

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN SICAK PRESLE ÜRETİMİNDE
SERAMİK PARTİKÜLLERİN SOL-JEL YÖNTEMİYLE MODİFİYE
EDİLMESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

Şükrü ÖZDOĞAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2011

**ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN SICAK PRESLE ÜRETİMİNDE
SERAMİK PARTİKÜLLERİN SOL-JEL YÖNTEMİYLE MODİFİYE
EDİLMESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

Şükrü ÖZDOĞAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**Bu araştırma, Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim
Birimi tarafından 2010.02.0121.023 numaralı proje ile desteklenmiştir.**

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN SICAK PRESLE ÜRETİMİNDE
SERAMİK PARTİKÜLLERİN SOL-JEL YÖNTEMİYLE MODİFİYE
EDİLMESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Şükrü ÖZDOĞAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez, 27/12/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından (90) not takdir edilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr.Hasan Erdem ÇAMURLU (Danışman)

.....

Prof. Dr. Narin ÜNAL

.....

Yrd. Doç. Dr. Niyazi Uğur KOÇKAL

.....

ÖZET

ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN SICAK PRESLE ÜRETİMİNDE SERAMİK PARTİKÜLLERİN SOL-JEL YÖNTEMİYLE MODİFİYE EDİLMESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Şükrü ÖZDOĞAN

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hasan Erdem ÇAMURLU

Aralık 2011, 76 Sayfa

Bu çalışmada, hacimce % 5-40 oranlarında TiB_2 ve % 5-45 oranlarında SiC parçacık takviyeli alüminyum matrisli (Al-% 4 Cu) kompozitler sıcak pres yöntemi ile üretilmiştir. Elde edilen kompozitlerin mikroyapıları incelenmiş, sertlikleri ve üç nokta eğme mukavemetleri belirlenmiştir. Aynı incelemeler, kompozitler T6 ısıtılmasına tabi tutulduktan sonra tekrarlanmıştır. Kompozit yapısı içindeki parçacıkların düzgün bir şekilde dağıldığı optik mikroskop incelemelerinden anlaşılmıştır. Elde edilen kompozitlerin % teorik yoğunlukları % 97-99 aralığındadır. Kompozitlerin sertlik değerleri, eklenen destek fazının miktarının artmasıyla yükselmiştir. SiC ve TiB_2 içeren kompozitlerin sertlik değerleri sırasıyla en yüksek 140 ve 160 HB10 olmuştur. Üç nokta eğme mukavemetleri her iki destek fazı çeşidinde de 750-850 MPa aralığında olmuştur. TiB_2 parçacıklarının yüzeylerinin sol-jel yöntemi kullanılarak silika ile, SiC parçacıklarının yüzeylerinin ise silika ve TiB_2 ile modifiye edilmesi üzerinde çalışılmıştır. Yapılan Fourier dönüşümlü infrared spektroskopisi (FT-IR) ve X-ışını kırınımı (XRD) analizlerinin sonuçlarından, modifikasyonların gerçekleştiği düşünülmektedir. Yüzeyleri silika ile modifiye edilen seramik tozları kullanılarak

Üretilen kompozitlerin mukavemet değerleri, kompozit içinde parçacıkların topaklanmaları sebebiyle, modifiye edilmemiş tozlarla üretilen kompozitlerin değerlerinden düşük bulunmuştur. Yüzeyleri TiB_2 ile modifiye edilmiş SiC parçacıklarını içeren kompozitlerin mukavemet değerleri, modifiye edilmemiş SiC içeren kompozitlerin değerleriyle aynı aralıktaki bulunmuştur.

ANAHTAR KELİMELEER: Toz metalurjisi, sıcak presleme, alüminyum matrisli kompozitler, SiC, TiB_2 .

JÜRİ: Yrd. Doç. Dr. Hasan Erdem ÇAMURLU (Danışman)

Prof. Dr. Narin NAL

Yrd. Do. Dr. Niyazi Uğur KOÇKAL

ABSTRACT

EFFECT OF MODIFICATION OF CERAMIC PARTICLES BY SOL-GEL METHOD ON THE MECHANICAL PROPERTIES DURING THE PRODUCTION OF ALUMINUM MATRIX COMPOSITES VIA HOT PRESSING METHOD

Şükrü ÖZDOĞAN

M. Sc. Thesis in Mechanical Engineering

Adviser: Asst. Prof. Hasan Erdem ÇAMURLU

December, 2011, 76 pages

In this study aluminum matrix (Al-4 % Cu) composites reinforced with 5-40 vol % TiB₂ and 5-45 vol % SiC particles were produced via hot pressing method. Prepared composites were subjected to microstructural examinations, hardness and three point bending tests. Same examinations were performed after subjecting the composites to T6 heat treatment. It was revealed by optical microscopy examinations that the reinforcement particles were homogenously distributed in the composite structure. The hardness of the composites increased with increasing reinforcement amount. The highest hardness values of 140 and 160 HB10 were attained in the SiC and TiB₂ reinforced composites, respectively. Three point bending strengths were in the range of 750-850 MPa, for both of the reinforcement phases. Modification of the surfaces of the TiB₂ particles with silica and surfaces of SiC particles with silica and TiB₂ via sol gel method have been studied. It is thought from the results of the Fourier transformed infrared spectroscopy (FT-IR) and X-ray diffraction (XRD) analyses that modifications have been accomplished. Strength values of the composites obtained by using silica

modified ceramic particles were found to be lower than the composites obtained by unmodified particles, due to agglomeration of the particles in the composites. Strength values of the composites produced by using TiB_2 modified SiC particles were found to be in the same range with the values of the composites obtained from unmodified SiC.

KEY WORDS: Powder metallurgy, hot pressing, aluminum matrix composites, SiC, TiB_2

COMITTEE: Asst. Prof. Dr. Hasan Erdem ÇAMURLU (Danışman)

Prof. Dr. Narin ÜNAL

Asst. Prof. Dr. Niyazi Uğur KOÇKAL

ÖNSÖZ

Modern malzeme uygulamalarının çoğu, sadece seramikler, metaller veya polimer malzemelerle karşılanamayacak düzeyde özellik kombinasyonları gerektirmektedir. Bu durum özellikle ulaşım, havacılık ve deniz altı uygulamalarında kullanılan malzemelerde geçerlidir. Örneğin, kullanılan malzemelerde hafiflik (düşük özgül ağırlık), korozyon direnci gibi özellikler istenirken, aynı zamanda malzemenin yüksek mukavemet, rijitlik, aşınma direnci, darbe direnci gibi özelliklere de sahip olması beklenmektedir. Malzeme özelliklerinin kombinasyonları ve sınırları, kompozit malzemelerin üretimiyle genişletilebilmektedir.

Bu çalışmada, matris malzemesi olarak seçilen % 4 bakır içeren alüminyum alaşımının, yüzeyleri farklı yöntemler ve bileşikler kullanılarak modifiye edilmiş SiC ve TiB₂ tozları ve aynı tozların modifiyesiz halleri ile desteklenerek üretilen alüminyum matrisli kompozit malzemelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Yapılan çalışmanın gelecekte yapılacak olan alüminyum matrisli kompozitlere dair araştırma geliştirme ve üretim faaliyetlerine ışık tutmasını dilerim.

Yüksek lisans eğitimimin ve tez çalışmamın her aşamasında; bilgilerinden faydalandığım, ilk yüksek lisans öğrencisi olmaktan dolayı onur duyduğum, gece gündüz demeden tecrübelerini benimle paylaşan ve hiçbir şart altında beni yalnız bırakmayan değerli danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Hasan Erdem ÇAMURLU' ya göstermiş olduğu hoşgörü, sabır ve kayıtsız şartsız desteği için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Malzeme bilimi konusunda engin bilgilerinden yararlandığım ve bu yolda beni cesaretlendiren değerli hocam Sayın Prof. Dr. Narin ÜNAL' a destekleri için teşekkürü bir borç bilirim.

Sol-jel yönteminin uygulanması aşamasında bilgi ve desteklerini esirgemeyen Akdeniz Üniversitesi Fen Fakültesi öğretim üyeleri Prof. Dr. Ertuğrul ARPAÇ' a, Doç. Dr. Pınar ÇAMURLU' ya ve laboratuvar çalışmalarım sırasında yardımlarıyla bana destek olan yüksek lisans öğrencisi kimyager Ahmet GENÇER' e teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarım sırasında, yardımlarını esirgemeyen yüksek lisans ğrencisi arkadaşım Mak. Müh Tarık KÖMÜ' ye, tezin yazılmasında fikirlerinden yararlandığım, dostluğunu esirgemeyen Arş. Gör. Fatih GÜVEN' e, işleri kolaylaştıran ve hızlandıran laboratuvar personeli Mak. Tek. Cüneyt SİVRİKAŞ' a, tez çalışmam süresince göstermiş oldukları her türlü anlayış ve yardımlardan dolayı; Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü ğretim üyelerine teşekkür ederim.

Mesafelere rağmen hep yanı başımda bulduğum, umutsuzluğa kapıldığım anlarda beni yeniden cesaretlendiren, bugünlerimin ana mimarı sevgili aileme maddi ve manevi her türlü destekleri için teşekkür ederim.

Bu araştırma, Akdeniz Üniversitesi Araştırma projeleri Yönetim Birimi tarafından 2010.02.0121.023 numaralı proje ile desteklenmiştir. Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi ve Fen Bilimleri Enstitüsü yetkililerine ayrıca teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI ve KURAMSAL BİLGİLER.....	2
2.1. Kompozit Malzemeler.....	2
2.2. Metal Matrisli Kompozitler (MMK).....	2
2.3. Metal Matrisli Kompozitlerin Kullanım Alanları.....	3
2.4. Metal Matrisli Kompozitlerin Başlıca Üretim Yöntemleri	5
2.5. Sıvı İşlem Yöntemleri	6
2.6. Katı Hal Yöntemleri.....	8
2.6.1. Sıcak presleme.....	10
2.7. Metal Matrisli Kompozitlerde Destek-Matris Arayüzey Bağı	12
2.7.1. Arayüzeyin mekanik özellikler üzerindeki etkileri.....	14
2.7.1.1. Mukavemet.....	14
2.7.1.2. Kırılma tokluğu.....	15
2.8. Al – Cu Sistemi ve Çökelti Sertleştirilmesi.....	16
2.9. Konuyla İlgili Önceki Çalışmalar	19
3. MATERYAL VE METOT.....	23
3.1. TiB ₂ ve SiC Partiküllerinin Yüzeylerinin Modifiye Edilmesi.....	23
3.1.1. SiC ve TiB ₂ partiküllerinin yüzeylerinin sol-jel yöntemiyle SiO ₂ ile modifiye edilmesi	23

3.1.2. SiC partiküllerinin yüzeylerinin sol-jel yöntemiyle TiB ₂ ile modifiye edilmesi.....	30
3.2. Seramik Partiküllerinin Al ve Cu Tozlarıyla Karıştırılarak Sıcak Preslenmesi ..	30
3.2.1. Kullanılan malzemeler	31
3.2.2. Toz karışımlarının hazırlanması	33
3.2.3. Karışımların preslenmesi	34
3.3. Metalografik ve Mekanik İncelemeler	36
3.3.1. Numune hazırlama işlemleri	36
3.3.2. Sertlik ölçümleri	36
3.3.3. Üç nokta eğme testi.....	37
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	39
4.1. Modifiye İşlemi Uygulanmamış TiB ₂ Partikülleri İçeren Kompozitler.....	39
4.1.1. Mikroyapı incelemeleri	39
4.1.2. Yoğunluk ölçümleri	43
Sertlik ölçümleri.....	45
4.1.3. Üç nokta eğme testleri.....	48
4.2. Modifiye İşlemi Uygulanmış Olan TiB ₂ Partikülleri İçeren Kompozitler	50
4.2.1. FT-IR analizi	50
4.2.2. Mikroyapı incelemeleri ve mekanik özellikler.....	52
4.3. Modifiye İşlemi Uygulanmamış Olan SiC Partikülleri İçeren Kompozitler.....	54
4.3.1. Mikroyapı incelemeleri	54
4.3.2. Yoğunluk ölçümleri	57
4.3.3. Sertlik ölçümleri	58
4.3.4. Üç nokta eğme testleri.....	60
4.4. Modifiye İşlemi Uygulanmış Olan SiC Partikülleri İçeren Kompozitler	62

4.4.1. SiO ₂ ile yüzeyi modifiye edilmiş SiC tozları	62
4.4.2. TiB ₂ ile yüzeyi modifiye edilmiş SiC tozu.....	65
5. SONUÇ	73
6. KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

%	Yüzde
~	Yaklaşık
<	Küçüktür
>	Büyüktür
±	Artı eksi
A	Parçacık çapı
Al	Alüminyum
Al ₄ C ₃	Alüminyum karbür
Al ₂ O ₃	Alümina
B	Bor
B ₂ O ₃	Bor oksit
B ₄ C	Bor karbür
B	En
C	Karbon
CO	Karbon monoksit
°C	Santigrat derece
cm	Santimetre
cm ³	Santimertreküp
Cu	Bakır
D	Dakika
D	Orta noktadaki eğilme miktarı
D	Numunenin kalınlığı
E _f	Takviye elemanının elastiklik modülü
E _m	Matris malzemesinin elastiklik modülü
G	Gram
GPa	Gigapascal
H	Yükseklik

HB10	Brinell sertlik değeri
K	İkincil faz içermeyen Al çözeltisi
Kg	Kilogram
KJ	Kilojul
kN	Kilonewton
L	Boy
Lt	Litre
Mg	Magnezyum
m	Metre, kütle
mm	Milimetre
Mo	Molibden
MPa	Megapaskal
N	Newton
Ni	Nikel
O	Oksijen
Si	Silisyum
SiO ₂	Silisyum oksit
Ti	Titanyum
TiB ₂	Titanyum diborür
V	Hacim
W	Watt
X	Boyun çapı
X _c	Kompozit malzemenin herhangi bir özelliği
X _f	Takviye elemanının herhangi bir özelliği
X _m	Matris malzemesinin herhangi bir özelliği
Zr	Zirkonyum
P	Yoğunluk
γ_{lv}	Sıvı katı arasındaki yüzey enerjisi
γ_{sl}	Sıvı yüzey enerjisi

γ_{sv}	Katı yüzey enerjisi
E	Eğilme gerilimi
Θ	Islatma açısı
μm	Mikrometre
Σ	Gerilme
v_f	Takviye elemanının hacimce yüzdesi
v_m	Matris malzemesinin hacimce yüzdesi

Kısaltmalar

ALMK	Alüminyum matrisli kompozit
ASTM	American Society for Testing and Materials
FT-IR	Fourier transform infrared spectroscopy
MMK	Metal matrisli kompozit
MTEOS	Metiltrietoksisilan
TEOS	Tetraetilortosilikat
XRD	X ışını difraksiyonu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. a) Kısa fiber takviyeli hafif metal kompozit dizel pistonu ve b) partikül takviyeli döküm kompozit fren diski.....	4
Şekil 2.2. Çeşitli MMK üretim yöntemleri (Clyne 2001).....	5
Şekil 2.3. Partikül katkılanmış MMK' lerin üretiminde kullanılan geleneksel döküm yöntemleri (Suresh 2004).....	6
Şekil 2.4. Seramik partiküllü kompozit eriyiğinin, işlem sırasında partiküllerin çökmesini minimuma indirmek için karıştırılması (Suresh 2004).	7
Şekil 2.5. Sinterleme işleminin başlangıcında difüzyon ile madde taşınımı ve iki partikülün birbirine bağlanması.....	8
Şekil 2.6. Sinterleme işleminde difüzyon ile gözeneklerin kapanması	8
Şekil 2.7. Sıvı faz sinterleme işlemi	9
Şekil 2.8. Sıcak pres kalıbı (en ortada) ve kalıbın çevresindeki ısıtma fırını (Karakaş 2007)	11
Şekil 2.9. Al - Cu sisteminin alüminyumca zengin bölümü ve oluşan fazlar	16
Şekil 2.10. Çökelti sertleştirme işleminde uygulanan sıcaklıkları gösteren faz diyagramı (Callister 1994)	17
Şekil 2.11. Çökelti sertleştirme işleminde uygulanan ısıtma işlem sıcaklık-süre parametrelerinin şematik gösterimi (Callister 1994).....	17
Şekil 2.12. a) Alüminyum içinde tamamen çözünmüş bakır atomları, b) uyumlu-yarı uyumlu çökelti ve c) uyumsuz çökelti (Callister 1994).....	18
Şekil 2.13. Çökelti sertleştirme işleminde yaşlandırma süresinin çekme dayanımı ve sertlik özellikleri üzerindeki etkisi (Callister 1994).....	18
Şekil 2.14. Çeşitli oranlarda B ₄ C içeren alüminyum matrisli kompozitlere 125 °C sıcaklıkta yaşlandırma süresinin etkisi (Karakaş 2007).....	19
Şekil 2.15. Çeşitli oranlarda B ₄ C içeren alüminyum matrisli kompozitlerin ısıtma işlemsiz ve ısıtma işlemli durumda üç nokta eğme mukavemetleri (Karakaş 2007).	20
Şekil 2.16. Çeşitli oranlarda TiB ₂ içeren ve basınçsız sinterleme yöntemiyle üretilmiş olan alüminyum matrisli kompozitlerin sertlik değerleri (Başar 2011).....	21

Şekil 2.17. Çeşitli oranlarda TiB_2 içeren ve basınçsız sinterleme yöntemiyle üretilmiş olan alüminyum matrisli kompozitlerin üç nokta eğme mukavemet değerleri (Başar 2011).....	22
Şekil 3.1. SiO_2 partikül içeren film (MTKS) hazırlama yöntemi.....	24
Şekil 3.2. SiC ve TiB_2 partiküllerini MTKS ile kaplamada uygulanmış olan karıştırma yöntemi.....	25
Şekil 3.3. Kaplama çözeltisinin hazırlanması ve 2 saat süreyle hidroliz edilmesi.....	26
Şekil 3.4. Kaplama çözeltisine SiC partiküllerinin eklenmesi ve karıştırılması	26
Şekil 3.5. SiC partiküllerinin kaplama çözeltisinden filtre edilerek ayrılması.....	27
Şekil 3.6. Filtre edilen SiC partiküllerinin dağıtılması ve $120\text{ }^{\circ}C$ 'de 2 saat kurutulması.....	27
Şekil 3.7. Seramik tozlarının yüzeylerinin hazırlanan silika çözeltisi ile spre y yöntemiyle kaplanması	28
Şekil 3.8. Filtre edilen SiC partiküllerinin dağıtılması ve $120\text{ }^{\circ}C$ 'de 2 saat kurutulması Seramik partiküllerin silika çözeltisi ile spre y yöntemiyle kaplanması	29
Şekil 3.9. Deneylerde kullanılan; (a) alüminyum ve (b) bakır tozlarının taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri (KARAKAŞ 2007).....	31
Şekil 3.10. Deneylerde kullanılan; (a) SiC ve (b) TiB_2 tozlarının optik mikroskop görüntüleri.....	32
Şekil 3.11. Sıcak pres deney düzeneği.....	34
Şekil 3.12. Üç nokta eğme aparatının şematik gösterimi ve ölçüleri (ASTM B528).	37
Şekil 3.13. İmal ettirilmiş olan üç nokta eğme aparatının fotoğrafları	38
Şekil 3.14. Üç nokta eğme numunesinin boyutları (ASTM B528)	38
Şekil 4.1. Destek fazı içermeyen $Al\text{-}4Cu$ alaşımının mikroyapısı (1000X)	40
Şekil 4.2. Hacimce %5 TiB_2 içeren kompozitin mikroyapısı (1000X)	40
Şekil 4.3. Hacimce %10 TiB_2 içeren kompozitin mikroyapısı (1000X).....	41
Şekil 4.4. Hacimce %15 TiB_2 içeren kompozitin mikroyapısı (1000X).....	41
Şekil 4.5. Hacimce %20 TiB_2 içeren kompozitin mikroyapısı (1000X).....	42
Şekil 4.6. Hacimce %30 TiB_2 içeren kompozitin mikroyapısı (1000X).....	42

Şekil 4.7. Hacimce %40 TiB ₂ içeren kompozitin mikroyapısı (1000X).....	43
Şekil 4.8. Çeşitli oranlarda TiB ₂ içeren ısıl işlemsiz ve ısıl işlemli kompozitlerin sertlik değerleri (kareler: ısıl işlemli kompozitler).....	47
Şekil 4.9. Çeşitli oranlarda TiB ₂ içeren kompozitlerin üç nokta eğme mukavemetleri (kareler: ısıl işlemli kompozitler)	49
Şekil 4.10. Çeşitli oranlarda TiB ₂ içeren kompozitlerin üç nokta eğme % gerinimleri (kareler: ısıl işlemli kompozitler).....	50
Şekil 4.11. a) 230 °C’de kürleştirme uygulanmış MTKS solünün, b) yüzeyi modifiye edilmemiş TiB ₂ tozunun ve c) yüzeyi MTKS ile modifiye edilmiş olan TiB ₂ tozunun FT-IR grafikleri.....	51
Şekil 4.12. Yüzeyi SiO ₂ ile modifiye edilmiş olan TiB ₂ tozundan hacimce % 10 oranında içeren kompozitin mikroyapısı (1000X)	52
Şekil 4.13. Hacimce %5 SiC içeren kompozitin mikroyapısı (500X).....	54
Şekil 4.14. Hacimce %10 SiC içeren kompozitin mikroyapısı (500X)	55
Şekil 4.15. Hacimce %20 SiC içeren kompozitin mikroyapısı (500X).	55
Şekil 4.16. Hacimce %30 SiC içeren kompozitin mikroyapısı (500X)	56
Şekil 4.17. Hacimce %45 SiC içeren kompozitin mikroyapısı (500X).....	56
Şekil 4.18. Çeşitli oranlarda SiC içeren ısıl işlemsiz ve ısıl işlemli kompozitlerin sertlik değerleri (kareler: ısıl işlemli kompozitler).....	59
Şekil 4.19. Çeşitli oranlarda SiC içeren kompozitlerin üç nokta eğme mukavemetleri (kareler: ısıl işlemli kompozitler).....	61
Şekil 4.20. Çeşitli oranlarda SiC içeren kompozitlerin üç nokta eğme % gerinimleri (kareler: ısıl işlemli kompozitler).....	62
Şekil 4.21. (a) 500°C’ de kürleştirme uygulanmış MTKS solüsyonunun, (b) yüzeyi modifiye edilmemiş SiC tozunun, (c) yüzeyi MTKS ile 3 kat ve (d) yüzeyi MTKS ile 6 kat modifiye edilmiş olan SiC tozlarının FT-IR grafikleri.....	63
Şekil 4.22. Yüzeyi SiO ₂ ile modifiye edilmiş olan SiC tozundan hacimce % 20 oranında içeren kompozitin mikroyapısı (100X)	64
Şekil 4.23. a) Modifiyesiz SiC tozunun, b) TiB ₂ tozunun, yüzeyi c) sukrozsuz solden TiB ₂ ile modifiye ve 1100 °C’de kalsine edilmiş, d) sukrozlu solden TiB ₂ ile modifiye ve 1100 °C ’de kalsine edilmiş, e) sukrozlu solden TiB ₂ ile modifiye ve 1200 °C’de kalsine edilmiş olan SiC tozlarının FT-IR grafikleri	66

Şekil 4.24. a) TiB_2 tozunun, yüzeyi b) sukrozsuz solden TiB_2 ile modifiye ve 1100 °C’de kalsine edilmiş, c) sukrozlu solden TiB_2 ile modifiye ve 1100 °C’de kalsine edilmiş, d) sukrozlu solden TiB_2 ile modifiye ve 1200 °C’de kalsine edilmiş olan SiC tozlarının XRD grafikleri. (1 ile işaretlenen pikler TiB_2 , diğer pikler SiC)	67
Şekil 4.25. Yüzeyi TiB_2 ile modifiye edilmiş olan SiC tozundan hacimce % 5 oranında içeren kompozitin mikroyapısı (200X)	68
Şekil 4.26. Yüzeyi SiO_2 ile modifiye edilmiş olan SiC tozundan hacimce % 5 oranında içeren kompozitin mikroyapısı (500X)	68

