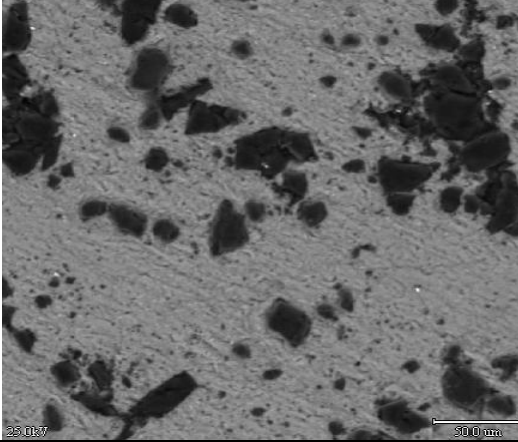
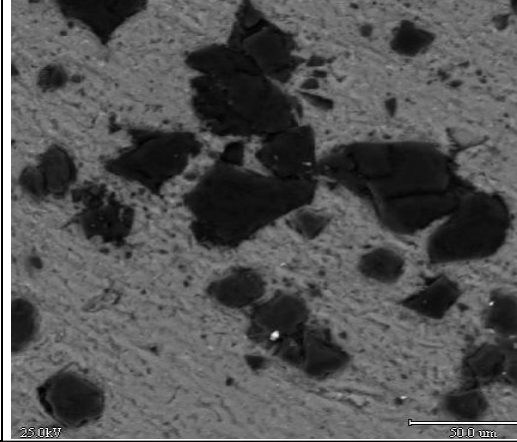
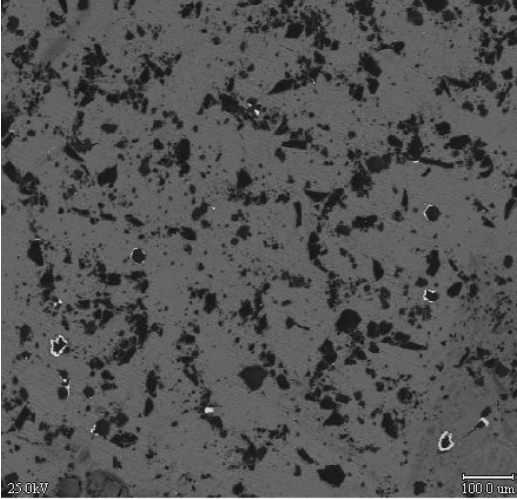
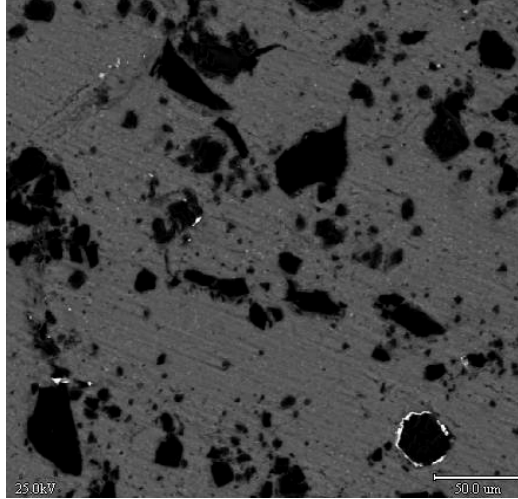
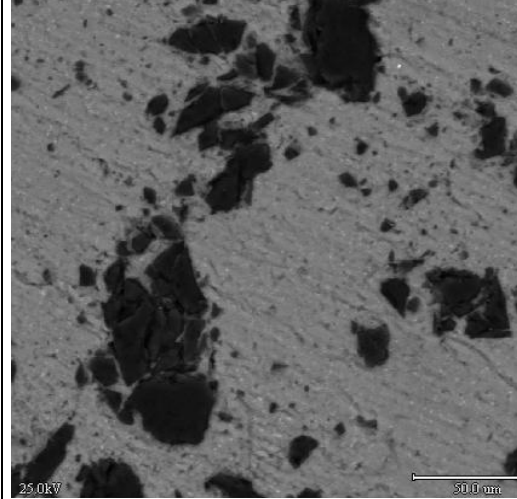
Kurutma yapılmayan, normal atmosferde 550 °C’de 5 saat sinterlenen kompozit numuneler			
	X100	X350	X500
Presleme koşulu: 535 MP’da 2 dakika bekleme			
Presleme koşulu: 640 MPa’da 2 dakika bekleme			