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Çeşitli metal matrisli kompozitlerin potansiyel kullanım alanları (Şahin 2006)	4
Çizelge 3.1. SiC destek parçacıkları kullanılarak yapılan deneylerde uygulanan sıcaklık ve süreler	35
Çizelge 3.2. TiB ₂ destek parçacıkları kullanılarak yapılan deneylerde uygulanan sıcaklık ve süreler	35
Çizelge 4.1. TiB ₂ içeren ve ısıtıl işlem uygulanmamış olan kompozitlerin yoğunluk değerleri	44
Çizelge 4.2. TiB ₂ içeren ve ısıtıl işlem uygulanmış olan kompozitlerin yoğunluk değerleri	44
Çizelge 4.3. TiB ₂ içeren ve ısıtıl işlem uygulanmamış olan kompozitlerin sertlik değerleri	45
Çizelge 4.4. TiB ₂ içeren ve ısıtıl işlem uygulanmış olan kompozitlerin sertlik değerleri	45
Çizelge 4.5. TiB ₂ içeren ve ısıtıl işlem uygulanmamış olan kompozitlerin mukavemet ve % uzama değerleri.....	48
Çizelge 4.6. TiB ₂ içeren ve ısıtıl işlem uygulanmış olan kompozitlerin mukavemet ve % uzama değerleri.....	49
Çizelge 4.7. Yüzeyi SiO ₂ ile modifiye edilmemiş ve edilmiş olan TiB ₂ tozlarından hacimce %10 oranında içeren kompozitlerin ısıtıl işlemsiz mekanik özellikleri	53
Çizelge 4.8. Yüzeyi SiO ₂ ile modifiye edilmemiş ve edilmiş olan TiB ₂ tozlarından hacimce %10 oranında içeren kompozitin ısıtıl işlemlili mekanik özellikleri	53
Çizelge 4.9. SiC içeren ve ısıtıl işlem uygulanmamış olan kompozitlerin yoğunluk değerleri	57
Çizelge 4.10. SiC içeren ve ısıtıl işlem uygulanmış olan kompozitlerin yoğunluk değerleri	57
Çizelge 4.11. SiC içeren ve ısıtıl işlem uygulanmamış olan kompozitlerin sertlik değerleri	58
Çizelge 4.12. SiC içeren ve ısıtıl işlem uygulanmış olan kompozitlerin sertlik değerleri	59

Çizelge 4.13. SiC içeren ve ısıt işlem uygulanmamış olan kompozitlerin mukavemet ve % uzama değerleri.....	60
Çizelge 4.14. SiC içeren ve ısıt işlem uygulanmış olan kompozitlerin mukavemet ve % uzama değerleri.....	61
Çizelge 4.15. Yüzeyi SiO ₂ ile modifiye edilmemiş ve edilmiş olan SiC tozlarından hacimce %20 oranında içeren kompozitlerin ısıt işlemsiz mekanik özellikleri	65
Çizelge 4.16. Yüzeyi TiB ₂ ile modifiye edilmiş olan SiC tozlarından hacimce %5 oranında içeren kompozitlerin ısıt işlemsiz yoğunluk değerleri	69
Çizelge 4.17. Yüzeyi TiB ₂ ile modifiye edilmiş olan SiC tozlarından hacimce %5 oranında içeren kompozitlerin ısıt işlemli yoğunluk değerleri	69
Çizelge 4.18. Yüzeyi TiB ₂ ile modifiye edilmemiş ve edilmiş olan SiC tozlarından hacimce %5 oranında içeren kompozitlerin ısıt işlemsiz mekanik özellikleri	71
Çizelge 4.19. Yüzeyi TiB ₂ ile modifiye edilmemiş ve edilmiş olan SiC tozlarından hacimce %5 oranında içeren kompozitlerin ısıt işlemli mekanik özellikleri	72

1. GİRİŞ

Metal matrisli kompozitler (MMK), ağırlıkça hafif olmalarına rağmen yüksek elastiklik modülü, sertlik, yüksek sıcaklıklarda dayanım ve düşük termal genleşme gibi özelliklere sahiptirler. Düşük özgül ağırlığı sebebiyle alüminyum, metal matrisli kompozitlerde matris malzemesi olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Böylece alüminyumun düşük olan elastiklik modülü, aşınma direnci ve sertliğinin artırılması amaçlanmaktadır. Başlıca üretim yöntemleri döküm ve toz metalurjisi olan alüminyum matrisli kompozitler, istenilen özelliklere göre fiber veya partikül formunda SiC, Al₂O₃, TiB₂, B₄C, C, B, gibi malzemelerle desteklenmektedirler.

Bu çalışmada uygulanmış olan sıcak presleme yöntemi, toz metalurjisinde yaygın olarak kullanılan ve fazladan daha ileri işlemlere gerek kalmadan istenilen boyutlarda parça üretimini sağlayabilen bir metottur. Bu yöntemde üzerinde en sık çalışılan sistemlerden birisi alüminyum-bakır sistemidir. % 4 bakır içeren alüminyum alaşımının iki çeşit avantajı bulunmaktadır. Birincisi, sinterleme sırasında sıvılaşma sıcaklığının üzerinde sınırlı miktarda sıvı faz oluşturularak, sıvı faz sinterleme işleminin gerçekleşmesinin sağlanmasıdır. İkinci avantaj ise, bu alaşımla üretilen parçaların çökelti sertleştirilmesi yöntemiyle mukavemet ve sertliklerinin artırılabilir olmasıdır.

Bu çalışmanın konusu, TiB₂ ve SiC partikül takviyeli alüminyum matrisli (Al-% 4 Cu) kompozitlerin sıcak presle üretimi ve bu kompozitlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesidir. Öncelikle TiB₂ ve SiC partikülleri herhangi bir işleme tabi tutulmadan kullanılmışlardır. Daha sonra, TiB₂ ve SiC tozlarının yüzeyleri; alüminyum tarafından ıslatılabilirliklerinin iyileştirilmesi ve arayüzey reaksiyonunun engellenmesi amacıyla sol-jel yöntemiyle TiB₂ ve SiO₂ filmi ile kaplanmaya çalışılmıştır. Titanyum diborür, alüminyum ile reaksiyona girmemektedir ve alüminyum tarafından kolay ıslatılabilmektedir. TiB₂ veya SiO₂ kaplanmış olan SiC partikülleri, alüminyum ve bakır tozları ile karıştırılmış ve sıcak preste sinterlenmiştir. Elde edilen alüminyum matrisli kompozitlerin mikroyapıları incelenmiş, sertlik değerleri ve üç nokta eğme mukavemetleri belirlenmiştir.

2. KAYNAK TARAMASI ve KURAMSAL BİLGİLER

2.1. Kompozit Malzemeler

Genel olarak kompozit, iki veya daha fazla malzemenin bir araya gelmesiyle elde edilir. Kompozit, kendisini oluşturan her fazın özelliğini ihtiva eder ve bu özelliklerin kombinasyonu ile daha üstün özellikler elde etmek amacıyla üretilir. Kompozitler, saf malzemelere kıyasla üstün özelliklere sahip oldukları için ve bileşenlerinin çeşitli işlemlerle bir araya getirilmesi sebebiyle ileri teknoloji malzemeleridir (Callister 2008).

Kompozit malzemelerde, matris olarak adlandırılan bir bileşen yapıda sürekli bir faz oluşturur ve destek fazı olarak adlandırılan diğer bileşeni sarar. Bu şekilde, matris fazı, destek parçacıklarının bir arada tutulmasını sağlar. Kompozitler, matris malzemesinin türüne göre isimlendirilir. Metal matrisli, seramik matrisli ve polimer matrisli kompozitler farklı özelliklere sahiptir ve farklı uygulama alanlarında kullanılmaktadırlar. Bununla birlikte, destek fazının geometrisi de kompozit türünü belirleyen etmenlerdendir. Partikül takviyeli, fiber takviyeli, kısa fiber (visker) takviyeli kompozitler bulunmaktadır. Genellikle, kullanılan takviye fazı matris fazından çok daha yüksek sertliğe sahiptir ve oluşan kompozit yapısına sertlik kazandırır. Nispeten daha yumuşak olan matris fazı, destek fazını bir arada tutarak, yükün destek fazına iletimini sağlar (Callister 2008, Cantor vd 2004).

Bu çalışmanın konusu, TiB_2 ve SiC partikül takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin sıcak presle üretimi ve karakterizasyonudur. Bu sebeple literatür incelemesi partikül takviyeli alüminyum matrisli kompozitler ve sıcak pres yöntemi üzerinde yoğunlaştırılmıştır.

2.2. Metal Matrisli Kompozitler (MMK)

Metal matrisli kompozitler, polimer matrisli kompozitlerden sonra en yaygın kullanım alanına sahip olan kompozit çeşididir. Bu kompozit türünde, partikül veya fiber şeklinde olan destek fazını bir arada tutan metal matris yapısıdır. Destek fazının matris fazından daha sert olması sayesinde, metal matrisli kompozitler matris metaline kıyasla daha yüksek sertlik, mukavemet, aşınma direnci değerlerine sahiptirler.

Metal matrisli kompozitlerde, en sık kullanılan matris malzemeleri; alüminyum, titanyum, bakır, magnezyum gibi metallerin alaşımlarıdır. Intermetalik matrisli kompozitlere olan ilgi de iyi yüksek sıcaklık özellikleri sebebiyle giderek artmaktadır.

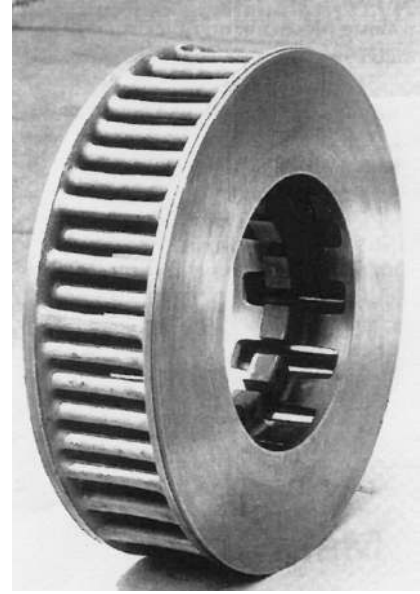
Destek fazı olarak; karbon, boron, silisyum karbür fiberler veya alüminyum oksit, bor karbür, silisyum karbür, titanyum diborür ve diğer sert seramikler partikül halinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.3. Metal Matrisli Kompozitlerin Kullanım Alanları

Bu çalışmanın konusu olan partikül takviyeli alüminyum matrisli kompozitler ulaşım, havacılık ve savunma sanayinde kullanılmaktadır. Hafifliklerinin yanında, sert seramik partiküllerle takviye edilmiş halde birçok yapısal uygulamada tercih edilmektedirler. Metal matrisli kompozitler, özellikleri geliştikçe kullanım alanları genişlemekte olan ve kullanım miktarları artmakta olan malzemelerdir. Otomotiv sektöründe dökme fren diski, piston, şasi parçaları gibi uygulamalarda kullanılarak otomobillerin ağırlığını azaltmada önemli rol oynamaktadırlar (Şekil 2.1a, b). Otomobil buji kolları, rijitlik ve hafiflik ile birlikte iyi yorulma direnci sağlamak için basınçlı döküm yöntemi kullanılarak Al_2O_3 takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzemeden yapılmaktadır. Yüksek sıcaklık özelliklerine sahip olan bu kompozitler otomotiv sanayinde yaygın kullanım alanına sahiptirler (Şahin 2006). Alternatif enerjili taşıtlarda, boş ağırlığın azaltılması çok önemli bir husustur. Dolayısıyla yeni nesil otomobillerde alüminyum matrisli kompozitler çeliğin yerini almaktadır ve bu oranın artması kaçınılmaz olarak görülmektedir. Çeşitli MMK malzemelerin potansiyel kullanım alanları Çizelge 2.1' de sunulmaktadır.



(a)



(b)

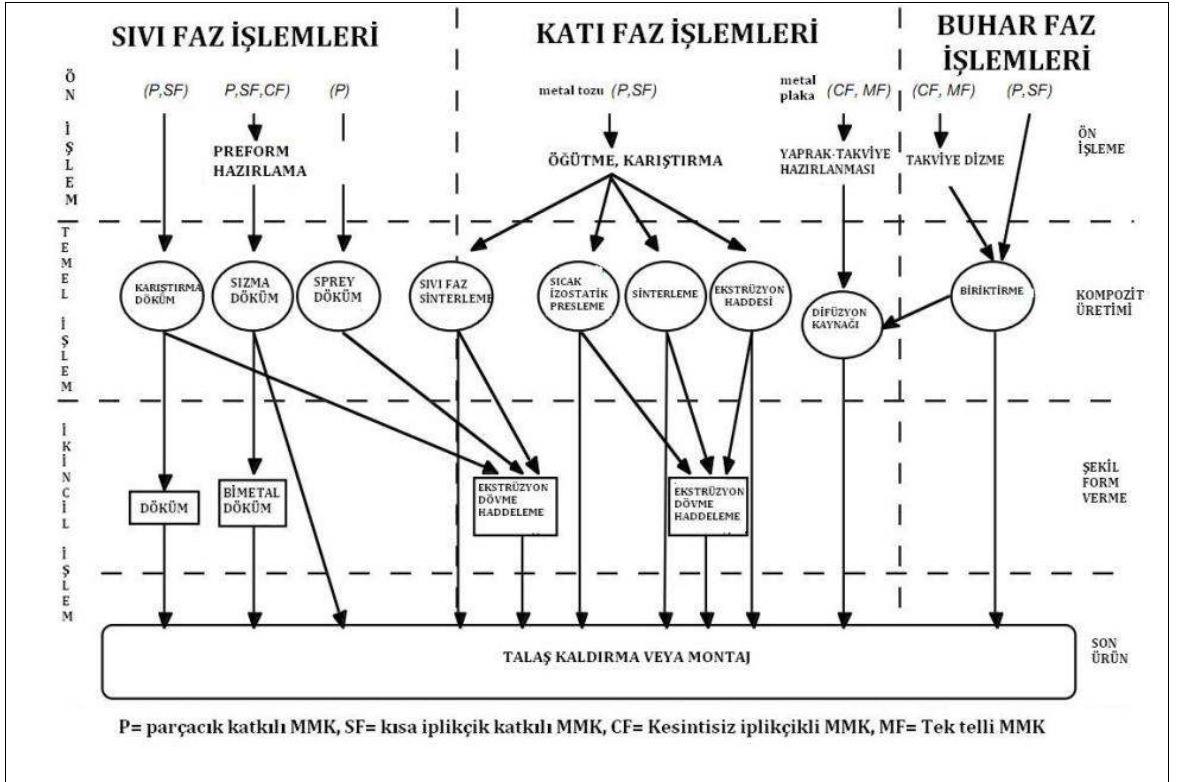
Şekil 2.1. a) Kısa fiber takviyeli hafif metal kompozit dizel pistonu ve b) partikül takviyeli döküm kompozit fren diski

Çizelge 2.1. Çeşitli metal matrisli kompozitlerin potansiyel kullanım alanları (Şahin 2006)

Kullanılan MMK	Uygulama alanları	Bazı ayırt edici özellikleri
Al / Grafit, Al / Al ₂ O ₃ , Al / SiC- Al ₂ O ₃	Otomobil pistonları, silindir gömlekleri, biyel kolları,	Daha ucuz, daha hafif, kendi kendine yağlama, Cu, Pb, Sn, Zn tasarrufu
Cu / Grafit	Kaymalı elektriksel kontaklar	Mükemmel iletkenlik, yapışmama özelliği
Al / SiC	Turboşarj pervaneleri	Yüksek sıcaklık kullanımı
Al / cam veya karbon mikrobalonları	Turboşarj pervaneleri	Ultra hafif malzemeler
Mg / karbon fiber	Uzay yapıları için boru şeklindeki kompozitler	Sıfır ısıl genleşme, yüksek sıcaklık mukavemeti, iyi özgül mukavemet ve modül
Al / ZrO ₂ , Al / SiC, Al / SiO ₂	Kesici takımlar, makine örtüleri, pervaneler	Sert, abrazif aşınma dirençli malzemeler

2.4. Metal Matrisli Kompozitlerin Başlıca Üretim Yöntemleri

Metal matrisli kompozit malzemelerin üretimi için, matris ve destek fazlarının özelliklerine göre çok çeşitli üretim yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında; basınçsız sinterleme, basınçlı sinterleme, eriyik metal karıştırma, sıkıştırma döküm, sıvı infiltrasyon, sprej ve buhar biriktirme yöntemleri sayılabilirler. Metal matrisli kompozitlerin üretimi için uygulanmakta olan başlıca yöntemler; toz metalurjisi (katı hal yöntemleri) ve döküm yöntemleridir (sıvı işlem yöntemleri) (Şekil 2.2). Tezin bu bölümünde metal matrisli kompozitler için başlıca sıvı ve katı hal yöntemleri üzerinde durulacaktır.

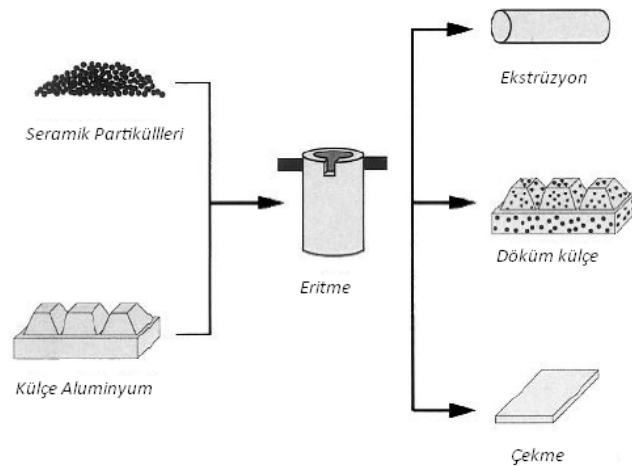


Şekil 2.2. Çeşitli MMK üretim yöntemleri (Clyne 2001)

2.5. Sıvı İşlem Yöntemleri

Döküm yöntemi; eriyik metale seramik tozlarının karıştırılması (vorteks yöntemi) (Ray 1993) ve dökülmesi, önceden hazırlanan gözenekli seramik preform içine eriyik metal (basıncılı veya basınçsız) emdirme (infiltrasyon), ya da seramik fiber preforma infiltrasyon gibi yöntemleri kapsamaktadır (Clegg 1991, Rohatgi 1988). Bu yöntemlerden en kolayı, en ucuzu ve büyük parçaların üretimine imkân veren türü, eriyik metale seramik tozlarını karıştırma ve sonrasında uygulanan döküm yöntemidir. Dökümle kompozit üretilen diğer yöntemlerde (sıvı infiltrasyon) önceden hazırlanan bir preforma ihtiyaç duyulmaktadır ve parça boyutu sınırlı olmakla birlikte bu yöntemleri uygulamak pahalı ve zordur (Clegg 1991, Rohatgi 1988). Vorteks yönteminde ise, bir pota fırınında metal eritilmekte ve seramik tozlar metale eklenerek karıştırılmaktadır (Ray 1993). Karıştırma tamamlandıktan sonra istenilen şekildeki veya büyüklükteki kalıba döküm yapılabilir. Literatürde, bu yöntemle yapılmış olan daha önceki çalışmalarda (Ray 1993) SiC, Al₂O₃ ve B₄C içeren kompozitlerin üretimi üzerinde çalışılmıştır (Cornie vd 1986, Chappell 1989).

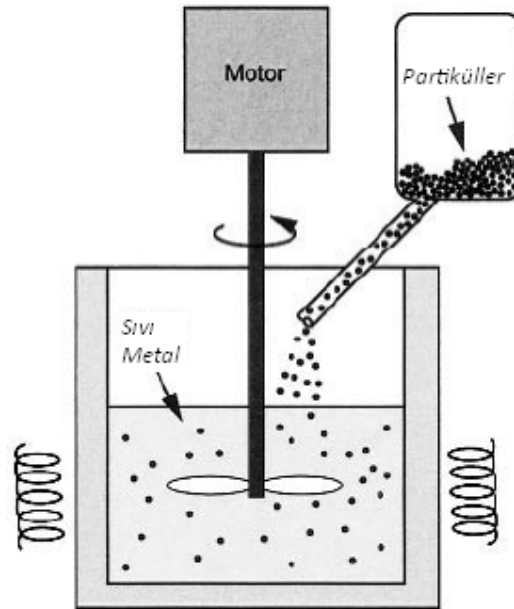
Metalik alaşımları dökmek için kullanılan geleneksel ekipmanlar ile MMK'lerin dökümü de gerçekleştirilebilir. Yöntemde genel olarak, fiber yapıların basınç olmadan katkılanmasının zorluğundan dolayı partikül formda destek maddesi kullanılır (Suresh 2004). Partiküller ve matris karışımı külçeler halinde dökülür ve ekstrüzyon ya da haddeleme gibi ikinci bir mekanik proses kompozite uygulanır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Partikül katkılanmış MMK'lerin üretiminde kullanılan geleneksel döküm yöntemleri (Suresh 2004)

MMK' lerin dökümü, geleneksel döküm proseslerine ek olarak birkaç modifikasyon gerektirir;

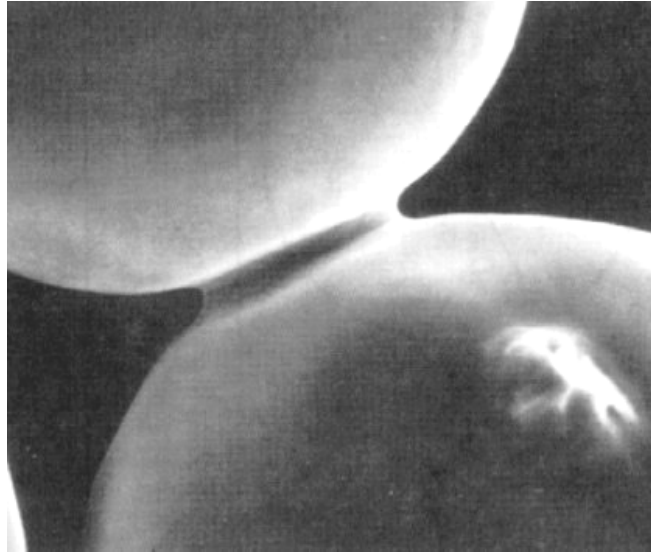
- Destek malzemesi ile minimum reaktivite gösteren alaşımlar kullanılmalıdır. Al-Si alaşımları (Si seviyesi % 9' a kadar) tipik olarak SiC destek fazıyla kullanılır. Sıcaklığa bağlı olarak, belirli bir değerin altında, SiC ve Al reaksiyona girerek Al_4C_3 oluşturmaktadır.
- Destek partiküllerinin eklenmesi eriyiğin viskozitesini yükseltir. Bu nedenle, kompozit eriyiğinin sıcaklığı, eriyiğin çok viskoz olmasını önlemek adına belli bir sıcaklık limitinin üstünde olmalıdır (Al-Si / SiC için yaklaşık $745^{\circ}C$) . Eriyiği inert gaz atmosferine tabi tutmak oksidasyona uğramasını azaltır.
- Kompozit eriyiği karıştırmak gereklidir (Şekil 2.4). Örneğin, SiC' ün yoğunluğu ($3,2 \text{ g/cm}^3$), Al' un yoğunluğundan ($2,2 \text{ g/cm}^3$) daha fazla olduğundan dolayı, eriyik karıştırılmadığı takdirde partiküller çökecektir. Manyetik bir alan içinde alternatif akım ve mekanik vibrasyon yöntemleri de, ıslatmayı ve destek maddesinin sıvı matris içinde geçirgenliğini artırmak adına kullanılmıştır.



Şekil 2.4. Seramik partiküllü kompozit eriyiğinin, işlem sırasında partiküllerin çökmesini minimuma indirmek için karıştırılması (Suresh 2004).

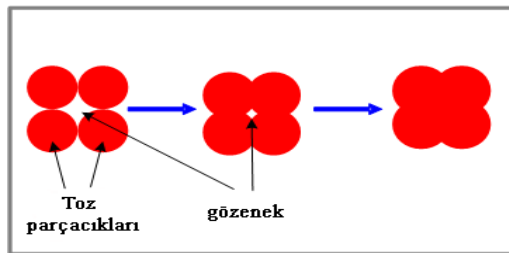
2.6. Katı Hal Yöntemleri

Toz karışımlarının soğuk presleme işlemi ile şekillendirilmesi sonrasında, malzeme birbirine sadece mekanik olarak tutunan parçacıklardan oluşmaktadır. Bu parçacıkların yüzey alanı toplamı çok büyüktür. Başlangıç parçacıkları ne kadar küçükse, spesifik yüzey alanı o kadar fazladır. Sıcaklık etkisi altında bu yüzey alanı, parçacıkların birbirine kaynaması sonucu azalır (Groover 2007). Metal matrisli kompozitlerin katı hal yöntemleriyle üretiminde prensip; sıvı faz yöntemlerindeki aksine malzemenin tamamen erimesine izin verilmeyip, difüzyon ile madde taşınımından yararlanarak sinterleme işleminin gerçekleştirilmesidir (Şekil 2.5). Yüzey alanının azaltılması sinterlemenin temel mekanizmaları arasındadır.



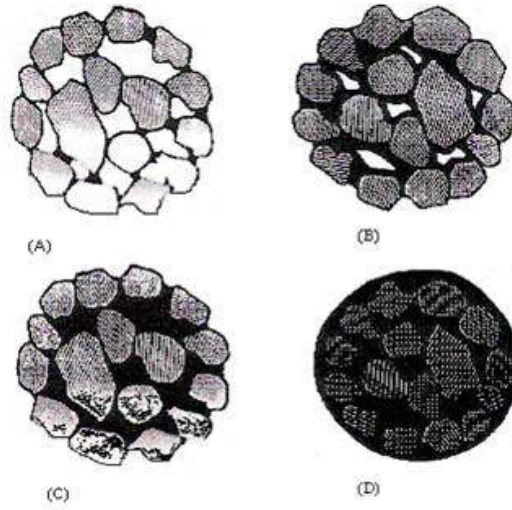
Şekil 2.5. Sinterleme işleminin başlangıcında difüzyon ile madde taşınımı ve iki partikülün birbirine bağlanması

Sıvı faz oluşturulmadan gerçekleştirilen sinterleme işlemlerinde difüzyon hızı çok düşük olduğu için sinterleme süreleri uzundur. Şekil 2.6' da sıvı faz olmadan gerçekleştirilen sinterlemenin aşamaları şematik olarak görülmektedir.



Şekil 2.6. Sinterleme işleminde difüzyon ile gözeneklerin kapanması

Sinterlemenin etkisinin artırılması, gözenekliliğin azaltılması, difüzyonun hızlandırılması amacıyla içinde az miktarda sıvı faz oluşacak sistemler de seçilebilmektedir (sıvı faz sinterleme). Bu yöntemde, birbiri içinde çözünecek ve ötektik reaksiyon ile yapıda sıvı faz oluşumunu sağlayacak metal çiftleri seçilmektedir. Bu sebeple sinterleme işlemi, matris alaşımının faz diyagramına göre katı+sıvı bölgesinde bulunduğu sıcaklıkta gerçekleştirilir. Bu sistemlere, alüminyum toz metalurjisi açısından en iyi örnek Al-% 4 Cu sistemidir. Al-Cu sistemi bu tez kapsamında ileriki bölümlerde daha ayrıntılı ele alınacaktır. Mikroyapı ve malzeme taşınması katı faz sinterlemesinden hızlıdır. Bunun sebebi sıvı fazda difüzyonun katı fazdan çok daha hızlı olmasıdır. Şekil 2.7' de sıvı faz sinterleme işlemi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Sıvı faz sinterleme işlemi

Sıvı faz sinterleme için üç aşama önerilmiştir (Kang 2005). Birinci aşamada sıvılaştırma sıcaklığının üzerine çıkan alaşımda bir miktar sıvı faz oluşur ve bu sıvı faz kılcallık etkisiyle taneler arasındaki gözenekleri doldurur. İkinci aşamada sıvı faz tanelerin arasına getirerek burada soğur ve katılaşıp katı parçacıkları birleştiren bir yapıştırıcı gibi parçaların arasında kalır. Son aşamada ise difüzyon ile bir miktar katı faz sinterleme görülür.

Sıvı faz sinterlemede difüzyonun hızlı olması sonucunda istenmeyen intermetalik bileşiklerin oluşumu da mümkün olmaktadır. Bununla birlikte, destek parçacıkları ile matris arasında reaksiyon gerçekleşme olasılığı da artmaktadır. Bu sebeple işlem

sıcaklığının mümkün olduğu kadar düşük tutulması ve fazla sıvı faz oluşmasının engellenmesi gerekebilir. (Karakaş 2007).

Toz metalurjisi yönteminde genellikle 10-50 µm boyutlu alüminyum tozu ve seramik partikül kullanılmaktadır. Bu tozlar karıştırıldıktan sonra soğuk tek eksenli preste veya izostatik preste preslenmekte ve sonrasında ısıtılarak sinterlenmekte ve böylece partiküllerin birbirine kaynaması sağlanarak yüksek yoğunluklu parçalar elde edilmektedir (Froyen ve Verilinden 1994, Srivatsan vd 1991) (basınçsız sinterleme). Basınçsız sinterleme, belirli basınçlarla sıkıştırılmış metal tozlarının sinterleme esnasında fırında başka bir dış kuvvete maruz kalmadan sinterlenmesine denir. Sinterleme esnasında herhangi bir dış basınca maruz kalmayan sıkıştırılmış tozlar içsel kuvvetlerin etkisiyle birbirine kaynar. Bu kuvvetler sıkıştırma basıncı, boşluk yoğunluğu farkı ve gaz basıncı farkıdır. Bu kuvvetler farklı oranlarda parçacıklar arası malzeme geçişine katkıda bulunarak sinterlemenin mümkün olmasını sağlar. Basınçsız sinterlemede tane sınırı difüzyonu, viskoz akış ve buharlaşma-yoğunlaşma mekanizmaları rol oynar.

2.6.1. Sıcak presleme

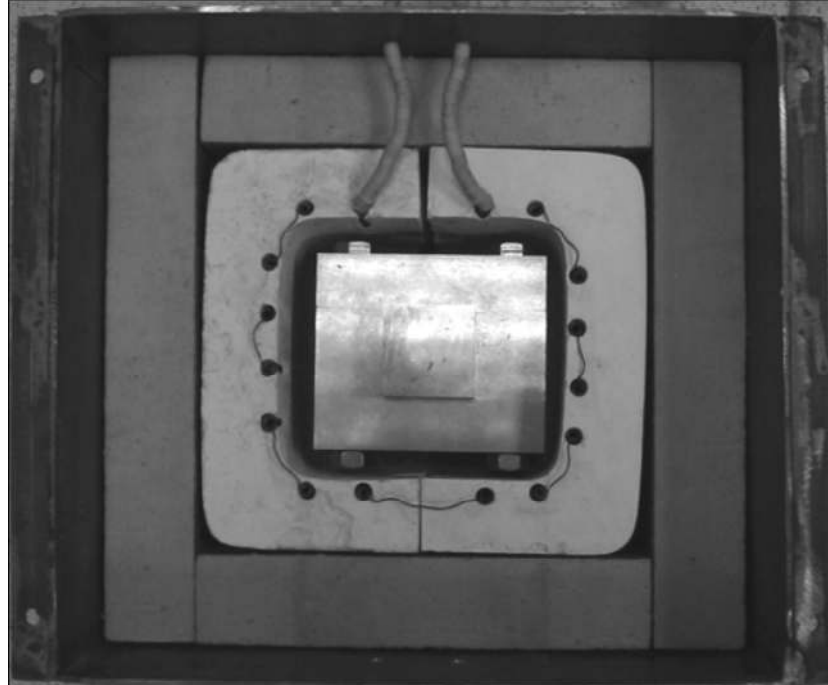
Soğuk presleme ve sinterleme basamakları birleştirilerek, sıcak presleme ile de ürünler üretilmektedir. Sıcak pres yönteminde sıcaklık ve basınç aynı anda uygulandığı için daha yüksek yoğunluklu parçalar üretilmektedir. Yoğunluk oranı, diğer bir deyişle ürünün gözenekliliğinin, mekanik özellikler üzerinde çok önemli etkisi bulunmaktadır. % 2 gibi düşük miktardaki gözeneklilik dahi mekanik özellikleri önemli ölçüde olumsuz olarak etkilemektedir (Chawla ve Chawla 2006, Cantor vd 2004).

Basıncılı sinterleme işlemi, zor sinterlenen malzemelerin sinterlenmesini kolaylaştırmaktadır. Artan sıcaklık ile sinterlenen parçacıklar yumuşar ve plastik deformasyonları kolaylaşır. Bu etki ile parçacıklar birbirlerine yaklaşır, kaynar ve aralarındaki gözenekler kapanır. Basınçsız sinterleme işleminde parçacık boyutu, parçacık şekli, toz karakteristiği gibi özellikler önemlidir. Fakat basınçlı sinterlemede bu parametreler daha az öneme sahiptir. TiB₂ katkılı alüminyum matrisli kompozitlerle ilgili bir çalışmada seramik parçacık oranları yüksek olduğu zaman presleme basıncının

ve uygulanan sıcaklığın arttırılmasının gözenek oluşumunu azalttığı belirtilmiştir (Tjong 2006).

Sıcak pres işleminin etkisi, alüminyum toz metalurjisinde görülmektedir. Parçacıkların yüzeylerindeki oksit filmi sebebiyle basınçsız sinterleme ile yüksek yoğunluklara ulaşmak zor olmaktadır. Buna karşın, alüminyum ve magnezyum parçacıklarının yüzeyinde bulunun oksit filmi, basınçlı sinterleme sırasında zarar görür ve kırılır. Bu da sabit basınçta sıcak sinterlenmiş parçaların tozları arasında difüzyonu sağlar (Karakaş 2007).

Sıcak presleme işleminde, toz formunda olan başlangıç malzemeleri uygun oranlarda tartılıp karıştırıldıktan sonra, genellikle (alüminyum alaşımları için) sıcak iş takım çeliğinden uygun geometride imal edilmiş olan kalıbın boşluğuna dökülür. Kalıba basınç uygulanır ve rezistans fırını içinde kalıp ısıtılır (Şekil 2.8). İstenilen sıcaklıkta ve basınçta belirli süre beklendikten sonra kalıp soğutulur ve malzeme kalıptan çıkartılır. Alüminyumun, çelik kalıba yüksek sıcaklıkta kaynamaması için yüksek sıcaklık yağlayıcılarını kullanmak gerekmektedir.



Şekil 2.8. Sıcak pres kalıbı (en ortada) ve kalıbın çevresindeki ısıtma fırını (Karakaş 2007)

Toz metalurjisi yönteminin avantajları arasında, fazladan talaşlı işlemlere gerek kalmadan net boyutlarda ürün imalatının sağlanabilmesi, yüksek yoğunluklara ulaşılabilmesi sayılabilir. Fakat bu yöntemin bazı dezavantajları bulunmaktadır. Büyük boyutlu ürünlerin ve karmaşık şekillerin üretimi zordur. Gözeneksiz veya düşük gözenekli bir yapı elde etmek için basınçlı sinterleme gerekebilir. Bu sistemler maliyeti arttırmaktadır (Srivatsan vd 1991, Chawla ve Chawla 2006)

2.7. Metal Matrisli Kompozitlerde Destek-Matris Arayüzey Bağı

Destek ve matris arasındaki etkileşim, kompozitin özelliklerini etkileyen kritik bir faktör olarak bilinmektedir. Bu sebeple destek fazı ile matris arasındaki arayüzey bağının, difüzyonun ve reaksiyonun kontrol edilmesi gerekmektedir. Arayüzey bağı, mekanik özellikleri etkilemektedir. Arayüzeyde meydana gelen difüzyon ve reaksiyon ise, destek fazının bozunmasına sebep olabilmektedir. MMK' lerde destek ve matris arayüzeyi, diğer kompozit çeşitlerinde olduğu gibi mekanik veya kimyasal bağlanmayla ilgilidir (Chappell 1989).

Üretim yöntemleri ve seramik ve metal arasındaki uyumsuzluklar sebebiyle destek ve matris arasında istenilen arayüzeyin elde edilmesini zorlaştırmaktadır. Destek ve matris fazlarındaki farklı termal genleşme katsayıları, üretim yöntemine bağlı olarak kompozitte kalıntı gerilmelerin oluşmasına sebep olabilir. Termal genleşme katsayısı farkı mevcutsa, termal döngü ayrıca MMK' lerde gerilmelere sebep olabilir. Yüzey enerjisi farkları ayrıca destek fazının matris tarafından yeterli oranda ıslatılamaması gibi sonuçlara yol açabilir. Bu durum, partikül destekli kompozitlerde yapısal zayıflığa ve destek fazının topaklanmasına yol açabilir. Matris ile destek fazı arasında, ötektik bileşiklerin oluşumuyla sonuçlanabilen istenmeyen reaksiyonlar gerçekleşebilir. C-Al çifti buna örnek olarak gösterilebilir. Bu kompozit sisteminde zayıf ıslatma önemli bir problemdir. Islatılabilirlik 1000 °C'nin üzerinde artmaktadır. Fakat 500 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda karbon ve alüminyum arasında reaksiyon gerçekleşmektedir ve gevrek karaktere sahip alüminyum karbür oluşmaktadır (Chappell 1989).

Seramik tozu kullanarak döküm veya toz metalurjisi yöntemiyle alüminyum kompoziti üretiminde en önemli zorluklardan birisi, seramik tozlarının eriyik alüminyum tarafından ıslatılmamasıdır. Bu sorun, döküm yöntemiyle alüminyum

matrisli kompozit üretiminde birçok seramik tozunun kullanımını kısıtlamaktadır. Seramik partiküllerin alüminyum tarafından ıslatılabilirliğini arttırmak için, bazı önlemler alınmaktadır. Fakat bu önlemler, az sayıda seramik için geçerlidir veya pahalı ve zordur. Örneğin SiC partiküllerinin yüzeyine, eriyik alüminyumla karıştırılmadan önce, 1000-1200 °C’ de oksitleme işlemi uygulanmaktadır. Oksitleme işlemi sonrasında yüzeyde oluşan silisyum oksit (silika) tabakası, SiC partiküllerinin alüminyum tarafından ıslatılabilmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda, SiC ile Al arasındaki istenmeyen reaksiyonlar da silika tabakası tarafından önlenmektedir (Cornie vd 1986). Fakat fırında oksitleme işleminde, SiC partiküllerinin yüzeyinde oluşan oksit tabakasının kalınlığını kontrol etmek mümkün olmamaktadır. Partikül boyutuna göre yüzey alanı değiştiği için oksitlenme miktarı farklı olmaktadır (Cornie vd 1986).

Destek fazı ve matris arasındaki reaksiyonda difüzyon rol oynamaktadır. Difüzyon, destek fazına kaplama işlemi uygulanarak veya matrise alaşım elementleri eklenerek yavaşlatılabilmektedir. Örneğin, karbon ve alüminyum arasındaki reaksiyon, kompozit üretimi öncesinde karbon fiberlerin yüzeyine titanyum ve boron biriktirilerek önlenebilmektedir. Destek fazının yüzeyine uygulanan kaplamalar da ıslatılabilirliği artırmaktadır. Örneğin silika kaplamalı karbon fiberler eriyik magnezyum tarafından kaplamasız fiberlere kıyasla çok daha iyi ıslatılabilmektedir. Bor fiberler de ıslatılabilirliğin geliştirilmesi için kaplanabilir. Örneğin bor fiberlerin üzerine uygulanan bor karbür kaplama, titanyum ve alüminyum matrisler ile reaksiyonu engellemektedir. Bor fiber üzerine SiC kaplama alüminyum ile reaksiyonu azaltmaktadır. Destek fazı ile matris arasında kimyasal bağ ve/veya gelişmiş ıslatılabilirlik matris kompozisyonunu modifiye ederek de sağlanabilir. Matris içine, destek fazı ile seçici olarak reaksiyona girebilecek elementler eklenerek, destek fazı yüzeyinde matris tarafından ıslatılabilecek bir tabaka yaratılabilir. Bu tekniğin en başarılı örneklerinden birisi, alüminyum matriste alümina fiberlerin tutunmasını arttırmak için içine az miktarda (% 2-3) lityum eklenmesidir. Lityumun alümina ile reaksiyona girdiği ve lityum alüminat oluşturduğu ve oluşan fazın alüminyum tarafından daha iyi ıslatılabildiği düşünülmektedir (Chappell 1989).

Partiküllerin ıslatılabilirliğini arttırmada kullanılan diğer bir yöntem ise akımsız kaplama yöntemiyle bakır veya nikel kaplamadır. Bu yöntemde seramik partiküller,

çeşitli metal iyonları içeren asit çözeltilerinde bekletilerek yüzeylerinin metal kaplanması sağlanmaktadır. Bu yöntemle, karbon fiberler kaplanarak, alüminyum matrisli kompozit üretiminde kullanılmışlar ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Fakat bu yöntem pahalı ve uygulaması zordur (Yu vd 2005). Al_2O_3 partiküllerinin kaplanması için yapılmış olan diğer bir çalışmada, itriyum nitrat sulu çözeltisi kullanılmıştır. Bu çözelti içerisinde karıştırılan Al_2O_3 partikülleri, sonrasında kalsine edilmiş ve yüzeylerinde itriyum oksit tabakası oluşması sağlanmıştır. İtriyum oksit kaplanmış alümina partikülleri içeren alüminyum matrisli kompozitin mekanik özelliklerinin iyileştiği belirlenmiştir. Fakat bu yöntemde, itriyum nitrat çözeltisinde karıştırma sonrasında 950 °C gibi yüksek sıcaklıklarda kalsinasyon işlemi, maliyeti artırmakta ve uygulanabilirliği azaltmaktadır (Rams vd 2007).

2.7.1. Arayüzeyin mekanik özellikler üzerindeki etkileri

Metal matrisli kompozitlerde en fazla arzu edilen özellikler mukavemet, kırılma tokluğu, sürünme davranışı yorulma direnci, korozyon direnci ve sönümleme özelliğidir. Bu özelliklerin göreceli önemi, uygulamaya göre değişmektedir ve aynı zamanda destek-matris ara yüzeyini de içeren birkaç faktörden etkilenmektedir. Bu faktörlerin bazıları hakkında bu bölümde bilgi verilmektedir.

2.7.1.1. Mukavemet

Metal matrisli kompozitlerin geliştirilmesinde ve kullanılmasında belki de en önemli faktör, özellikle yüksek sıcaklıklarda matrise kıyasla geliştirilmiş mukavemettir. Bu sebeple, destek-matris arayüzeyinin kompozitin mukavemeti üzerindeki etkileri üzerinde birçok çalışma yapılmıştır. Belirli bir matris malzemesi için kazanılan mukavemet, büyük ölçüde destek fazının matris tarafından yeterli ıslatılmasına bağlıdır. Çünkü etkili bir yük aktarımı için güçlü bir bağ gerekmektedir. En yüksek mekanik mukavemet sürekli fiberlerle elde edilmektedir. Visker veya parçacık destekli metal matrisli kompozitlerde destek-matris arayüzeyinin çekme mukavemeti, kompozitin mukavemetinde ana etken değildir. SiC kısa fiber takviyeli alüminyum matrisli kompozitler için çekme mukavemetini belirleyen en önemli etken matris malzemesidir. Visker takviyeli bir MMK' de çekme mukavemetinin, destek fazı içermeyen matristen sadece yüksek sıcaklıklarda daha yüksek olduğu belirtilmektedir (Chappell 1989).

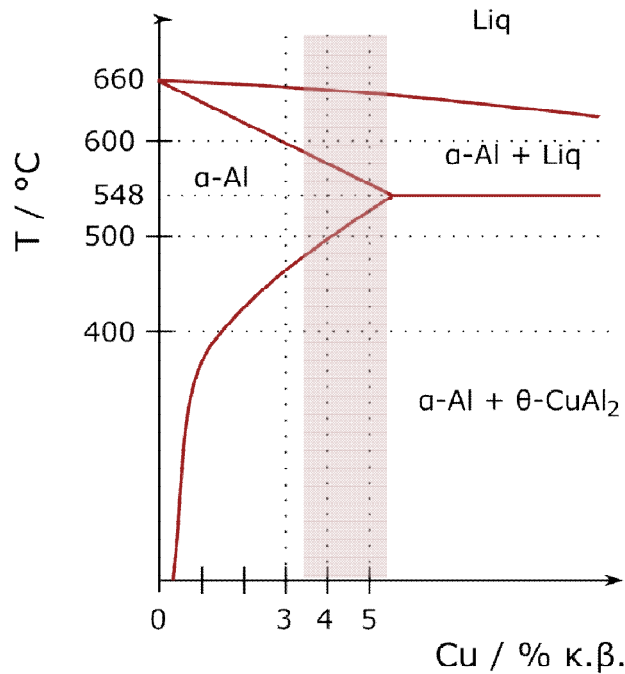
2.7.1.2. Kırılma tokluğu

MMK'lerin kırılma tokluğu, özellikle katkı fazının türü, boyutu, oryantasyonu ve dağılımı, matrisin özellikleri, imalat yönteminin gözeneklilik vb. mikroyapısal özelliklere etkisi gibi birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörler, doğrudan ya da dolaylı olarak katkı fazı ve matris arasındaki etkileşimlere bağlıdır. Seramik fiber katkılı MMK'ler genellikle matris malzemesinden daha fazla sertliğe sahiptirler. Silisyum karbür/aluminyum gibi kısa fiber katkılı MMK'ler için, daha temiz matris tozu kullanarak, daha iyi karıştırarak ve fabrikasyon esnasında mekanik işlem uygulanarak daha yüksek kırılma tokluğu değerleri elde edilebilmiştir. Seramik matris kompozitlerinin ve bazı polimer matris kompozitlerinin aksine, MMK'lerde güçlü fiber/matris bağı bulunması kompozitin sertliğinde azalmaya yol açmaz çünkü çatlak yolunun ilerlemesinde, arayüzey hatasından ziyade matris hatası daha baskındır (Chappell 1989). Partikül katkılı MMK'lerin kırılma tokluğu genellikle kısa fiber katkılı MMK'lerden daha iyi olmaktadır. Al-SiC MMK sisteminde, SiC partikül boyutunun 20 µm kadar olduğu durumlarda kırılma işleminden matrisin sorumlu olduğu, 20 µm değerinin üstünde ise SiC'ün baskın olduğu belirtilmektedir (Chappell 1989).

2.8. Al – Cu Sistemi ve Çökelti Sertleştirilmesi

Alüminyum içerisinde bakır katı halde sınırlı çözünürlüğe sahip bir metaldir. Şekil 2.9’ da verilen Al - Cu faz diyagramında görüldüğü gibi 548 °C’ de % 5,65 ile katı alüminyum içinde bakır en yüksek çözünürlüğüne ulaşır.

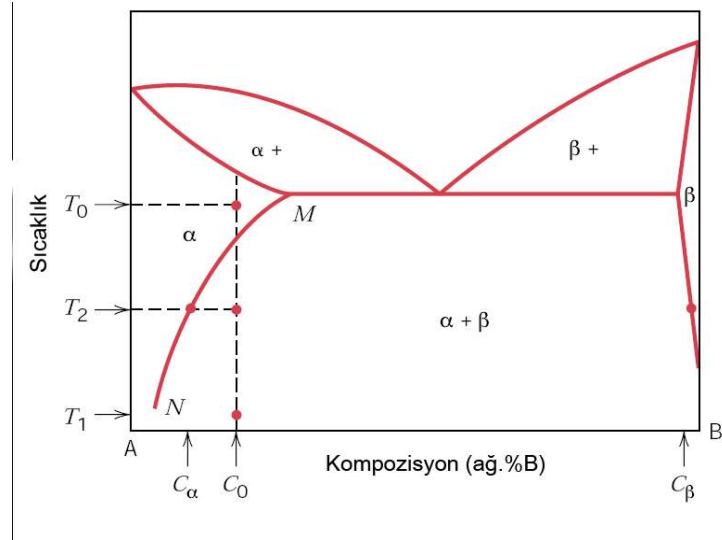
Alüminyum toz metalurjisinde en yaygın olarak kullanılan sistem Al-% 4 Cu sistemidir. Faz diyagramında görüldüğü gibi, % 4 bakır içeren alüminyum alaşımı 580 °C’ nin üzerinde katı+sıvı bölgesinde bulunmaktadır. Al-Cu sisteminin bu özelliğinden sıvı faz sinterleme işlemlerinde faydalanılmaktadır.