Ek A.5. Üretilen kompozitlere ait mikroyapı resimleri

Kurutma yapılan, normal atmosferde 550 °C’de 5 saat sinterlenen kompozit numuneler			
	X100	X350	X500
Presleme koşulu: 40 MPa önyükleme;240 MPa’da 2 dakika,400 MPa’da 2 dakika bekleme			
Presleme koşulu: 160 MPa önyükleme, 535 MPa’da 2 dakika bekleme			

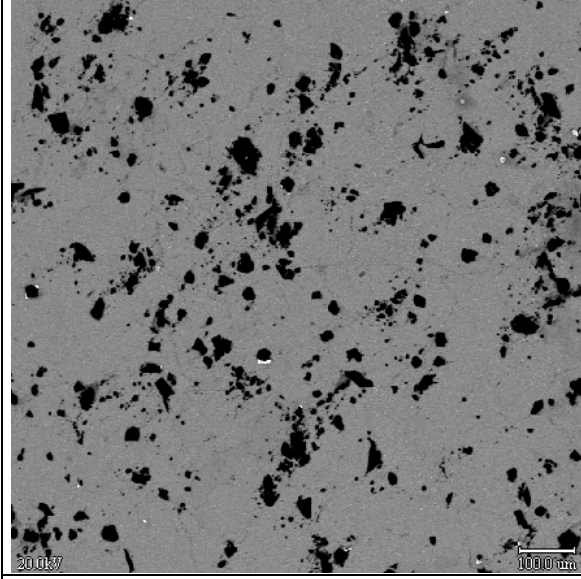
Ek A.6. Üretilen kompozitlere ait mikroyapı resimleri

Kurutma yapılan, normal atmosferde, 550 °C'de, 5 saat sinterlenen kompozit numuneler

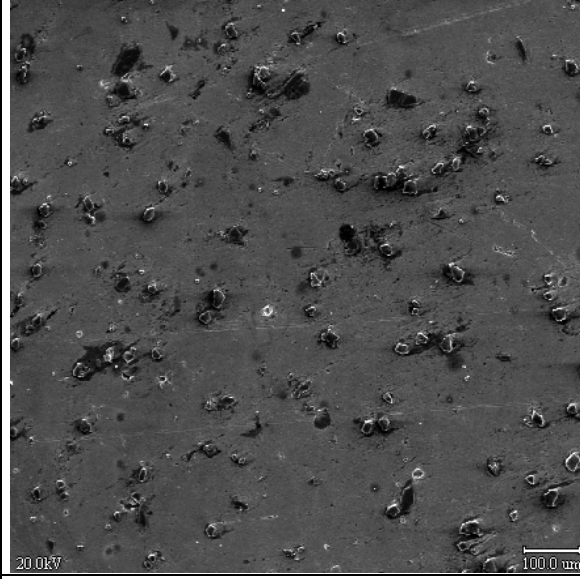
	X100	X350	X500
Presleme koşulu: 535 MPa'da 2 dakika bekleme			
Presleme koşulu: 640 MPa'da 2 dakika bekleme			

Ek A.7. Üretilen kompozitlere ait mikroyapı resimleri

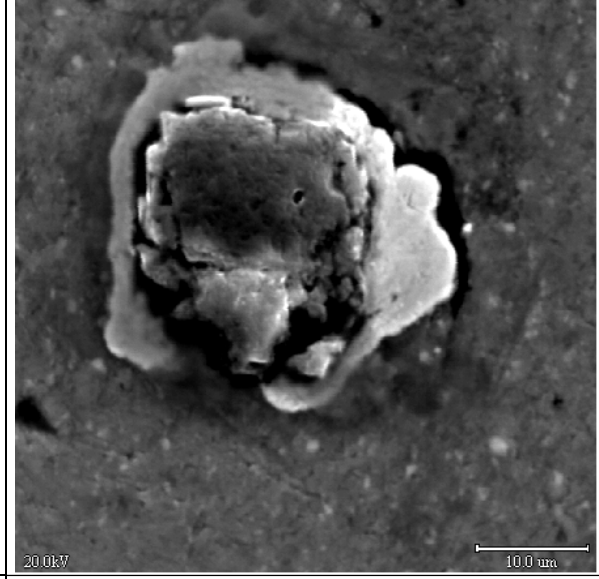
Kurutma yapılan, argon atmosferinde 550 °C'de 5 saat sinterlenen kompozit numuneler
(Presleme koşulu: 40 MPa önyükleme;240 MPa'da 2 dakika,400 MPa'da 2 dakika bekleme)