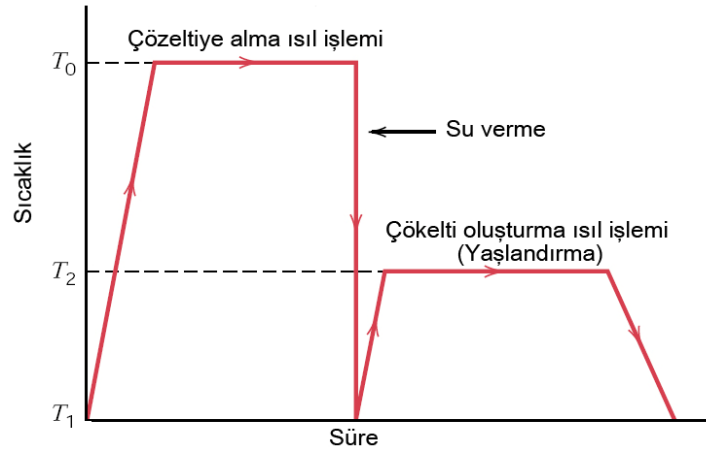
Şekil 2.9. Al - Cu sisteminin alüminyumca zengin bölümü ve oluşan fazlar

Çökelti sertleştirilmesi işleminde, Şekil 2.10’ da görüldüğü gibi öncelikle alaşım tek fazlı bölgeye ısıtılır (T_0). Bu işleme çözeltiye alma işlemi denilmektedir. Bu sıcaklıkta alaşım elementi (örneğin bakır) çözgen atomları (örneğin alüminyum) içinde tamamen çözünmesi için ve yapının tamamen tek faz olması için öbeklenir. Daha sonra alaşıma hızlı soğutma uygulanır (su verme) (Şekil 2.11). Bu işlem sayesinde oda sıcaklığında aşırı doymuş bir katı çözelti elde edilir. Sistem kararsızdır, çünkü faz diyagramına göre oda sıcaklığında alaşım elementinin çözünürlüğü çok düşüktür. Kontrollü şekilde katı hal difüzyonunu hızlandırmak ve ikinci fazın çökmesini sağlamak için alaşım oda

sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklığa ısıtılır ve bekletilir (T_2). Bu işleme yapay yaşlandırma denir.



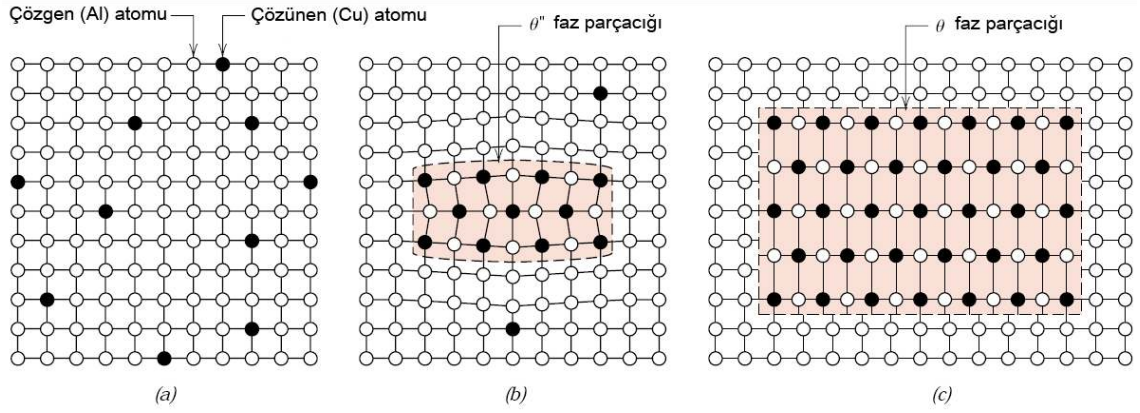
Şekil 2.10. Çökelti sertleştirme işleminde uygulanan sıcaklıkları gösteren faz diyagramı (Callister 1994)



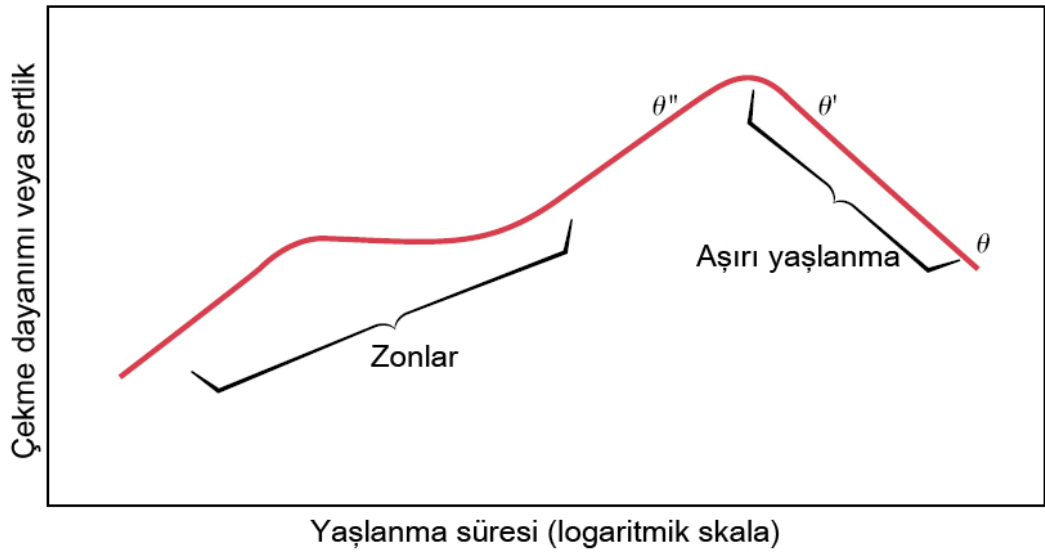
Şekil 2.11. Çökelti sertleştirme işlemi için uygulanan ısıtım sıcaklık-süre parametrelerinin şematik gösterimi (Callister 1994)

Şekil 2.12a' da alüminyum içinde tamamen çözülmüş bakır atomları şematik olarak gösterilmektedir. Yaşlandırma işlemi sonucunda oluşan çökelti, alüminyum kafes örgüsü ile uyumlu veya yarı uyumludur (Şekil 2.12b). Bu durumda çökelti, sistemde gerilmelere sebep olurlar. Dislokasyon hareketlerini engelleyen bu çökelti sayesinde alaşımın sertliği ve mukavemeti artar. Yaşlandırma işlemi yüksek sıcaklıkta veya çok uzun süre yapılırsa aşırı yaşlanma durumu ortaya çıkar. Bu durumda çökelti

büyür ve uyumsuz hale gelerek gerilme yaratma etkilerini kaybederler (Şekil 2.12c).
Sonuç olarak alaşım yeniden sertlik kaybeder (Şekil 2.13).



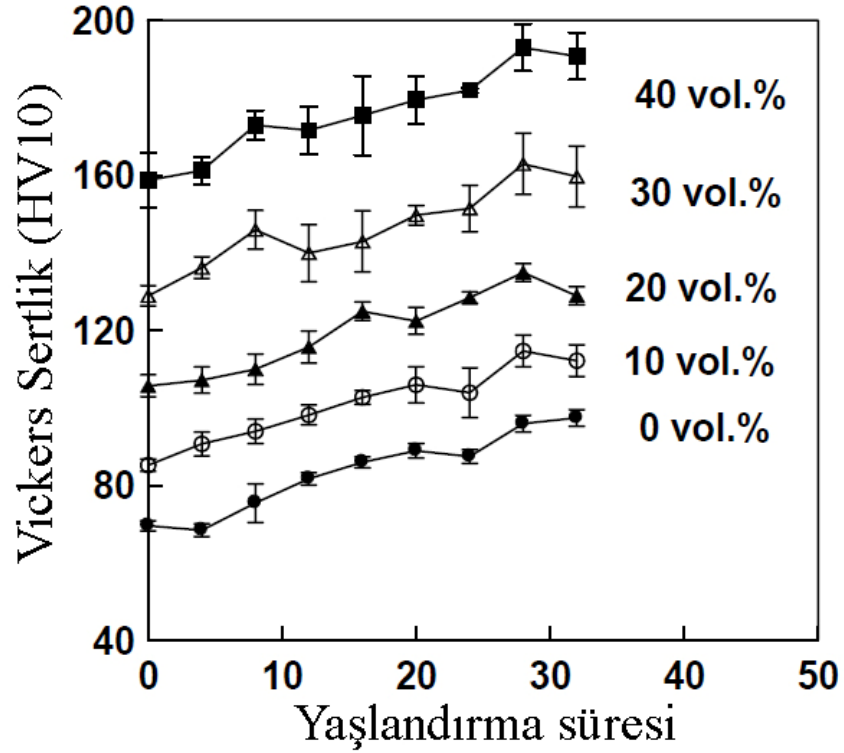
Şekil 2.12. a) Alüminyum içinde tamamen çözünmüş bakır atomları, b) uyumlu-yarı uyumlu çökelti ve c) uyumsuz çökelti (Callister 1994)



Şekil 2.13. Çökelti sertleştirme işleminde yaşlandırma süresinin çekme dayanımı ve sertlik özellikleri üzerindeki etkisi (Callister 1994).

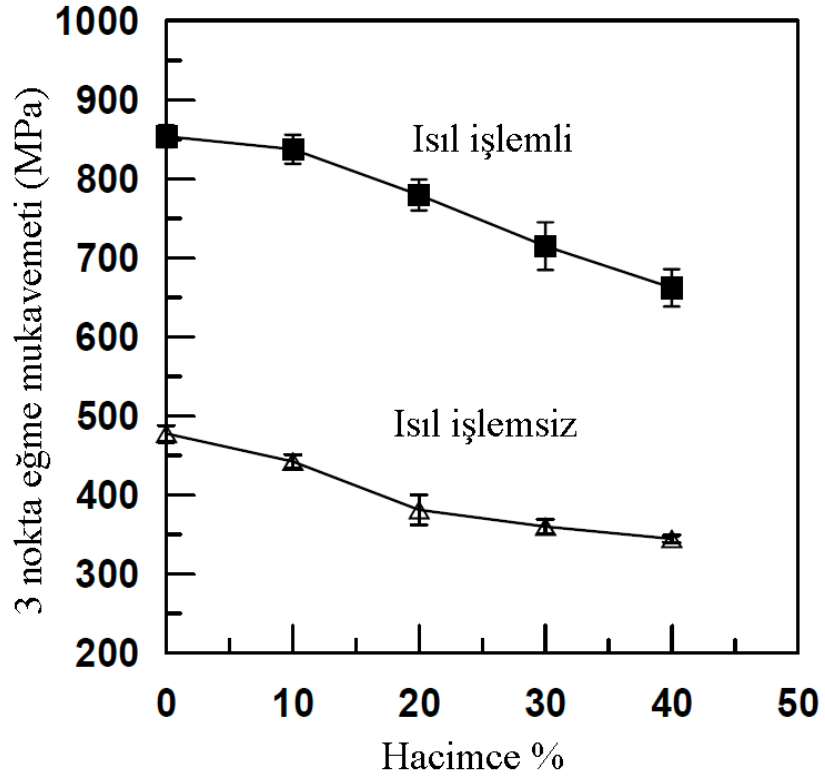
2.9. Konuyla İlgili Önceki Çalışmalar

Bor karbür takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin sıcak presle üretimi ile ilgili Karakaş (2007) kapsamlı bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada hacimce % 10-% 40 B₄C parçacık içeren Al-% 4 Cu matrisli kompozitler üretilmiş ve karakterize edilmiştir. Üretilen kompozitler T6 ısıtıl işlemine tabi tutulmuştur. Yaşlandırma sıcaklığı 100–175 °C aralığında değiştirilerek, optimum yaşlandırma sıcaklığı ve süresi belirlenmiştir. Şekil 2.14’ te görüldüğü gibi en yüksek sertlik değerlerine 125 °C’ de 30 saat yaşlandırma ile ulaşılmıştır. Bu çalışmada, destek fazının oranındaki artışın yaşlanma süresini kısalttığı belirtilmiştir. Bunun sebebi olarak, destek parçacıklarının çökeltilerin oluşmasında çekirdeklenme etkisini arttırması



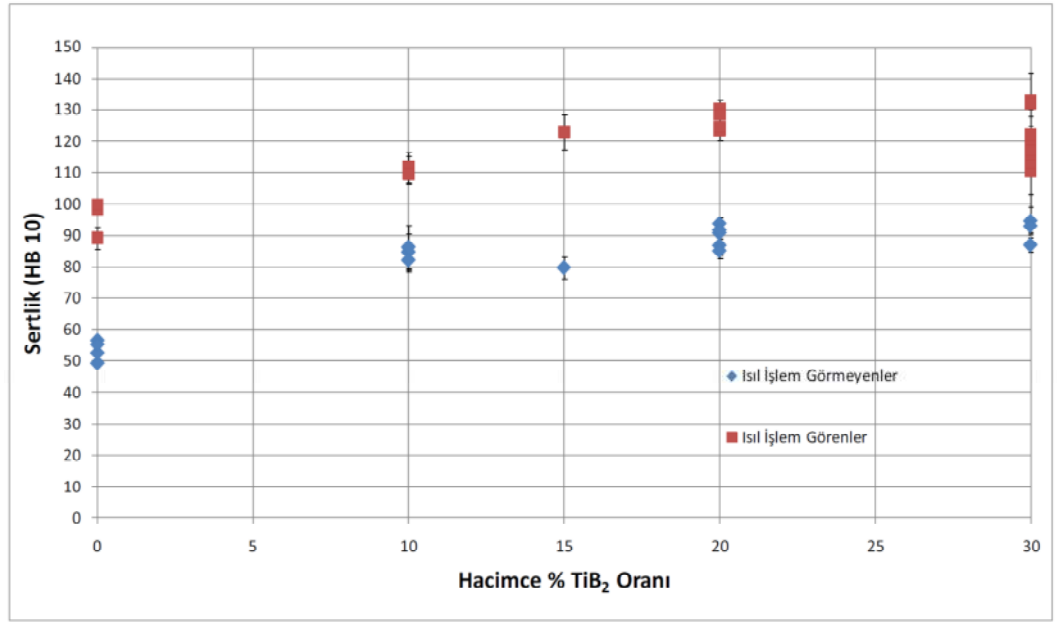
Şekil 2.14. Çeşitli oranlarda B₄C içeren alüminyum matrisli kompozitlere 125 °C sıcaklıkta yaşlandırma süresinin etkisi (Karakaş 2007).

Bu çalışmada elde edilen üç nokta eğme mukavemet değerleri Şekil 2.15' te verilmektedir. Isıl işlemsiz ve işlemlı durumlarda katkısız numune sırasıyla 480 ve 860 MPa eğme mukavemetine sahip olmuştur. B₄C takviye fazı miktarının artması, kompozitin mukavemetinde azalmaya sebep olmuştur.



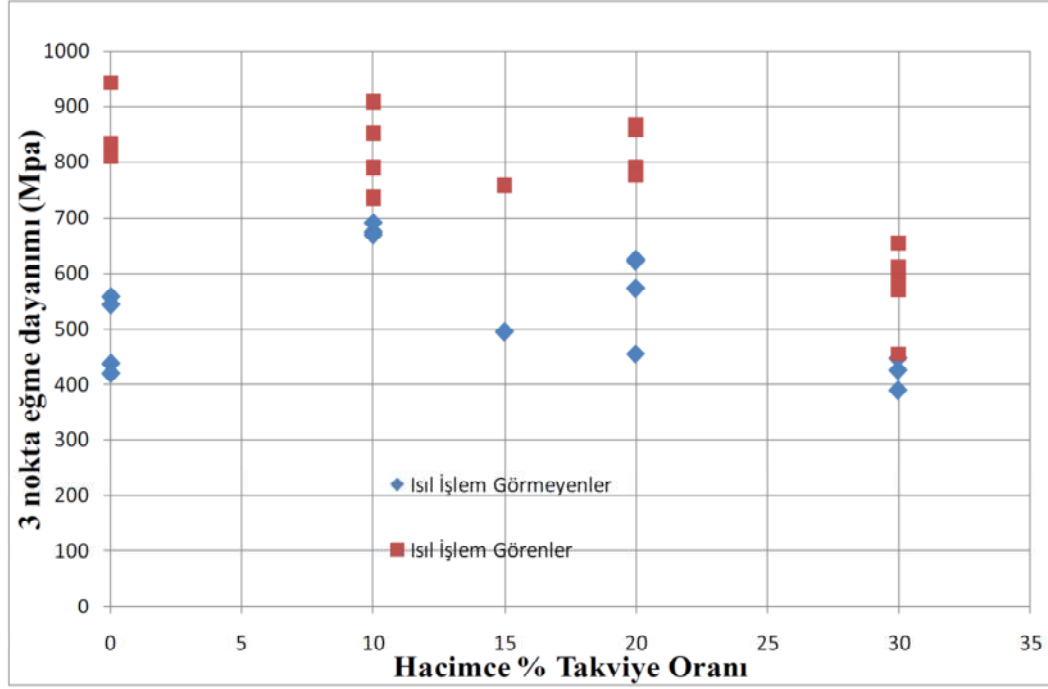
Şekil 2.15. Çeşitli oranlarda B₄C içeren alüminyum matrisli kompozitlerin ısııl işlemsiz ve ısııl işlemlı durumda üç nokta eğme mukavemetleri (Karakaş 2007).

Bir başka çalışmada TiB_2 içeren alüminyum matrisli kompozitlerin basınçsız sinterleme yöntemiyle üretimi incelenmiştir (Başar 2011). Bu çalışmada, sertlik değerlerinin artan TiB_2 oranıyla birlikte %30 TiB_2 oranına kadar artış gösterdiği, sonrasında aynı kaldığı belirtilmiştir (Şekil 2.16). En yüksek sertlik değeri 130 HB10 olmuştur.



Şekil 2.16. Çeşitli oranlarda TiB_2 içeren ve basınçsız sinterleme yöntemiyle üretilmiş olan alüminyum matrisli kompozitlerin sertik değerleri (Başar 2011).

Bu çalışmada elde edilen üç nokta eğme mukavemeti değerleri Şekil 2.17’ de verilmektedir. Basıncsız sinterleme ile üretilmiş olan TiB_2 katkılı kompozitlerde ısıt işlemsiz durumda üç nokta eğme mukavemet değerlerinin 500-600 MPa ve ısıt işlemlili durumda 700-800 MPa aralığında olduğu görülmektedir (Başar 2011).



Şekil 2.17. Çeşitli oranlarda TiB_2 içeren ve basıncsız sinterleme yöntemiyle üretilmiş olan alüminyum matrisli kompozitlerin üç nokta eğme mukavemet değerleri (Başar 2011).

3. MATERİYAL VE METOT

Giriş bölümünde bahsedildiği gibi, bu çalışma üç bölümden oluşmaktadır. Bunlar: Seramik partiküllerin yüzeylerinin sol-jel yöntemiyle modifiye edilmesi, partiküllerin Al-Cu tozlarıyla karıştırılması sonrası toz metalurjisi yöntemiyle sıcak preste sinterlenmesi ve son kısım da optik mikroskop incelemeleri ile mekanik testleridir. Projenin bu üç aşamasında uygulanmış olan deneysel yöntemler bu bölümde ayrı ayrı anlatılmaktadır.

3.1. TiB₂ ve SiC Partiküllerinin Yüzeylerinin Modifiye Edilmesi

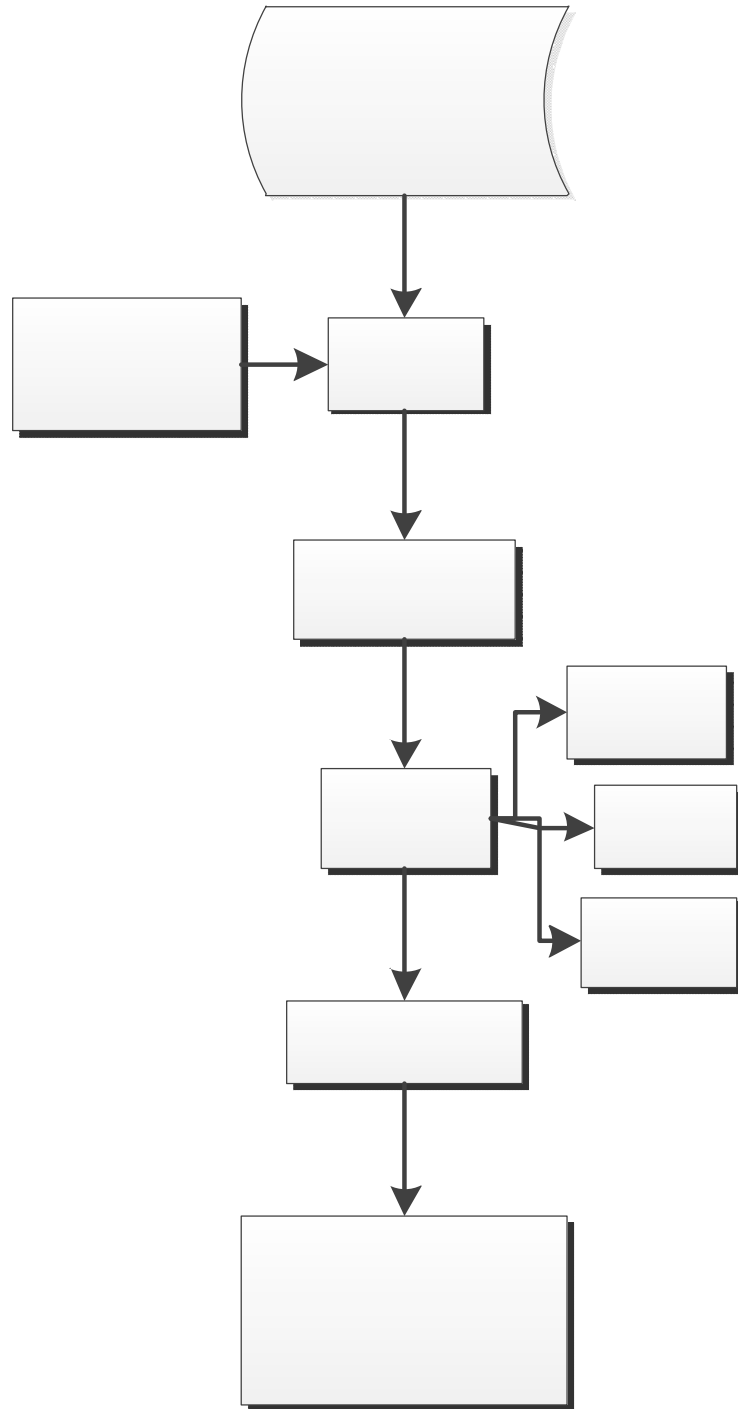
Bu çalışma kapsamında TiB₂ ve SiC partiküllerinin yüzeyleri sol-jel yöntemiyle SiO₂ ile modifiye edilmeye çalışılmıştır. Bununla birlikte SiC partiküllerinin yüzeylerinin sol-jel yöntemiyle TiB₂ ile modifiye edilmesi üzerinde çalışılmıştır. Bu yöntemlerin ayrıntıları bu kısımda sunulmaktadır.

3.1.1. SiC ve TiB₂ partiküllerinin yüzeylerinin sol-jel yöntemiyle SiO₂ ile modifiye edilmesi

SiC ve TiB₂ partiküllerinin yüzeylerinin SiO₂ ile modifiye edilmesi amacıyla TEOS (Tetraetilortosilikat), MTEOS (Metiltrietoksisilan) ve silika partikülleri (levasil 300/30) kullanılarak hazırlanan sol kullanılmıştır. Bu karışım kullanılarak hazırlanan kaplamaya ticari olarak MTKS denilmektedir (Schmidt 2005).

MTKS solünün hazırlanması için MTEOS ve TEOS 4:1 oranında karıştırılmıştır. Daha sonra, sisteme silika nanopartikül (levasil 300/30) eklenmektedir. Bu çözeltiye 0,1M HCl katalizör ve su eklenmiştir. Uygulanan yöntemin akış şeması Şekil 3.1' de sunulmaktadır.

Seramik partiküllerinin yüzeylerinin hazırlanan silika çözeltileri ile kaplanması için iki farklı yöntem uygulanmıştır. Birinci yöntem, seramik partiküllerinin silika çözeltisi içinde karıştırılmasıdır. Diğer yöntem ise sprey yöntemidir. Karıştırma yönteminin akış şeması Şekil 3.2' de sunulmaktadır.



Şekil 3.2. SiC ve TiB₂ partiküllerini MTKS ile kaplamada uygulanmış olan karıştırma yöntemi

Karıştırma ile kaplama yönteminde 30 g sol içine 6 g SiC veya TiB₂ tozu (ağırlıkça %20) eklenmiş ve ekleme sonrası seramik partikülleri çözelti (sol) içinde 2 saat süre ile Şekil 3.3 ve 3.4’ te gösterildiği gibi 650 devir/dakika hızla karıştırılarak yüzeylerinin sol ile kaplanması sağlanmıştır. Daha sonra SiC partikülleri filtre edilerek veya çökmesi beklenip süzülerek çözeltilerden ayrılmış ve 120°C’de kurutulmuştur (Şekil 3.5, 3.6).



Şekil 3.3. Kaplama çözeltisinin hazırlanması ve 2 saat süreyle hidroliz edilmesi



Şekil 3.4. Kaplama çözeltisine SiC partiküllerinin eklenmesi ve karıştırılması

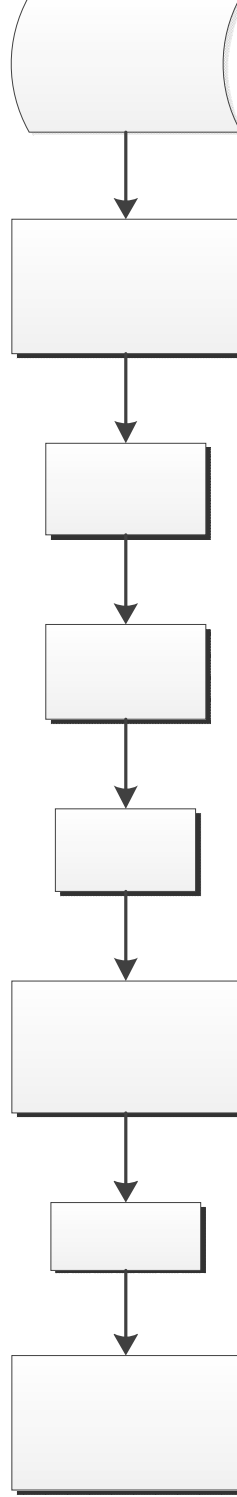


Şekil 3.5. SiC partiküllerinin kaplama çözeltisinden filtre edilerek ayrılması



Şekil 3.6. Filtre edilen SiC partiküllerinin dağıtılması ve 120 °C’de 2 saat kurutulması

İkinci yüzey kaplama yönteminde ise, silika çözeltisi, seramik partiküllerin yüzeyine püskürtme yoluyla kaplanmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Seramik tozlarının yüzeylerinin hazırlanan silika çözeltisi ile spreylendirilerek kaplanması

Cam bir plakanın yüzeyine yayılmış olan seramik partiküllerine, daha önceki basamakta hazırlanmış olan silika çözeltisi püskürtülmüştür (Şekil 3.8). 100 °C’de 10 dk kurutma sonrasında seramik tozları cam yüzeyinden alınmış ve agat havanda ezilerek topaklaşmaları engellenmiştir. Sonra cam yüzeyine yayılan seramik partiküllerinin yüzeyleri sprej yöntemiyle tekrar kaplanmıştır. Bu işlem 3 kez tekrarlanmıştır.



Şekil 3.8. Filtre edilen SiC partiküllerinin dağıtılması ve 120 °C’de 2 saat kurutulması
Seramik partiküllerin silika çözeltisi ile sprej yöntemiyle kaplanması

Kurutma işleminden sonra partiküller 230 °C veya 500 °C’de 1 saat kürleştirme işlemine tabi tutulmuştur. Böylece seramik partiküllerinin yüzeylerinde SiO₂ kaplama elde edilmiştir.

3.1.2. SiC partiküllerinin yüzeylerinin sol-jel yöntemiyle TiB₂ ile modifiye edilmesi

Bu çalışmada, SiC partiküllerinin yüzeyi, SiO₂ ile modifikasyonun yanı sıra, TiB₂ ile de modifiye edilmiştir. Bu amaçla, TiB₂ oluşturmaya yönelik bir çözelti hazırlanmıştır. Borik asit + tetrabütil titanat (+sukroz) çözeltisi hazırlanmış ve su eklenerek hidroliz edilmiştir. Hazırlanan çözeltiye SiC partikülleri eklenerek karıştırılmış ve çözelti buharlaştırıldıktan sonra kurutulmuştur. TiB₂ oluşumu aşağıdaki reaksiyona göre gerçekleşmektedir (Zhang ve Li 2008).



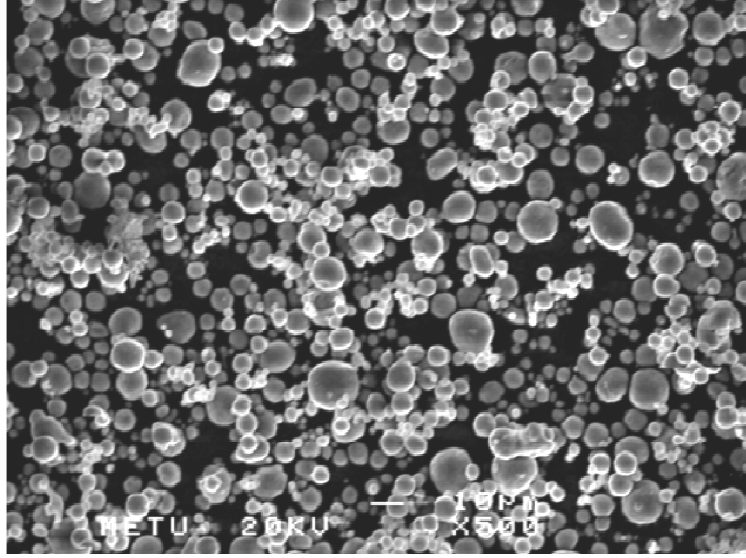
Bu reaksiyon için çözeltiye TiO₂ kaynağı olarak tetrabütil titanat, bor oksit kaynağı olarak borik asit ve karbon kaynağı olarak sukroz eklenmektedir. Reaksiyonun gerçekleşme sıcaklığı 1000 °C ve üzeridir. Bu sebeple, kurutulan sol 1100 °C ve 1200 °C sıcaklıklarda argon atmosferi altında reaksiyona tabi tutulmuştur. Elde edilen toz X ışını kırınımı (XRD) (Rigaku Multifleks) ve Fourier dönüşümlü infrared spektrometresi (FT-IR) (Varian Cary 5000) analizlerine tabi tutulmuştur ve yüzeyi modifiye edilmemiş olan tozlarla aynı yöntem kullanılarak alüminyum matrisli kompozitlerin üretiminde kullanılmıştır.

3.2. Seramik Partiküllerinin Al ve Cu Tozlarıyla Karıştırılarak Sıcak Preslenmesi

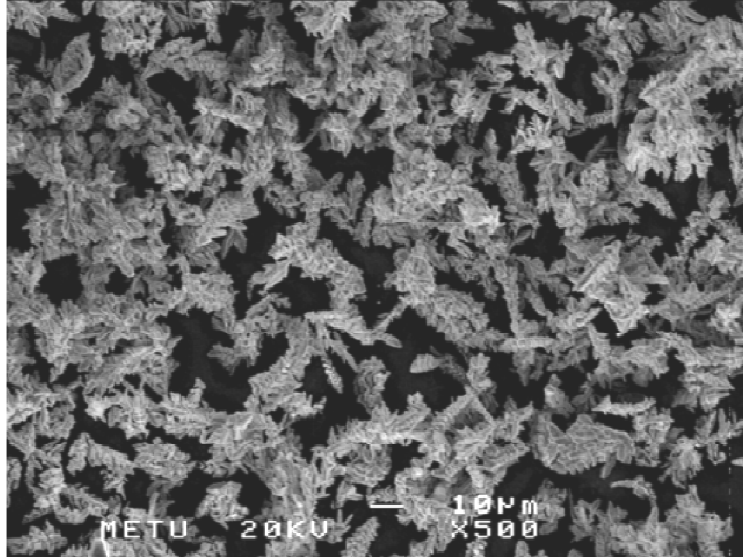
Çalışmanın bu bölümünde, yüzeyleri modifiye edilmiş ve edilmemiş olan SiC ve TiB₂ seramik partikülleri alüminyum ve bakır tozlarıyla karıştırıldıktan sonra sıcak preste sinterlenerek alüminyum matrisli kompozitler elde edilmiştir. Bu bölümde, çalışmada kullanılmış olan malzemeler ve sıcak pres parametreleri anlatılacaktır.

3.2.1. Kullanılan malzemeler

Deneylerde kullanılmış olan alüminyum ve bakır tozlarının taramalı elektron mikroskop fotoğrafları Şekil 3.9a ve b' de sunulmuştur. Alüminyum partikülleri küresel şekillidir ve 10 μm ' den küçüktür. Bakır partikülleri dendritik yapıya sahip ve 10-15 μm boyutlarındadır.



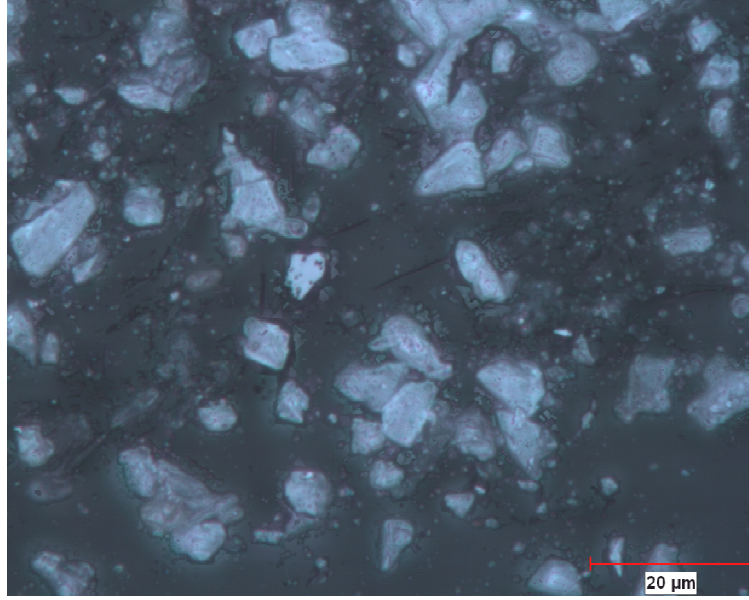
(a)



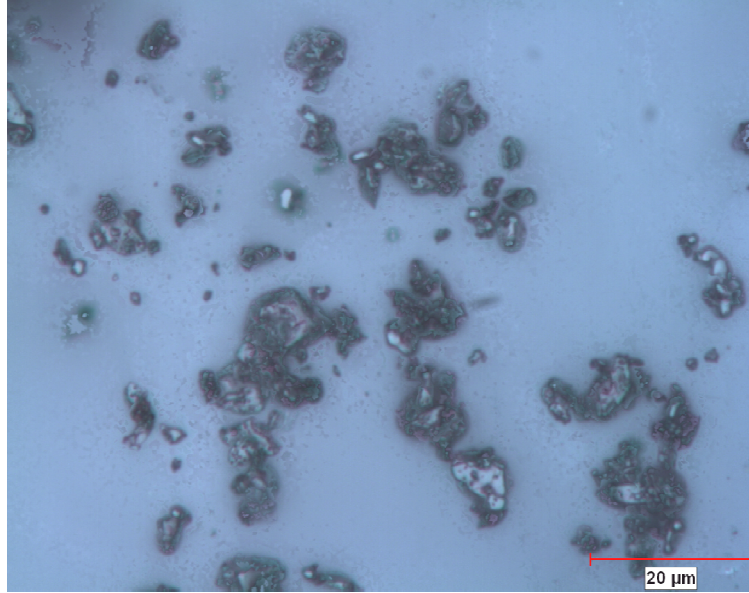
(b)

Şekil 3.9. Deneylerde kullanılan; (a) alüminyum ve (b) bakır tozlarının taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri (KARAKAŞ 2007)

Çalışmada kullanılmış olan SiC ve TiB₂ tozlarının optik mikroskop fotoğrafları Şekil 3.10a ve b' de sunulmaktadır. SiC partikülleri köşeli yapıda ve 10 µm boyutlarındadır. TiB₂ partikülleri 5 µm boyutlarındadır ve onlar da köşeli yapıya sahiptir.



(a)



(b)

Şekil 3.10. Deneylerde kullanılan; (a) SiC ve (b) TiB₂ tozlarının optik mikroskop görüntüleri

3.2.2. Toz karışımlarının hazırlanması

Alümiyum matrisli kompozitlerin hazırlanmasında matris malzemesi olarak %4 bakır içeren alüminyum; takviye malzemesi olarak ise, 5 farklı hacimsel oranda (% 5, 10, 20, 30, 45) SiC tozu ve 6 farklı hacimsel oranda (% 5, 10, 15, 20, 30, 40) TiB₂ tozu kullanılmıştır.

Destek fazı içermeyen Al-%4Cu alaışımının ve hacimce %10 SiC içeren kompozitin içeriklerinin hesaplanması için uygulanan yöntem örnek olarak aşağıda verilmiştir. Diğer miktarlarda seramik tozu içeren kompozitler de benzer şekilde hesaplanarak hazırlanmıştır. Karışımlar 3 mm çaplı cam bilyelerle cam bir kavanozda önce elle 15 dakika süre ile sonra yüksek enerjili bilyalı değirmende 15 dakika karıştırılarak düzgün dağılımlı bir karışım elde edilmeye çalışılmıştır.

Destek fazı içermeyen Al-%4Cu alaışımında bileşenlerin miktarlarının hesaplanması:

Kullanılan kalıbın kesit boyutları 50 x 50 mm'dir. 6,5 mm kalınlıkta numuneler üretilmiştir. Bu sebeple kompozit, toplam hacmi 16,25 cm³ olacak şekilde hazırlanmıştır. %4 Cu katkılı Al tozunun özgül ağırlığı:

$$\begin{aligned}\rho_{Al+Cu} &= (m_{Al} + m_{Cu}) / (V_{Al} + V_{Cu}) = (0,96 + 0,04) / (0,96 / 2,7 + 0,04 / 8,92) \\ &= 2,78 \text{ g/cm}^3\end{aligned}$$

%10 SiC tozu içeren kompozitte bileşenlerin miktarlarının hesaplanması:

Al-Cu-% 10 SiC kompozitinin içerdiği toz miktarları aşağıdaki örnekteki gibi hesaplanmıştır.

$\rho = m/V$ eşitliğinde, ρ = yoğunluk(gr/cm³), m =ağırlık(gr), V =hacim(cm³)' dir

$$V_{\text{kompozit}} = V_{\text{SiC}} + V_{\text{Al+Cu}} = 16,25 \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{SiC}} = 1,625 \text{ cm}^3, m_{\text{SiC}} = 16,25 \times \rho_{\text{SiC}} = 1,625 \times 3,2 = 5,2 \text{ g}$$

$$V_{\text{Al+Cu}} = 14,625 \text{ cm}^3, m_{\text{Al+Cu}} = 14,625 \times 2,78 = 40,6 \text{ g} \quad \rho_{\text{kompozit}} = 2,82 \text{ g/cm}^3$$

Hazırlanan toz karışımları sıcak pres kalıbına koyularak presleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

3.2.3. Karışımların preslenmesi

Karışımlar tek eksenli bir preste, 50 x 50 mm kare kesitli, 100 mm yüksekliğinde, H13 sıcak iş takım çeliğinden imal ettirilmiş olan bir kalıpta preslenmiştir. Önce soğuk olarak 50 MPa basınçta gerçekleştirilen presleme sonrası, numune 25 MPa basınç altında ısıtılarak sıcak presleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Sıcak pres deney düzeneği, çelik kalıbın içinde bulunduğu ve tel rezistansla ısıtılan bir fırından ve 15 ton kapasiteli hidrolik bir presten oluşmaktadır. Kullanılan fırın, kalıbın ölçülerine uygun olarak bu tez kapsamında Makine Mühendisliği Bölümü Malzeme Laboratuvarı'nda imal edilmiştir. Sıcak pres sisteminin fotoğrafı Şekil 3.11' de sunulmaktadır.



Şekil 3.11. Sıcak pres deney düzeneği

Hazırlanan kompozitlerde kullanılan sıcaklık ve süre parametreleri Çizelge 3.1 ve 3.2’ de sunulmaktadır.

Çizelge 3.1. SiC destek parçacıkları kullanılarak yapılan deneylerde uygulanan sıcaklık ve süreler

Deney No	Destek Türü	Destek Oranı (% hacmen)	Sinter sıcaklığı (°C)	Süre (dakika)
3	Yok	0	520-550	30
32	SiC	5	600-607	30
6	SiC	10	520-550	30
4	SiC	20	520-550	30
23	SiC	20	600-603	30
5-	SiC	30	520-550	30
30	SiC	30	520-548	30
29	SiC	46	520-552	45

Çizelge 3.2. TiB₂ destek parçacıkları kullanılarak yapılan deneylerde uygulanan sıcaklık ve süreler

Deney No	Destek Türü	Destek Oranı (% hacmen)	Sinter sıcaklığı (°C)	Süre (dakika)
3		0	520-550	30
13	TiB ₂	5	600-605	30
15	TiB ₂	10	600-605	30
18	TiB ₂	10	600-624	30
14	TiB ₂	15	600-605	30
16	TiB ₂	20	600-629	30
31	TiB ₂	20	520-550	30
17	TiB ₂	30	600-626	40
22	TiB ₂	30	600-606	54
20	TiB ₂	40	600-632	40
28	TiB ₂	40	600-602	40

Elde edilen kare kesitli kompozitten iki adet dikdörtgen kesitli 50x12x6 mm ebatlarında numune kesilip bir tanesine yaşlandırma ısı işlemi uygulanmıştır. Diğer, yaşlandırma uygulanmadan sertlik, üç nokta eğme ve mikroyapı incelemelerine tabi tutulmuştur.

Yaşlandırma işlemi için numuneye çözündürme ısı işlemi 550 °C’ de 16 saat süre ile gerçekleştirilmiştir. Çözündürme işlemi sonrası numuneler suya atılarak hızlı bir şekilde soğutulmuştur. Bu aşamadan sonra numunelerin yaşlandırma ısı işlemleri 130 °C’ de yağ (gliserin) banyosunda 30 saat süre ile gerçekleştirilmiştir.

3.3. Metalografik ve Mekanik İncelemeler

3.3.1. Numune hazırlama işlemleri

50 x 50 x 6,5 mm boyutlarındaki numuneler Metkon Metacut karbür bıçaklı daire testerede kesilerek üç nokta eğme testleri için 50 x 12 x 6 mm boyutlarına getirilerek üçer adet numune elde edilmiştir. Bu numuneler deney numarasının ardına eklenen rakamlarla kodlanmıştır ve her numune iki farklı noktasında üç nokta eğme testine tabi tutulmuştur. Bu numunelerden kesilen parçalar metalagrofik inceleme öncesinde yüzeylerindeki çizikleri gidermek amacıyla 80, 320, 600, 800, 1200, 2000 grit zımparalarla, Metkon Forcipol döner tablalı zımparalama makinasında zımparalanmıştır. Ardından numunelerin yüzeyleri Metkon Parlatma cihazında 1 µm elmas solüsyon kullanılarak parlatılmıştır.

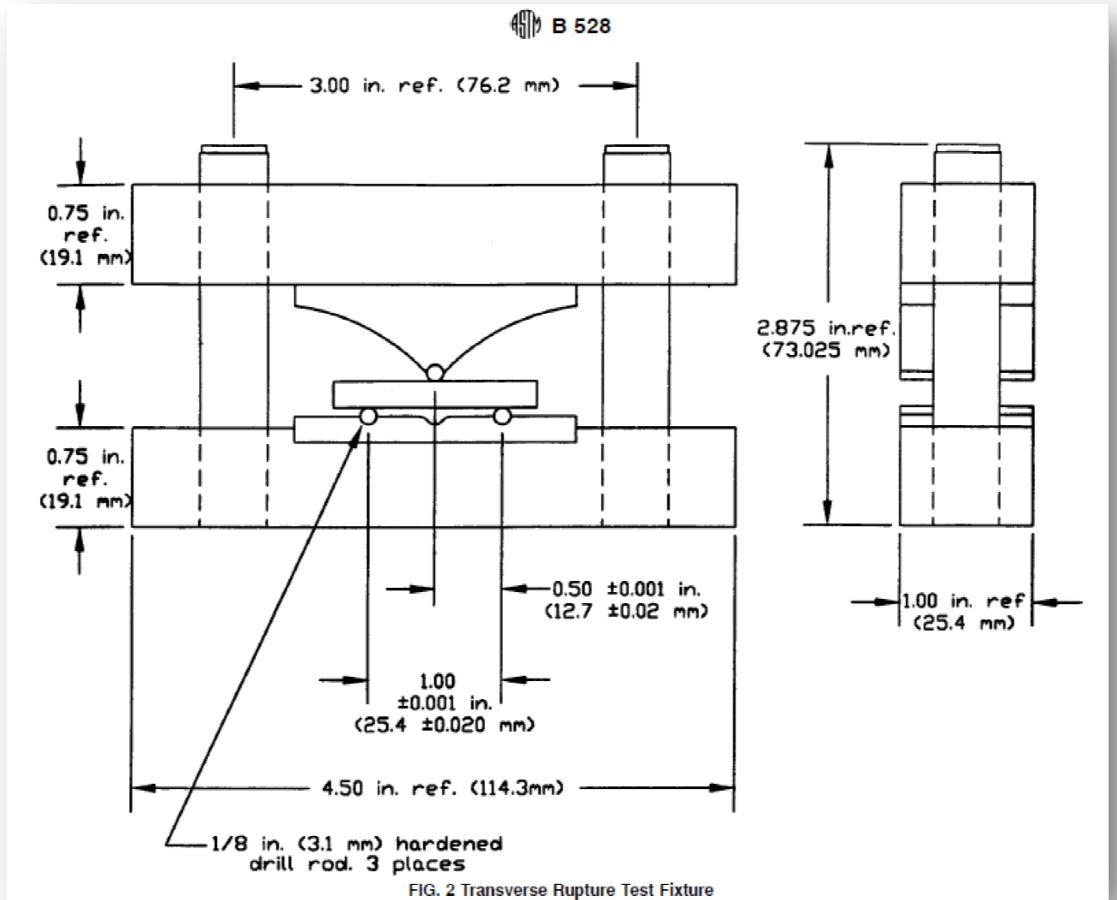
Parlatılan numunelerin mikroyapı incelemesi Nikon Eclipse ışık metal mikroskopunda gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı incelemeleri yapılırken Clemex Vision Lite bilgisayar yazılımı kullanılmıştır.

3.3.2. Sertlik ölçümleri

Üretilen kompozitlerin sertlik ölçümleri Brinell sertlik ölçme cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Bu sertlik ölçme metodunda 2,5 mm çaplı çelik bilya ve 62,5 kg yük kullanılmıştır. Yük / bilya çapının karesi oranı 10 olması sebebiyle ölçülmüş olan sertlik değerleri HB10 olarak ifade edilmektedir.

3.3.3. Üç nokta eğme testi

Kompozitlere uygulanacak olan üç nokta eğme testleri için 50 kN kapasiteli Shimadzu Autograph çekme-basma test cihazı kullanılmıştır. Bu cihaza monte edilebilen ve ASTM B528 standardına uygun bir üç nokta eğme aparatı imal ettirilmiştir. Bu aparatın şematik çizimi Şekil 3.12’ de ve fotoğrafları Şekil 3.13’ te gösterilmektedir.