X100

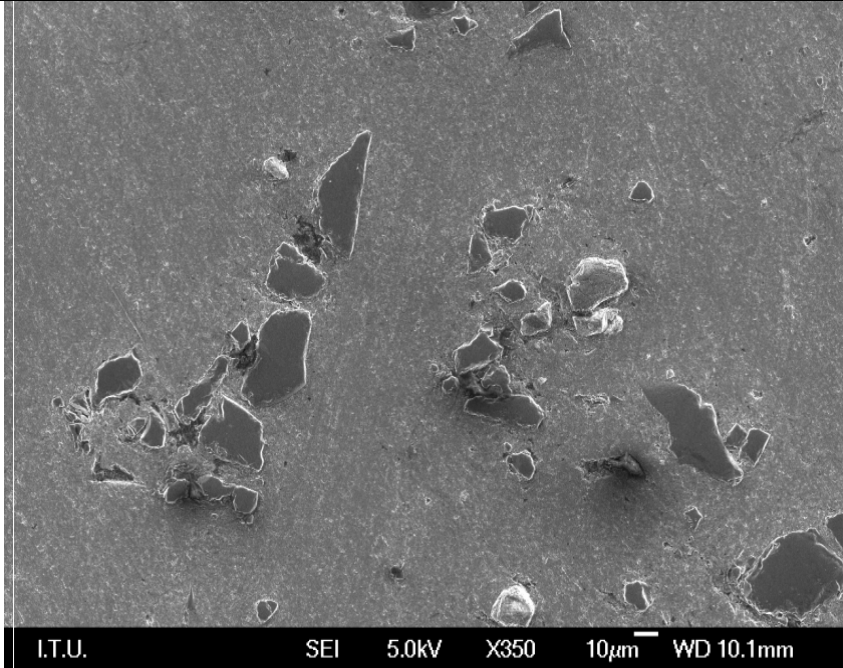
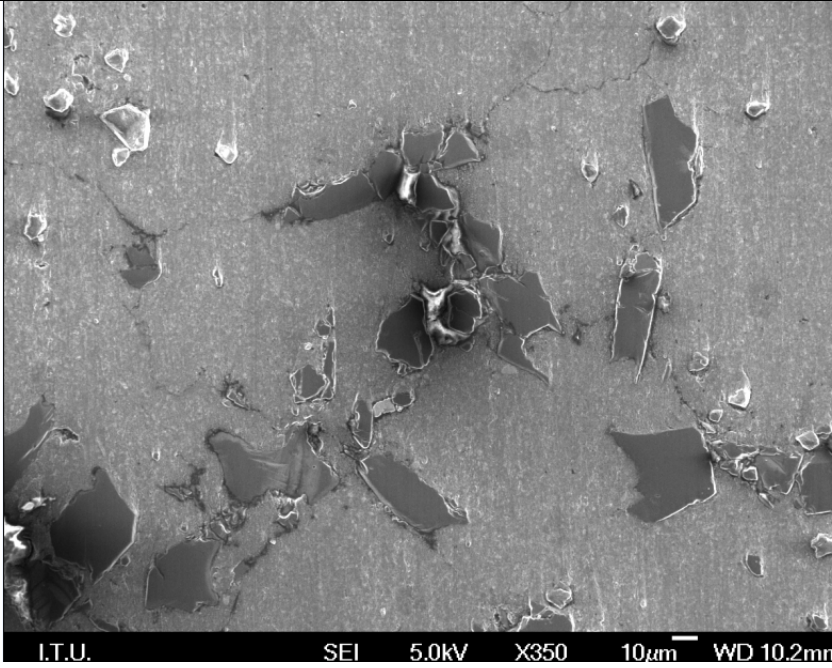


X100 (Topografik)