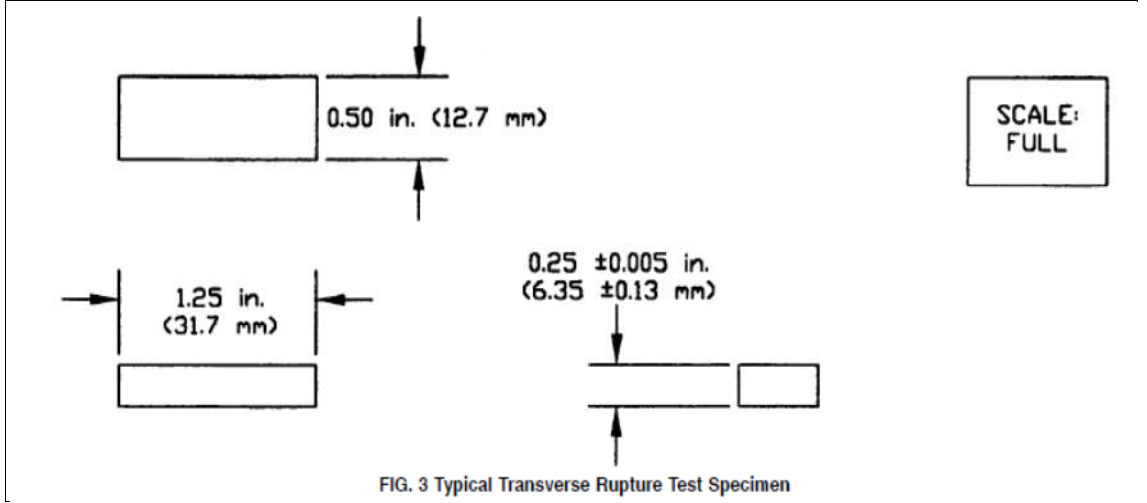


Şekil 3.12. Üç nokta eğme aparatının şematik gösterimi ve ölçüleri (ASTM B528).



Şekil 3.13. İmal ettirilmiş olan üç nokta eğme aparatının fotoğrafları

Üç nokta eğme numunesinin boyutları Şekil 3.14'te gösterilmektedir.



Şekil 3.14. Üç nokta eğme numunesinin boyutları (ASTM B528)

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde yüzeyi modifiyesiz ve modifiyeli TiB_2 ve SiC tozları kullanılarak sıcak pres yöntemiyle üretilmiş olan alüminyum matrisli kompozitlerin mikroyapı incelemeleri, sertlik değerleri ve üç nokta eğme testi sonuçları sunulmaktadır.

4.1. Modifiye İşlemi Uygulanmamış TiB_2 Partikülleri İçeren Kompozitler

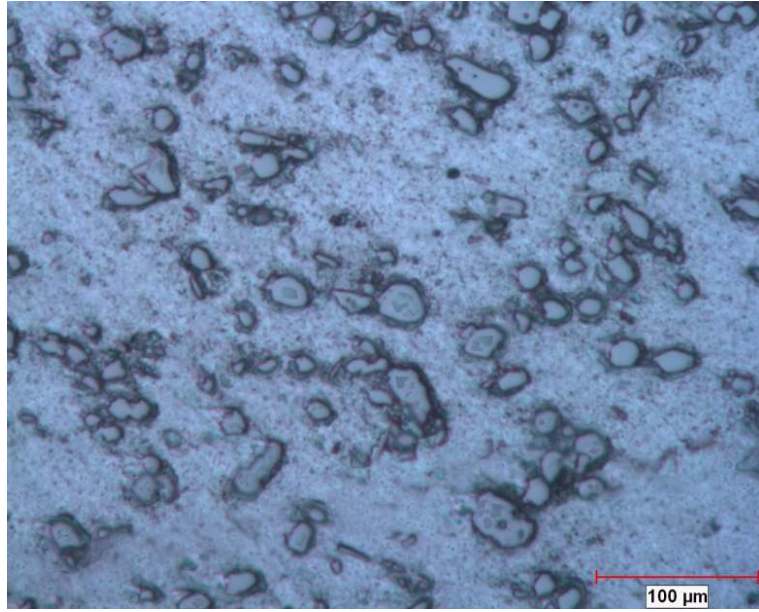
4.1.1. Mikroyapı incelemeleri

TiB_2 içeren kompozitler hacimce % 5, 10, 15, 20, 30 ve 40 oranlarında partikül içerecek şekilde hazırlanmışlardır. Elde edilen kompozitlerin öncelikle mikroyapıları incelenmiş ve yoğunlukları belirlenmiştir. TiB_2 partiküllerinin, SiC partiküllerinden daha sert olması sebebiyle, üretilen kompozitleri SiC partikül içeren zımparalarla aşındırmak oldukça güç olmuştur ve zımparalar çabuk körelmiştir. Bu sebeple düzgün yüzeyli numune hazırlamak zor olmuştur.

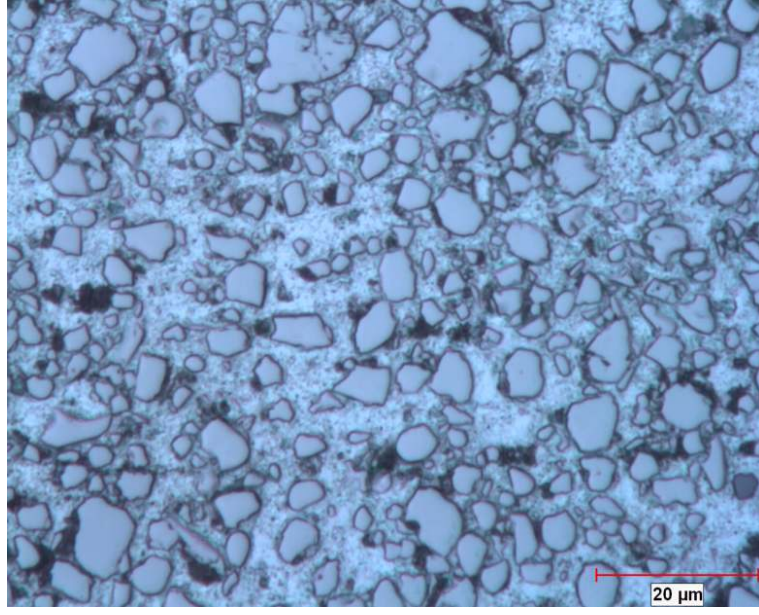
Hacimce % 0 - %40 TiB_2 içeren kompozitlerin mikroyapı fotoğrafları Şekil 4.1-4.7' de sırasıyla sunulmaktadır. Mikroyapı incelemelerinden, elde edilen kompozitlerde TiB_2 partiküllerinin düzgün şekilde dağıldığı ve topaklanmaların yer almadığı anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, yapıda çok az miktarda gözenek olduğu görülmüştür. Optik mikroskop fotoğraflarında görülen siyah bölgelerin, sinterleme sırasında yapıda kalmış olan gözenekler olabileceği ya da zımparalama-parlatma işlemleri sırasında yapıdan sökülmüş olan partiküllerin bıraktığı boşluklar olabileceği düşünülmektedir.



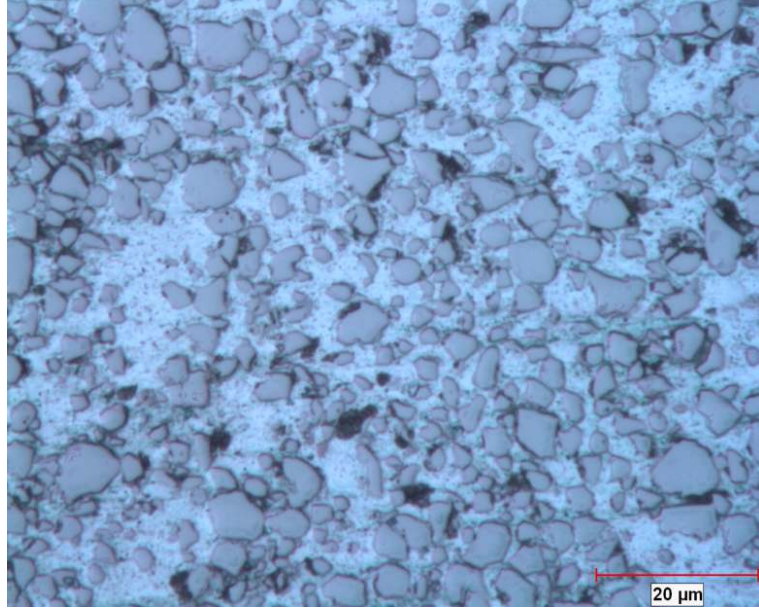
Şekil 4.1. Destek fazı içermeyen Al-%4Cu alaşıımının mikroyapısı (1000X)



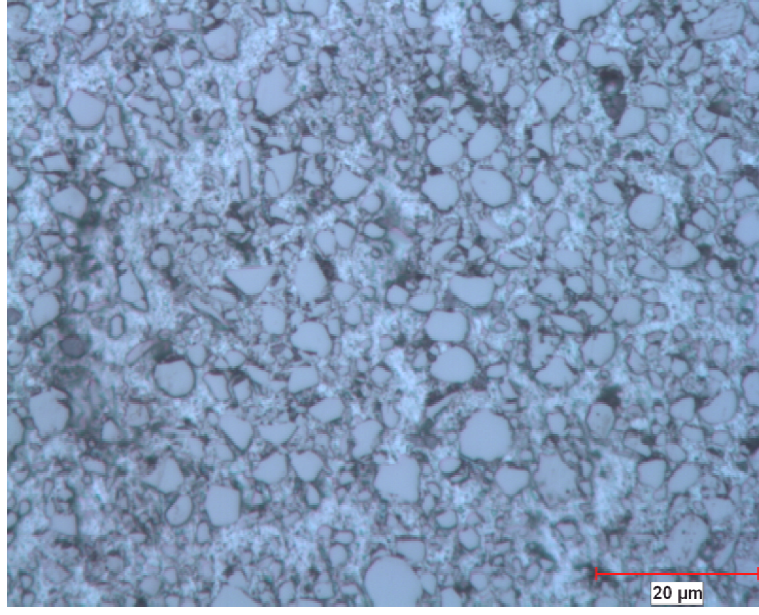
Şekil 4.2. Hacimce %5 TiB₂ içeren kompozitin mikroyapısı (1000X)



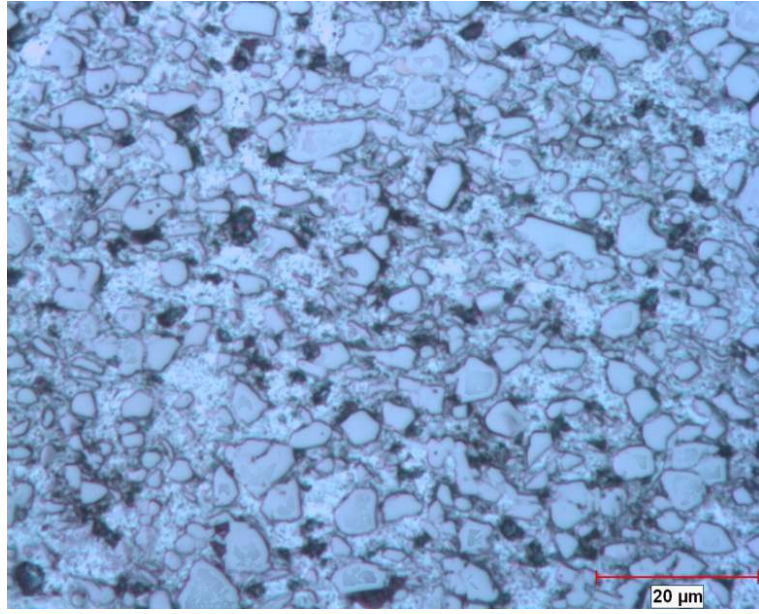
Şekil 4.3. Hacimce %10 TiB₂ içeren kompozitin mikroyapısı (1000X)



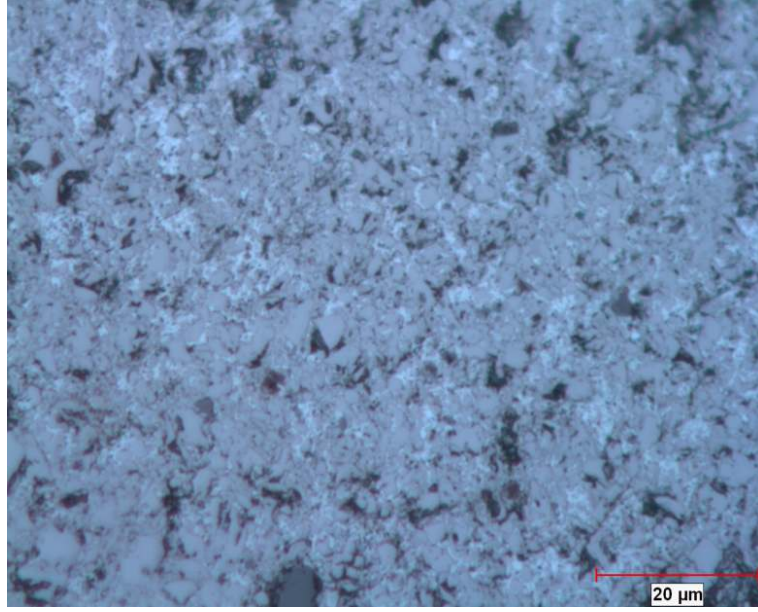
Şekil 4.4. Hacimce %15 TiB₂ içeren kompozitin mikroyapısı (1000X)



Şekil 4.5. Hacimce %20 TiB₂ içeren kompozitin mikroyapısı (1000X)



Şekil 4.6. Hacimce %30 TiB₂ içeren kompozitin mikroyapısı (1000X)



Şekil 4.7. Hacimce %40 TiB₂ içeren kompozitin mikroyapısı (1000X)

4.1.2. Yoğunluk ölçümleri

Kompozitlerin yoğunluk ölçümleri, analitik terazinin yoğunluk ölçme kiti ile gerçekleştirilmiştir. Destek fazı içermeyen Al-% 4Cu alaşımının ve çeşitli oranlarda TiB₂ içeren kompozitlerin teorik yoğunluk, ölçülen yoğunluk ve % teorik yoğunluk değerleri Çizelge 4.1’ de sunulmaktadır. Destek fazı içermeyen kompozitin yoğunluğunun % 99,6 değeri ile en yüksek olduğu görülmektedir. Hacimce % 5-% 20 aralığında TiB₂ içeren kompozitlerin % teorik yoğunluk değerleri % 97-% 98 aralığındadır. % 30 ve % 40 oranlarında TiB₂ içeren kompozitlerde % 96 civarında % yoğunluk değerine ulaşılmıştır. Elde edilen kompozitlerde destek fazının artması ile, yoğunlukta azalmanın olduğu, dolayısıyla gözenekliliğin arttığı anlaşılmaktadır. Sinterleme sıcaklığının ve süresinin artırılması ile daha yüksek yoğunluklara ulaşılacağı düşünülmektedir.

T6 ısıtıl işleminden sonra yapılan yoğunluk ölçümlerinin sonuçları Çizelge 4.2’ de sunulmaktadır. Isıl işlem sonrasında % teorik yoğunluk değerlerinin düşük oranda değiştiği görülmektedir. Bunun sebebi, ölçümlerin numunelerin farklı parçalarından yapılmış olması ve ısıtıl işlem sırasında düşük oranda sinterlemenin gerçekleşmiş olması olabilir.

Çizelge 4.1. TiB₂ içeren ve ısıt işlem uygulanmamış olan kompozitlerin yoğunluk değerleri

Deney No	Destek Türü	Destek Oranı (% hacmen)	Teorik Yoğunluk (g/cm ³)	Ölçülen Yoğunluk (g/cm ³)	% Teorik Yoğunluk (g/cm ³)
3-1	TiB ₂	0	2,78	2,77	99,64
13-1-2	TiB ₂	5	2,86	2,78	97,20
15-1-1	TiB ₂	10	2,95	2,88	97,63
14-1-2	TiB ₂	15	3,04	2,98	98,03
16-1-1	TiB ₂	20	3,12	3,05	97,76
22-1-1	TiB ₂	30	3,3	3,17	96,06
20-1-1	TiB ₂	40	3,47	3,35	96,54

Çizelge 4.2. TiB₂ içeren ve ısıt işlem uygulanmış olan kompozitlerin yoğunluk değerleri

Deney No	Destek Türü	Destek Oranı (% hacmen)	Teorik Yoğunluk (g/cm ³)	Ölçülen Yoğunluk (g/cm ³)	% Teorik Yoğunluk (g/cm ³)
3-2	TiB ₂	0	2,78	2,77	99,64
13-3-1	TiB ₂	5	2,86	2,84	99,30
18-3-2	TiB ₂	10	2,95	2,85	96,61
14-3-2	TiB ₂	15	3,04	2,97	97,70
16-3-1	TiB ₂	20	3,12	3,05	97,76
22-2-2	TiB ₂	30	3,3	3,16	95,76
20-3-1	TiB ₂	40	3,47	3,34	96,25

Sertlik ölçümleri

TiB₂ içeren ve ısıtıl işlem uygulanmamış olan kompozitlerin sertlik değerleri Çizelge 4.3' te sunulmaktadır. Isıl işlem uygulanmış olan kompozitlerin sertlik değerleri ise Çizelge 4.4' te verilmektedir.

Sertlik değerleri ısıtıl işlemsiz seride katkısız numunede 50 HB10 değerinde olmuş ve %40 TiB₂ içeren kompozitte 140 HB10 değerine ulaşmıştır. Isıl işlemlili seride ise bu değerler sırasıyla 104 HB10 ile 160 HB10 olmuştur. Benzer kompozitlerin basınçsız sinterleme ile üretildiği diğeri bir çalışmada ulaşılmış olan en yüksek sertlik ısıtıl işlemsiz seride 95 HB10 ve ısıtıl işlemlili seride 130 HB10 olmuştur (Başar 2011). Bu çalışmadaki sertlik değerlerinin daha yüksek olmasının sebebi, sıcak pres yönteminin, basınçsız sinterlemeye kıyasla daha az gözenekli bir yapı elde edilmesini sağlaması olabilir.

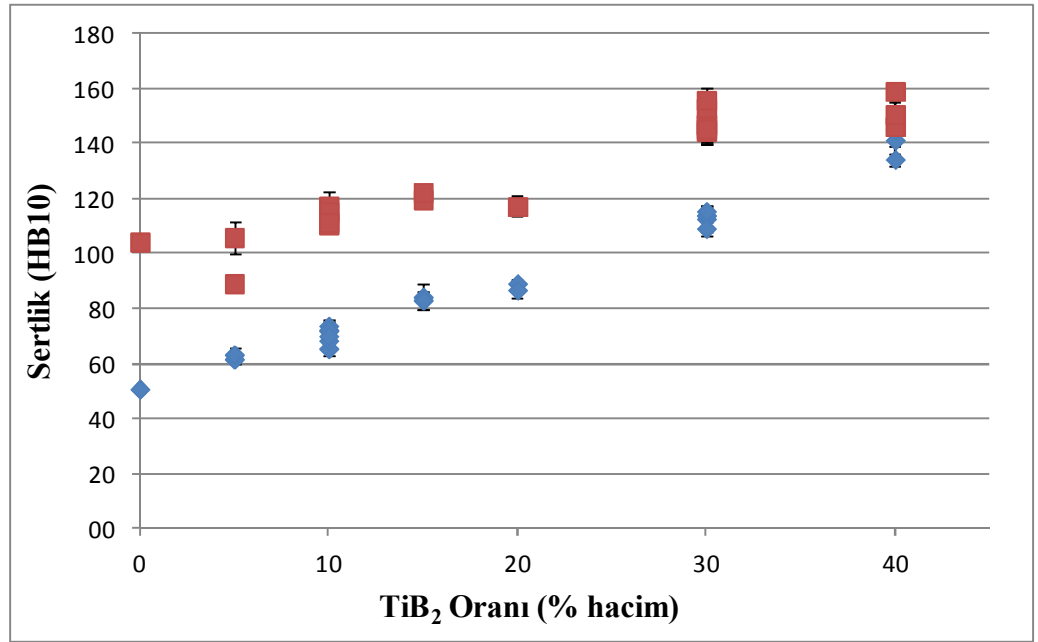
Çizelge 4.3. TiB₂ içeren ve ısıtıl işlem uygulanmamış olan kompozitlerin sertlik değerleri

Deney No	Destek Türü	Destek Oranı (% hacmen)	Sertlik (HB10)	Standart sapma
3-1	Yok	0	50,8	1,4
13-1-1	TiB ₂	5	61,7	1,2
13-1-2	TiB ₂	5	63,2	2,9
15-1-1	TiB ₂	10	65,5	2,3
15-1-2	TiB ₂	10	68,3	3,0
18-1-1	TiB ₂	10	73,7	2,5
18-1-2	TiB ₂	10	71,9	2,7
18-2-1	TiB ₂	10	72,2	3,1
18-2-2	TiB ₂	10	70,0	2,4
14-1-1	TiB ₂	15	84,2	4,6
14-1-2	TiB ₂	15	83,2	3,3
16-1-1	TiB ₂	20	89,2	1,5
16-1-2	TiB ₂	20	86,7	2,6
17-1-1	TiB ₂	30	112,7	4,7
17-1-2	TiB ₂	30	114,0	2,7
20-1-1	TiB ₂	40	141,4	6,7
20-1-2	TiB ₂	40	145,2	6,1
28-1-1	TiB ₂	40	134,3	2,2

Çizelge 4.4. TiB₂ içeren ve ısıtıl işlem uygulanmış olan kompozitlerin sertlik değerleri

DeneyNo	Destek Türü	Destek Oranı (% hacmen)	Sertlik (HB10)	Standart sapma
3-2-1.i.	Yok	0	104,3	1,7
13-3-1ii	TiB ₂	5	105,9	6,0
15-3-1ii	TiB ₂	10	117,4	4,9
15-3-2ii	TiB ₂	10	115,3	4,7
18-3-1ii	TiB ₂	10	110,5	2,9
18-3-2ii	TiB ₂	10	111,4	2,7
14-3-1ii	TiB ₂	15	119,7	2,4
14-3-2ii	TiB ₂	15	122,4	2,5
16-3-1ii	TiB ₂	20	117,1	3,6
17-2-1ii	TiB ₂	30	147,3	2,6
17-2-2ii	TiB ₂	30	146,6	6,9
17-3-1ii	TiB ₂	30	144,6	4,1
17-3-2ii	TiB ₂	30	145,5	5,5
22-2-1 1.i.	TiB ₂	30	153	3,4
22-2-2 1.i.	TiB ₂	30	155,9	4,4
20-3-1	TiB ₂	40	159,9	2,8
28-3-1 1.i	TiB ₂	40	150,7	4,5
28-3-2 1.i	TiB ₂	40	146,3	3,1

Isıl işlem uygulanmış ve uygulanmamış olan numunelerin sertlik değerleri grafik halinde Şekil 4.8’ de toplu olarak görülebilmektedir. Bu şekilde, ısıtılmış ve ısıtılmamış serilerde destek fazı oranındaki artışla sertlikteki artışın genelde doğrusal bir karakter izlediği görülmektedir. Destek fazı oranı arttıkça, ısıtılmış ve ısıtılmamış numunelerin sertlikleri birbirine yaklaşmaktadır. Bunun sebebi olarak, artan destek fazı oranına bağlı olarak matris fazının oranının azalması ve çökelti sertleşmesi etkisinin matris fazının oranına bağlı olması gösterilebilir.



Şekil 4.8. Çeşitli oranlarda TiB₂ içeren ısıtılmış ve ısıtılmamış kompozitlerin sertlik değerleri (kareler: ısıtılmış kompozitler)

4.1.3. Üç nokta eğme testleri

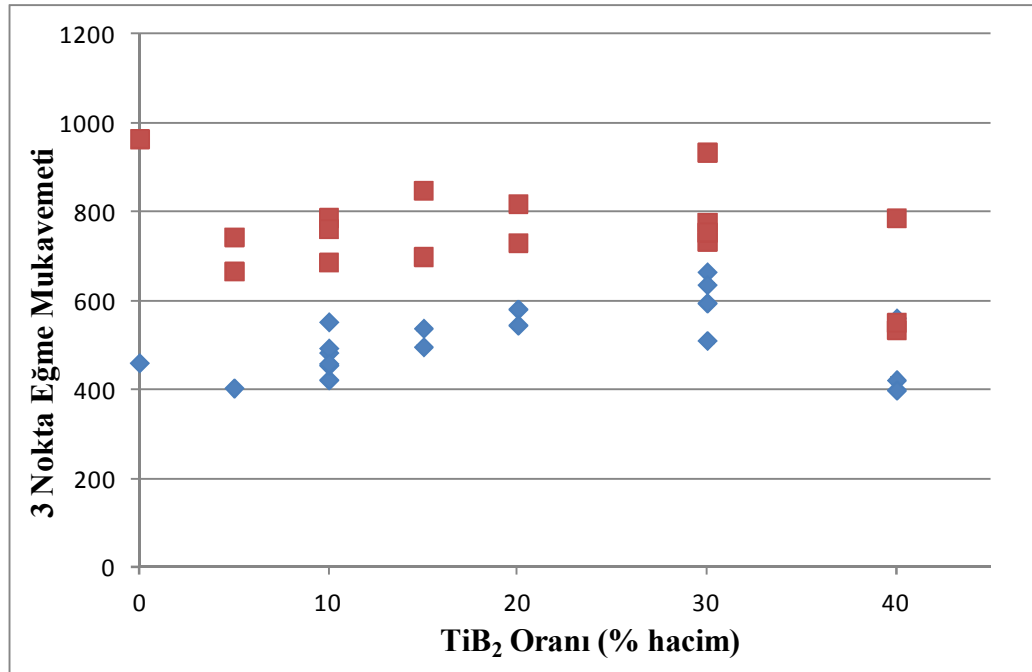
Isıl işleme tabi tutulmamış ve tutulmuş olan TiB_2 içeren kompozitlerin üç nokta eğme mukavemet ve % gerinim değerleri Çizelge 4.5, 4.6 ve Şekil 4.9, 4.10' da sunulmaktadır. Isıl işlem uygulanmamış olan numunelerde mukavemet değeri katkısız numunede 460 MPa iken, TiB_2 içeren numunelerde % 30 oranına kadar artış göstermiş ve % 30 TiB_2 içeren numunede en yüksek 665 MPa olmuştur. Daha fazla TiB_2 eklenmesi mukavemette düşüşe sebep olmuştur. Isıl işlemlili seride mukavemet değeri, destek fazı içermeyen numunede 965 MPa olurken, TiB_2 içeren numunelerde en yüksek değere (935MPa) % 30 TiB_2 içeren numunede ulaşılmıştır.

Çizelge 4.5. TiB_2 içeren ve ısıtıl işlem uygulanmamış olan kompozitlerin mukavemet ve % uzama değerleri

Deney No	Destek Türü	Destek Oranı (% hacmen)	Üç nokta eğme mukavemeti (MPa)	% gerinim
3-1	Yok	0	461	14,5
13-1-2	TiB_2	5	404	10,0
15-1-1	TiB_2	10	484	11,1
15-1-2	TiB_2	10	423	8,2
18-1-1	TiB_2	10	456	13,1
18-1-2	TiB_2	10	553	9,8
18-2-1	TiB_2	10	494	10,7
18-2-2	TiB_2	10	460	10,8
14-1-1	TiB_2	15	497	7,3
14-1-2	TiB_2	15	538	7,8
16-1-1	TiB_2	20	581	6,5
16-1-2	TiB_2	20	546	6,8
17-1-1	TiB_2	30	596	3,9
17-1-2	TiB_2	30	665	5,2
22-1-1	TiB_2	30	637	4,3
22-1-2	TiB_2	30	511	4,0
20-1-1	TiB_2	40	562	3,0
20-1-2	TiB_2	40	422	2,7
28-1-1	TiB_2	40	399	3,3

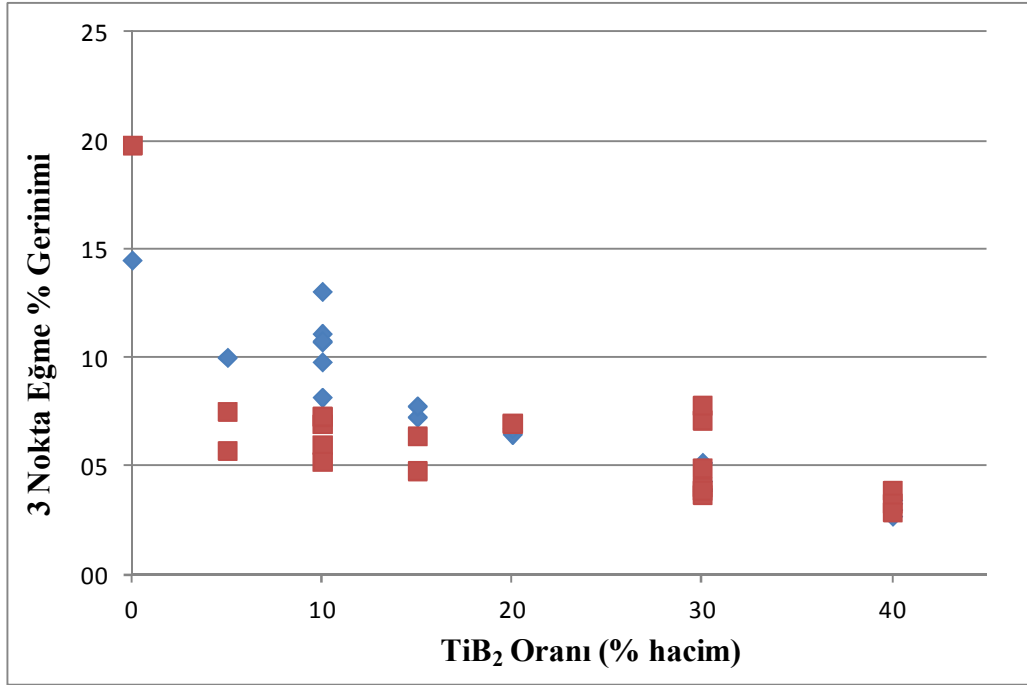
Çizelge 4.6. TiB₂ içeren ve ısıt işlem uygulanmış olan kompozitlerin mukavemet ve % uzama değerleri

Deney No	Destek Türü	Destek Oranı (% hacmen)	Üç nokta eğme mukavemeti (MPa)	% gerinim
3-2-1.i.	Yok	0	965	19,8
13-3-1ii	TiB ₂	5	744	7,5
13-3-2ii	TiB ₂	5	667	5,7
15-3-1ii	TiB ₂	10	788	7,0
15-3-2ii	TiB ₂	10	762	6,0
18-3-1ii	TiB ₂	10	687	7,3
14-3-1ii	TiB ₂	15	700	4,8
14-3-2ii	TiB ₂	15	849	6,4
16-3-2ii	TiB ₂	20	731	7,0
17-2-1ii	TiB ₂	30	777	7,1
17-2-2ii	TiB ₂	30	935	7,8
17-3-1ii	TiB ₂	30	734	4,1
17-3-2ii	TiB ₂	30	755	4,9
20-3-1	TiB ₂	40	787	3,9
28 1.i	TiB ₂	40	552	2,9



Şekil 4.9. Çeşitli oranlarda TiB₂ içeren kompozitlerin üç nokta eğme mukavemetleri (kareler: ısıtılmış kompozitler)

Yüzde gerinim değerleri ise destek fazı içermeyen numunede %15-20 aralığında olurken, artan destek fazı oranı ile azalma göstererek % 40 TiB₂ içeren numunede %4 civarında olmuştur.



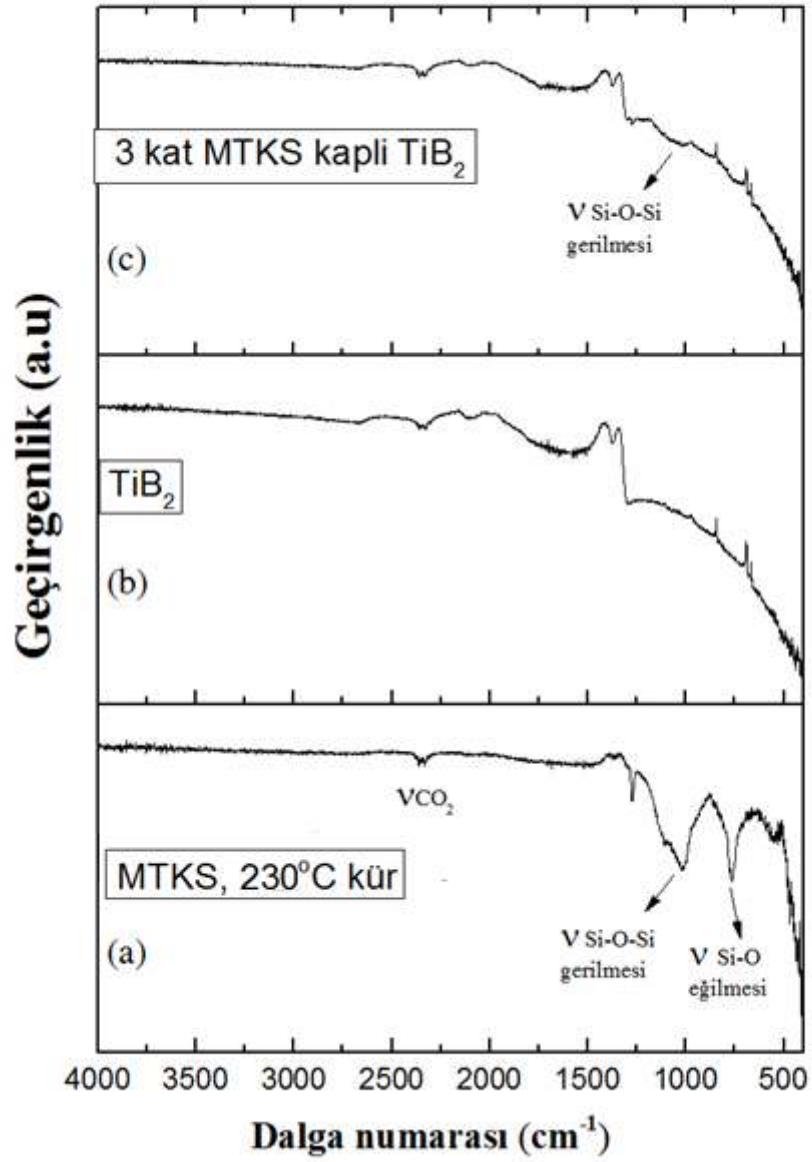
Şekil 4.10. Çeşitli oranlarda TiB₂ içeren kompozitlerin üç nokta eğme % gerinimleri (kareler: ısıtılmış kompozitler)

4.2. Modifiye İşlemi Uygulanmış Olan TiB₂ Partikülleri İçeren Kompozitler

TiB₂ partiküllerinin yüzeyleri, Materyal ve Metot bölümünde tarif edildiği gibi SiO₂ ile modifiye edilmiştir. Yüzeyleri modifiye edilmiş olan tozlar kullanılarak kompozitler üretilmiş ve incelenmiştir.

4.2.1. FT-IR analizi

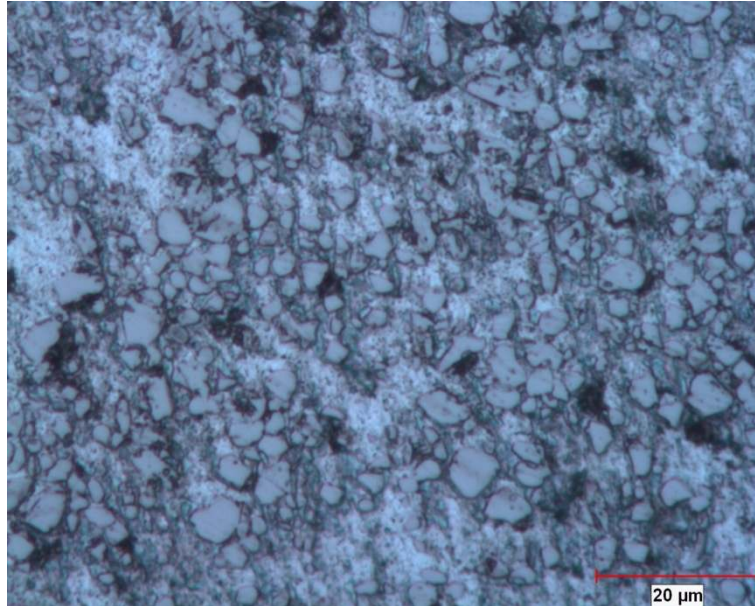
Şekil 4.11' de 230°C' de kürleştirilmiş olan MTKS kaplamanın, kaplamasız TiB₂ tozunun ve MTKS ile kaplanmış ve 230°C' de kürleştirilmiş olan TiB₂ tozunun FT-IR grafikleri verilmektedir. MTKS'de 1000 cm⁻¹' de Si-O-Si gerilmesine bağlı bir pik bulunmaktadır. Kaplama ve kürleştirme işlemi sonrasında, TiB₂ tozunda da benzer pik ortaya çıkmaktadır. Bu gözlemden, TiB₂ tozlarının yüzeylerinin SiO₂ ile modifiye olduğu çıkarımı yapılabilir.



Şekil 4.11. a) 230  C’de k rle tirme uygulanmış MTKS solünün, b) yüzeyi modifiye edilmemiş TiB  tozunun ve c) yüzeyi MTKS ile modifiye edilmiş olan TiB  tozunun FT-IR grafikleri

4.2.2. Mikroyapı incelemeleri ve mekanik özellikler

Yüzeyi SiO_2 ile modifiye edilmiş olan TiB_2 tozundan %10 oranında içeren kompozitin mikroyapısı Şekil 4.12’ de görülmektedir. TiB_2 tozunun homojen dağıldığı ve topaklanma meydana gelmediği anlaşılmaktadır. %10 oranında yüzeyi modifiyesiz TiB_2 eklenmiş olan kompozitin % teorik yoğunlukları %97’nin üzerinde iken, yüzeyi SiO_2 ile modifiye edilmiş olan TiB_2 kullanıldığında bu değer %94 civarında olmuştur. Bu durum, yüzey modifikasyonu sonrasında TiB_2 partiküllerinin yüzeylerindeki organik bileşiklerin tamamen uzaklaştırılamamış olamsından kaynaklanmış olabilir. Kompozitlerdeki yoğunluğun azalması sonucunda mekanik özelliklerde düşüş beklenebilir.



Şekil 4.12. Yüzeyi SiO_2 ile modifiye edilmiş olan TiB_2 tozundan hacimce % 10 oranında içeren kompozitin mikroyapısı (1000X)

Yüzeyi SiO_2 ile modifiye edilmemiş ve edilmiş olan TiB_2 tozundan hacimce %10 oranında içeren kompozitlerin ısıtılma işlemi mekanik özellikleri Çizelge 4.7’ de, ısıtılma işlemli mekanik özellikleri ise Çizelge 4.8’ de sunulmaktadır. Sertlik değerleri, yüzey modifiyeli ve modifiyesiz tozlardan üretilen kompozitlerde farklılık göstermemektedir. Her iki toz için de sertlik değerleri ısıtılma işlemi seride 65-73 HB10, ısıtılma işlemli seride ise 110-116 HB10 değerlerinde olmuştur.

Yüzeyi modifiyeli TiB_2 tozları kullanılarak üretilen kompozitler ısıt işlemsiz durumda daha düşük mukavemet değerleri göstermiştir. Isıt işlemlı numunelerde ise mukavemet değerleri birbirine yakın olmuştur.

Çizelge 4.7. Yüzeyi SiO_2 ile modifiye edilmemiş ve edilmiş olan TiB_2 tozlarından hacimce %10 oranında içeren kompozlerin ısıt işlemsiz mekanik özellikleri

Deney No	Destek Türü	Destek Oranı (% hacmen)	Sertlik (HB10)	Standart sapma	Üç nokta eğme mukavemeti (MPa)	% gerinim
15-1-1	TiB_2	10	65,5	2,3	484	11,1
15-1-2	TiB_2	10	68,3	3,0	423	8,2
18-1-1	TiB_2	10	73,7	2,5	456	13,1
18-1-2	TiB_2	10	71,9	2,7	553	9,8
18-2-1	TiB_2	10	72,2	3,1	494	10,7
18-2-2	TiB_2	10	70,0	2,4	460	10,8
19-1-1	TiB_2 (SiO_2 kaplı)	10	73,7	1,4	382	11,4
19-1-2	TiB_2 (SiO_2 kaplı)	10	77,8	2,6	395	9,6
21-1-1	TiB_2 (SiO_2 kaplı)	10	66,3	4,2	348	6,9
21-1-2	TiB_2 (SiO_2 kaplı)	10	65,3	3,4	350	6,3

Çizelge 4.8. Yüzeyi SiO_2 ile modifiye edilmemiş ve edilmiş olan TiB_2 tozlarından hacimce %10 oranında içeren kompozitin ısıt işlemlı mekanik özellikleri

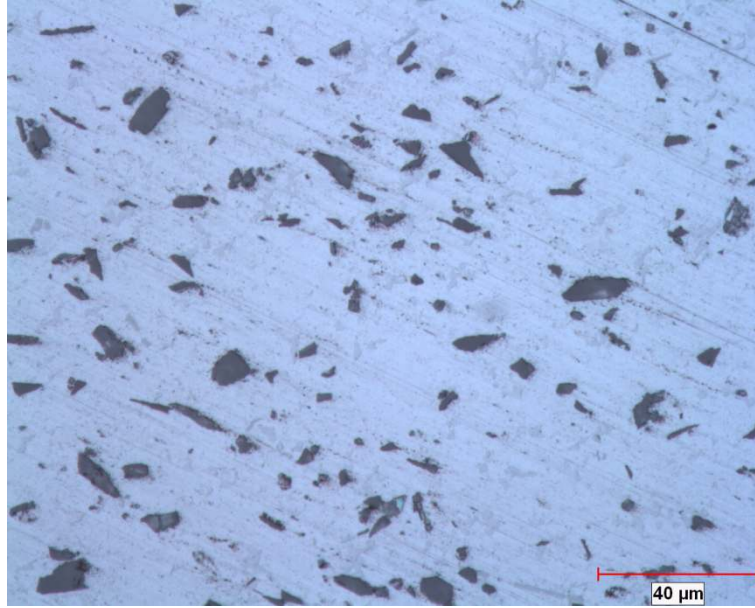
Deney No	Destek Türü	Destek Oranı (% hacmen)	Sertlik (HB10)	Standart sapma	Üç nokta eğme mukavemeti (MPa)	% gerinim
15-3-1ii	TiB_2	10	117,4	4,9	788	7,0
15-3-2ii	TiB_2	10	115,3	4,7	762	6,0
18-3-1ii	TiB_2	10	110,5	2,9	687	7,3
19-3-1ii	TiB_2 (SiO_2 kaplı)	10	110,1	2,1	694	6,1
19-3-2ii	TiB_2 (SiO_2 kaplı)	10	116,1	5,9	642	7,4

4.3. Modifiye İşlemi Uygulanmamış Olan SiC Partikülleri İçeren Kompozitler

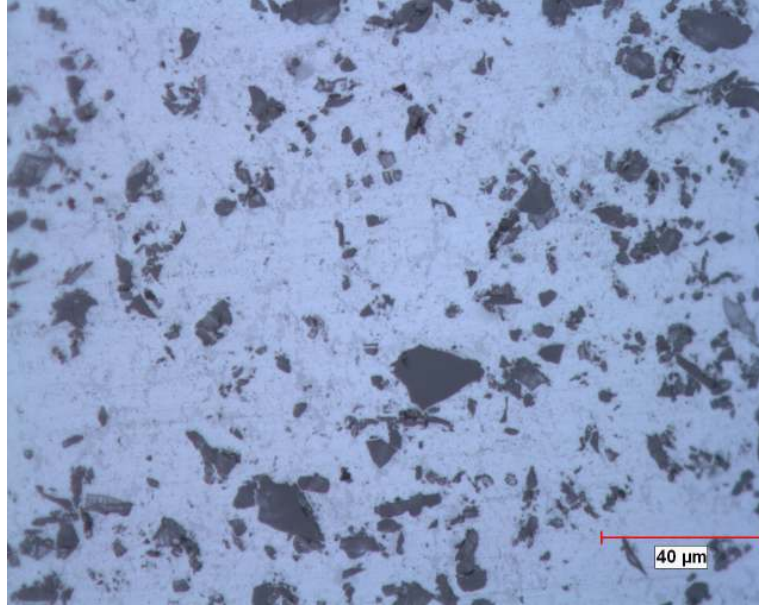
4.3.1. Mikroyapı incelemeleri

SiC içeren kompozitler hacimce % 5, 10, 20, 30 ve 45 oranlarında partikül içerecek şekilde hazırlanmışlardır. Elde edilen kompozitlerin öncelikle mikroyapıları incelenmiş ve yoğunlukları belirlenmiştir. SiC partikülleri içeren kompozitlerin yüzey hazırlama işlemleri, TiB_2 içeren kompozitlere kıyasla daha kolay olmuştur ve numunelerin yüzeyleri daha temiz olarak hazırlanabilmektedir.

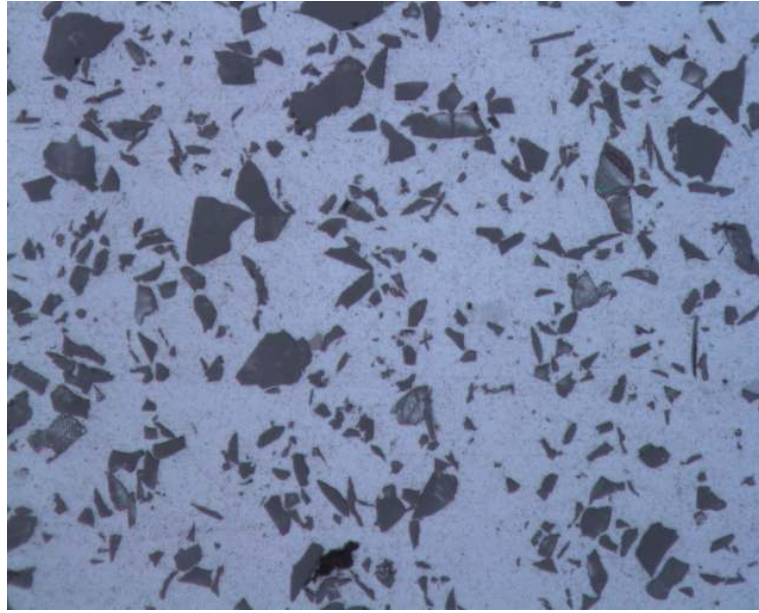
Hacimce % 5-45 SiC içeren kompozitlerin mikroyapı fotoğrafları Şekil 4.13-4.17' de sırasıyla sunulmaktadır. Mikroyapı incelemelerinden, elde edilen kompozitlerde topaklanmaların yer almadığı ve SiC partiküllerinin homojen şekilde dağıldığı ve anlaşılmıştır. Yapıdaki gözenek oranının, TiB_2 içeren kompozitlere kıyasla daha az olduğu görülmektedir.