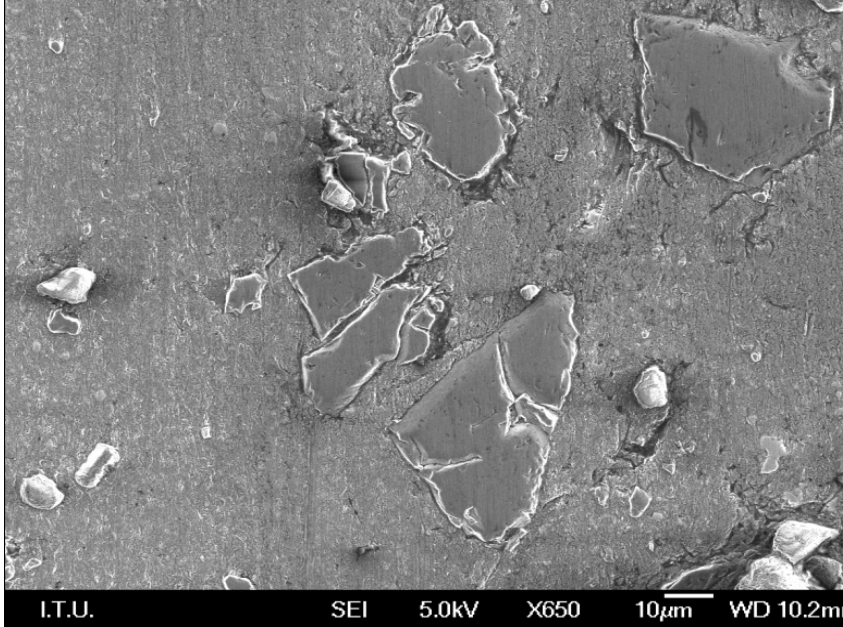
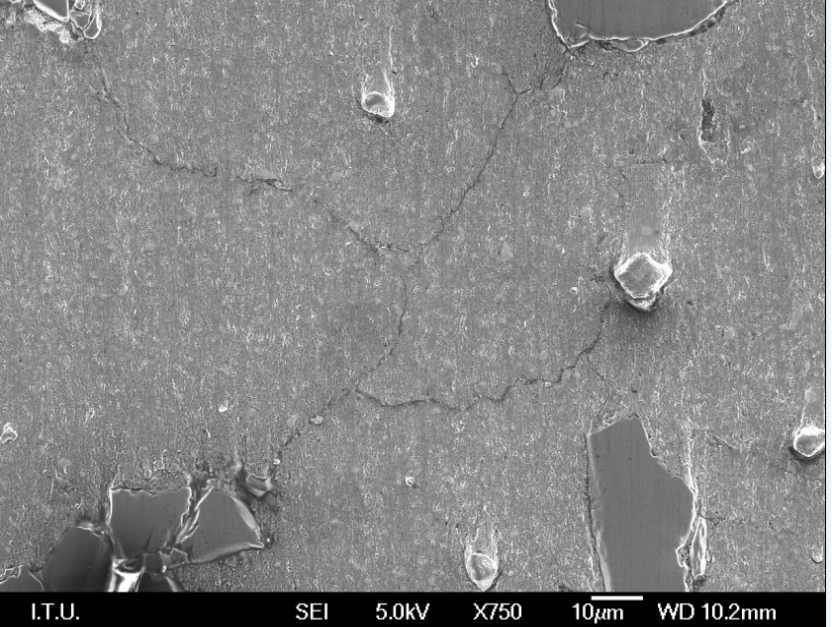


X2000

Ek A.8. Üretilen kompozitlere ait mikroyapı resimleri

Kurutma uygulanmayan, 600 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 570 °C’de sinterlenen kompozit numune	Kurutma uygulanmayan, 600 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 590 °C’de sinterlenen kompozit numune
	
X350	x350

Ek A.9. Üretilen kompozitlere ait mikroyapı resimleri

Kurutma uygulanmayan, 600 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 590 °C'de sinterlenen kompozit numune	Kurutma uygulanmayan, 600 MPa basınçla preslenen, normal atmosferde 590 °C'de sinterlenen kompozit numune
	
X650	X750

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	01.01.1980	
Doğum yeri	Afyon	
Lise	1995-1999	Gebze Neşet Yalçın Süper Lisesi
Lisans	1999-2004	Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
Lisans	2000-2004	Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü (Çift Anadal)
Yüksek Lisans	2004-2008	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Müh. Anabilim Dalı, Malzeme Programı

Çalıştığı kurum(lar)

2007 - Devam ediyor Polikim Polimer ve Kimya A.Ş..