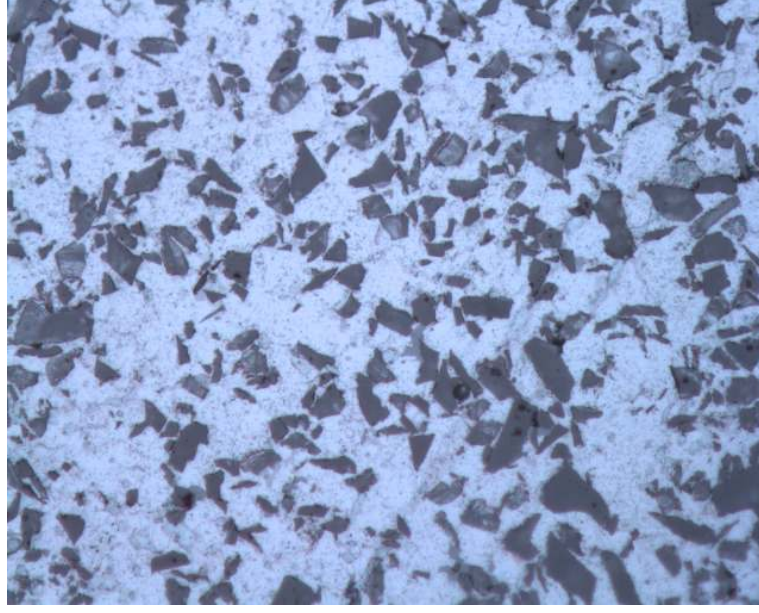
Şekil 4.13. Hacimce %5 SiC içeren kompozitin mikroyapısı (500X)



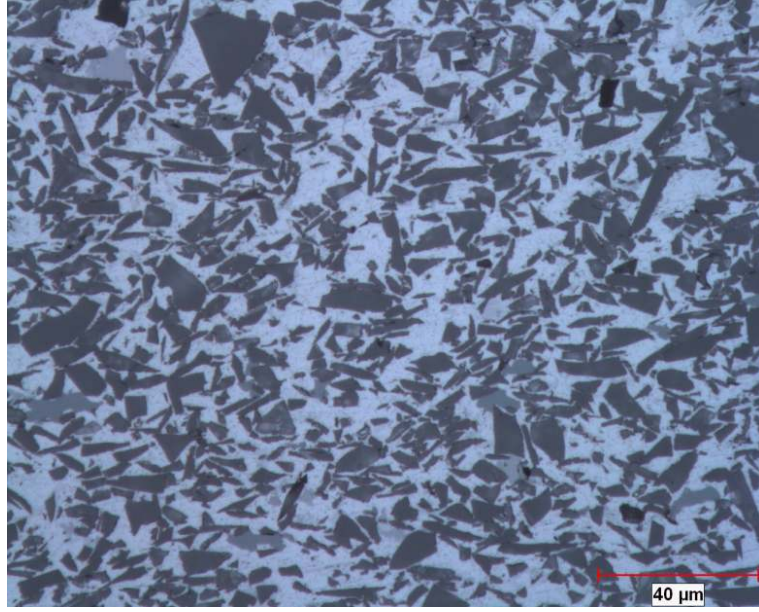
Şekil 4.14. Hacimce %10 SiC içeren kompozitin mikroyapısı (500X)



Şekil 4.15. Hacimce %20 SiC içeren kompozitin mikroyapısı (500X).



Şekil 4.16. Hacimce %30 SiC içeren kompozitin mikroyapısı (500X)



Şekil 4.17. Hacimce %45 SiC içeren kompozitin mikroyapısı (500X)

4.3.2. Yoğunluk ölçümleri

SiC içeren ısıtıl işlemsiz kompozitlerin % yoğunluk değerleri Çizelge 4.9' da ve ısıtıl işlemlili numunelerin değerleri Çizelge 4.10' da sunulmaktadır. Bu tablolarda, ısıtıl işlem öncesi ve sonrası yoğunluk değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Hacimce % 30 oranına kadar SiC içeren kompozitlerin yoğunluk değerleri % 97'nin üzerindedir. Bu değerlerden, uygulanan sıcak pres sıcaklığının ve süresinin uygun olduğu anlaşılmaktadır. % 45 oranında SiC içeren kompozit ise % 96,5 oranında sinterlenme göstermiştir.

Çizelge 4.9. SiC içeren ve ısıtıl işlem uygulanmamış olan kompozitlerin yoğunluk değerleri

Deney No	Destek Türü	Destek Oranı (% hacmen)	Teorik Yoğunluk (g/cm ³)	Ölçülen Yoğunluk (g/cm ³)	% Teorik Yoğunluk (g/cm ³)
3-1	SiC	0	2,78	2,77	99,64
32-1-2	SiC	5	2,8	2,74	97,86
6-1	SiC	10	2,82	2,75	97,52
4-1	SiC	20	2,86	2,85	99,65
5-1	SiC	30	2,91	2,86	98,28
29-2-1	SiC	45	2,97	2,84	95,62

Çizelge 4.10. SiC içeren ve ısıtıl işlem uygulanmış olan kompozitlerin yoğunluk değerleri

Deney No	Destek Türü	Destek Oranı (% hacmen)	Teorik Yoğunluk (g/cm ³)	Ölçülen Yoğunluk (g/cm ³)	% Teorik Yoğunluk (g/cm ³)
3-2	SiC	0	2,78	2,77	99,64
32-3-1	SiC	5	2,8	2,74	97,86
6-2	SiC	10	2,82	2,75	97,52
4-2	SiC	20	2,86	2,82	98,60
5-2	SiC	30	2,91	2,86	98,28
29-3	SiC	45	2,97	2,84	95,62

4.3.3. Sertlik ölçümleri

SiC içeren ve ısıtıl işlem uygulanmamış olan kompozitlerin sertlik değerleri Çizelge 4.11’ de sunulmaktadır. Isıl işlem uygulanmış olan kompozitlerin sertlik değerleri ise Çizelge 4.12’ de verilmektedir. Bu değerler grafik halinde Şekil 4.18’ de toplu olarak görülebilmektedir. Bu şekilde, ısıtıl işlemsiz seride destek fazı oranındaki artışla sertlikteki artışın genelde doğrusal bir karakter izlediği görülmektedir. Isıl işlemlili seride ise destek fazı oranı arttıkça, ısıtıl işlemlili ve ısıtıl işlemsiz numunelerin sertliklerinin birbirine yaklaştığı görülmektedir. Bunun sebebi olarak, SiC içeren kompozitlerde açıklandığı gibi, çökelti sertleştirme işleminin uygulandığı matris fazının oranının azalması olabilir.

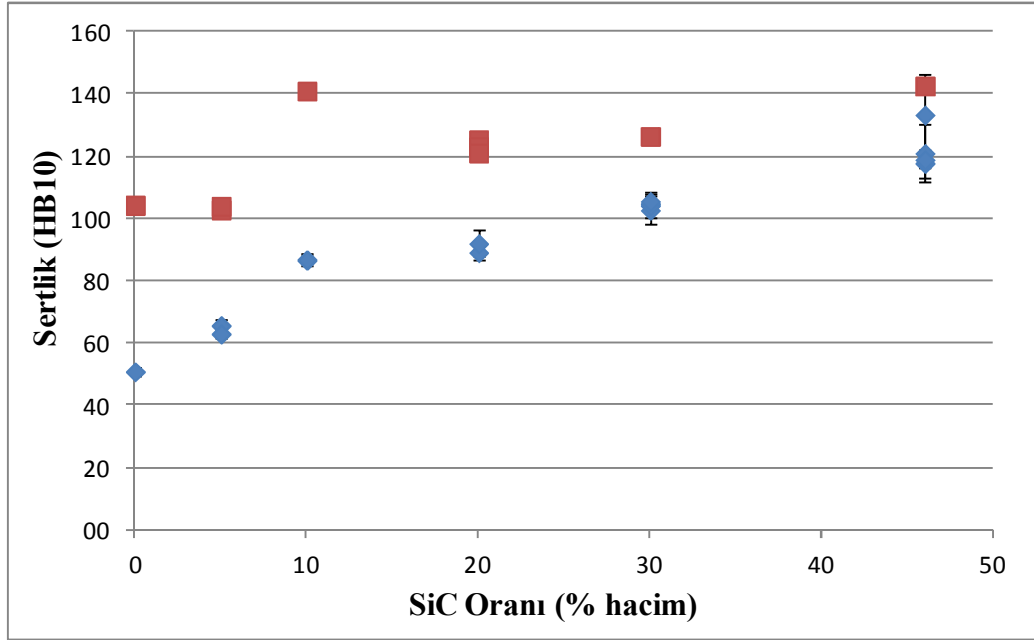
Sertlik değerleri ısıtıl işlemsiz seride katkısız numunede 50 HB10 değerinde olmuş ve %45 SiC içeren kompozitte 133 HB10 değerine ulaşmıştır. Isıl işlemlili seride ise %10 SiC içeren numunede sertlik değeri 140 HB10 değerine çıkmış ve diğer kompozitlerde daha düşük olmuştur.

Çizelge 4.11. SiC içeren ve ısıtıl işlem uygulanmamış olan kompozitlerin sertlik değerleri

DeneyNo	Destek Türü	Destek Oranı (% hacmen)	Sertlik (HB10)	Standart sapma
3-1	Yok	0	50,8	1,4
32-1-1	SiC	5	65,7	1,6
32-1-2	SiC	5	63,0	1,0
6-1	SiC	10	86,7	1,7
23-1-1	SiC	20	89,1	2,1
23-1-2	SiC	20	92,0	4,1
30-1-1	SiC	30	102,7	4,5
30-1-2	SiC	30	104,8	1,0
30-2-1	SiC	30	104,2	3,7
30-2-2	SiC	30	105,6	2,9
29-1-1	SiC	45	117,8	4,4
29-1-2	SiC	45	121,0	9,5
29-2-1	SiC	45	133,4	4,7
29-2-2	SiC	45	118,9	2,4

Çizelge 4.12. SiC. içeren ve ısıt işlem uygulanmış olan kompozitlerin sertlik değeri

DeneyNo	Destek Türü	Destek Oranı (% hacmen)	Sertlik (HB10)	Standart sapma
3-2-1.i.	Yok	0	104,3	1,7
32-3-1 1.i.	SiC	5	102,8	1,2
32-3-2 1.i.	SiC	5	104,0	2,1
6-2 1.i.	SiC	10	141,0	1,2
4-2 1.i.	SiC	20	125,3	1,6
5-2 1.i.	SiC	30	126,4	1,7
29 1.i	SiC	45	142,6	1,3



Şekil 4.18. Çeşitli oranlarda SiC içeren ısıt işlemlenmiş ve ısıt işlemlenmemiş kompozitlerin sertlik değeri (kareler: ısıt işlemlenmiş kompozitler)

4.3.4. Üç nokta eğme testleri

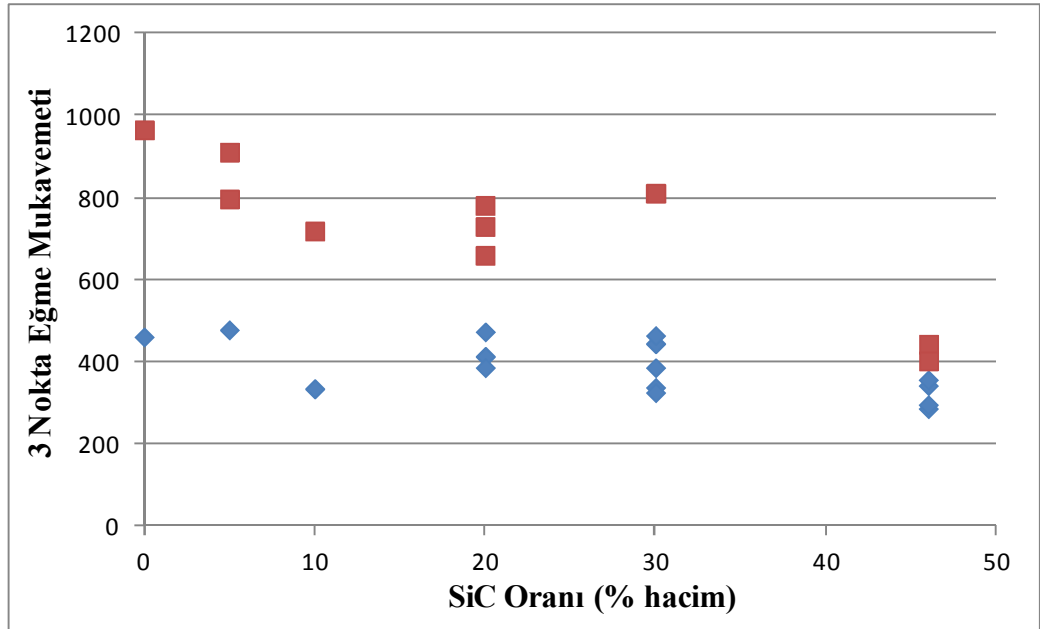
Isıl işleme tabi tutulmamış ve tutulmuş olan SiC içeren kompozitlerin üç nokta eğme mukavemet ve % gerinim değerleri Çizelge 4.13, 4.14 ve Şekil 4.19, 4.20' de sunulmaktadır. Isıl işlem uygulanmamış olan numunelerde mukavemet değeri katkısız numunede 460 MPa olmuş ve SiC içeren numunelerde % 30 oranına kadar bu değere yakın mukavemet değerleri elde edilmiştir. % 45 SiC eklendiğinde ise mukavemet 350 MPa değerine inmiştir. Isıl işlemleri seride mukavemet değeri, destek fazı içermeyen numunede 965 MPa olurken, SiC içeren numunelerde en yüksek değere (810 MPa) % 30 TiB₂ içeren numunede ulaşılmıştır.

Çizelge 4.13. SiC içeren ve ısıtıl işlem uygulanmamış olan kompozitlerin mukavemet ve % uzama değerleri

Deney No	Destek Türü	Destek Oranı (% hacmen)	Üç nokta eğme mukavemeti (MPa)	% gerinim
3-1	Yok	0	461	14,5
32-1-1	SiC	5	478	14,0
32-1-2	SiC	5	519	18
6-1	SiC	10	335	4,8
4-1	SiC	20	414	3,6
23-1-1	SiC	20	387	6,0
23-1-2	SiC	20	474	5,4
5-1	SiC	30	445	2,9
30-1-1	SiC	30	338	3,0
30-1-2	SiC	30	326	3,4
30-2-1	SiC	30	465	3,7
30-2-2	SiC	30	386	3,9
29-1-1	SiC	45	287	3,8
29-1-2	SiC	45	343	4,9
29-2-1	SiC	45	357	4,6
29-2-2	SiC	45	297	5,1

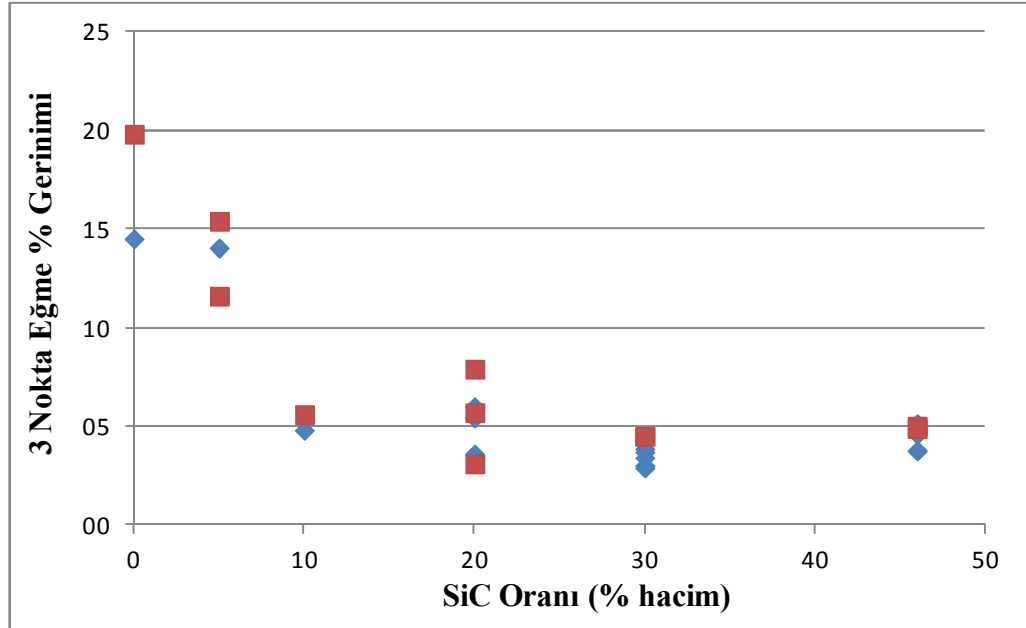
Çizelge 4.14. SiC içeren ve ısıt işlem uygulanmış olan kompozitlerin mukavemet ve % uzama değerleri

Deney No	Destek Türü	Destek Oranı (% hacmen)	Üç nokta eğme mukavemeti (MPa)	% gerinim
3-2-1.i.	Yok	0	965	19,8
32-3-1 1.i.	SiC	5	911	15,4
32-3-2 1.i.	SiC	5	797	11,6
6-2 1.i.	SiC	10	719	5,6
4-2 1.i.	SiC	20	579	3,1
5-2 1.i.	SiC	30	811	4,5
29 1.i	SiC	45	444	5



Şekil 4.19. Çeşitli oranlarda SiC içeren kompozitlerin üç nokta eğme mukavemetleri (kareler: ısıtılmış kompozitler)

Yüzde gerinim değerleri ise destek fazı içermeyen numunede %15-20 aralığında olurken, %10 ve daha fazla SiC içeren kompozitlerde %5 ve daha az olmuştur.

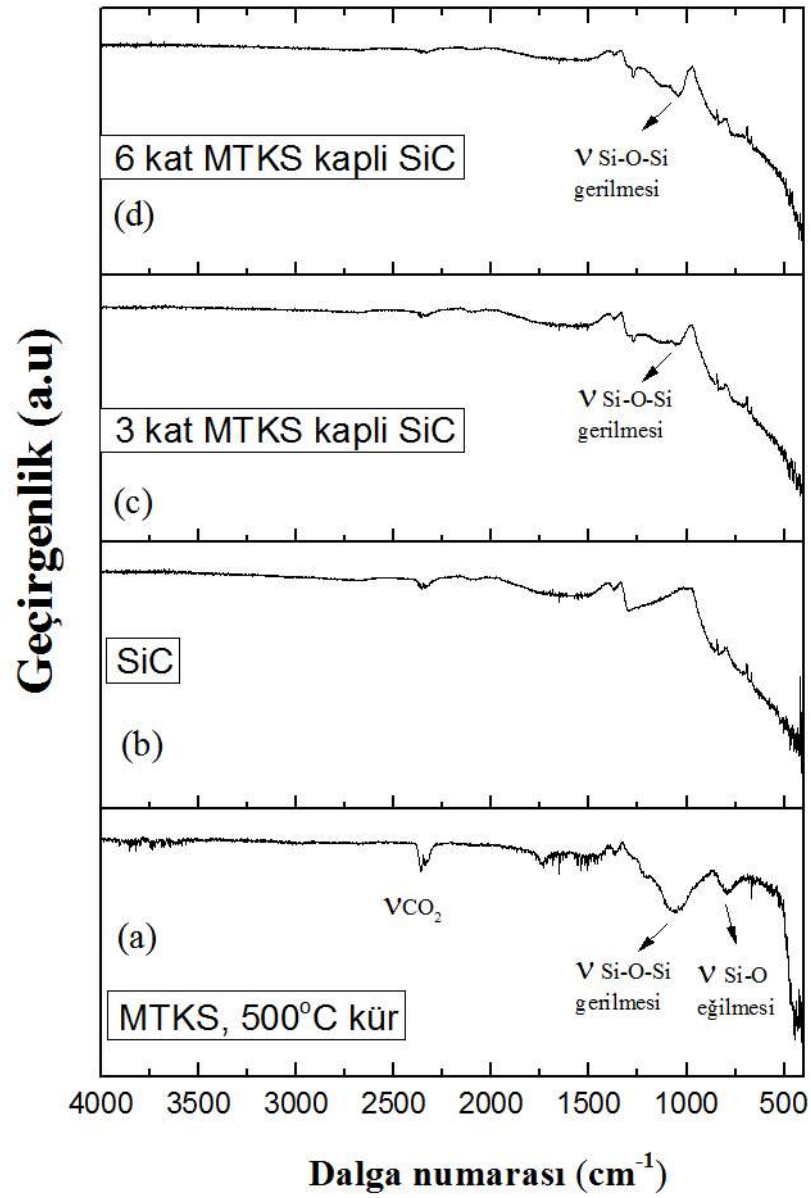


Şekil 4.20. Çeşitli oranlarda SiC içeren kompozitlerin üç nokta eğme % gerinimleri (kareler: ısıtılmış kompozitler)

4.4. Modifiye İşlemi Uygulanmış Olan SiC Partikülleri İçeren Kompozitler

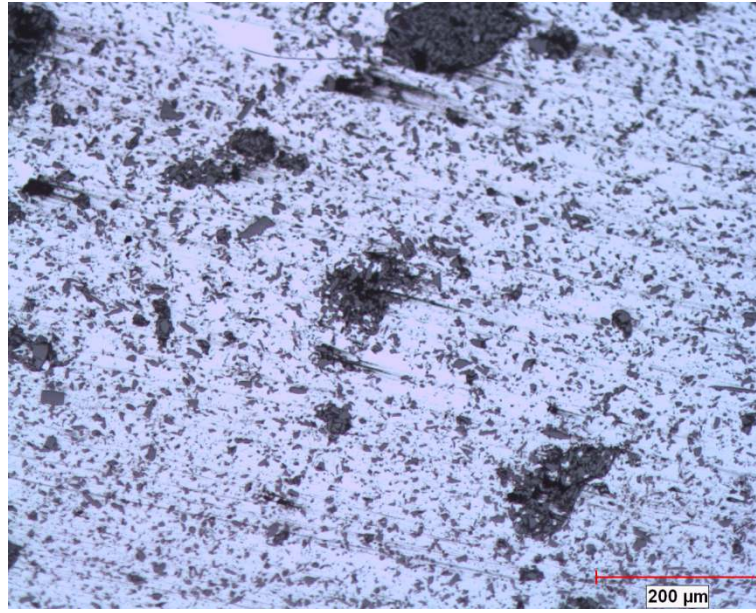
4.4.1. SiO₂ ile yüzeyi modifiye edilmiş SiC tozları

Şekil 4.21' de 500°C'de kürleştirilmiş olan MTKS kaplamanın, kaplamasız SiC tozunun, spreyl yöntemiyle 3 ve 6 kat kaplanmış ve 500°C'de kürleştirilmiş olan SiC tozlarının FT-IR grafikleri verilmektedir. MTKS'de 1000 cm⁻¹'de Si-O-Si gerilmesine bağlı bir pik bulunmaktadır. Kaplama ve kürleştirme işlemi sonrasında, SiC tozunda da benzer pik ortaya çıkmaktadır. Bu pik, 6 kat kaplama uygulanmış numunede daha belirgin hale gelmektedir. Bu gözlemden, SiC tozlarının yüzeylerinin SiO₂ ile modifiye olduğu çıkarımı yapılabilir.



Şekil 4.21. (a) 500°C’ de kürleştirme uygulanmış MTKS solüsyonunun, (b) yüzeyi modifiye edilmemiş SiC tozunun, (c) yüzeyi MTKS ile 3 kat ve (d) yüzeyi MTKS ile 6 kat modifiye edilmiş olan SiC tozlarının FT-IR grafikleri

Yüzeyi SiO_2 ile modifiye edilmiş olan SiC tozundan %20 oranında içeren kompozitin mikroyapısı Şekil 4.22’ de görülmektedir. SiC tozunun genelde homojen olarak dağıldığı fakat yer yer topaklanmaların meydana geldiği görülmüştür. Bu durumun sebebinin, uygulanan kürleştirme sıcaklığının TiB_2 tozları için uygulanandan (230°C) daha yüksek (500°C) olması olduğu düşünülmektedir. Bu numunelerin % yoğunluk değerleri %96 civarında olmuştur. Yoğunluktaki azalmaya, yapıda bulunan topaklanmalar sebep olmuş olabilir. Yapıda bulunan topaklanmalar sebebiyle mekanik özelliklerde düşüş beklenebilir.



Şekil 4.22. Yüzeyi SiO_2 ile modifiye edilmiş olan SiC tozundan hacimce % 20 oranında içeren kompozitin mikroyapısı (100X)

Yüzeyi SiO_2 ile modifiye edilmemiş ve edilmiş olan SiC tozundan hacimce %20 oranında içeren kompozitlerin ısıt işlemsiz mekanik özellikleri Çizelge 4.15’ te sunulmaktadır. Sertlik değerleri, yüzey modifiyeli ve modifiyesiz tozlardan üretilen kompozitlerde farklılık göstermemektedir. Her iki toz için de sertlik değerleri ısıt işlemsiz seride 80-90 HB10, değerlerinde olmuştur. Yüzeyi SiO_2 modifiyeli SiC tozları kullanılarak üretilen kompozitler ısıt işlemsiz durumda daha düşük mukavemet değerleri göstermiştir. Bu sebeple bu numunelere ısıt işlem uygulanmamıştır.

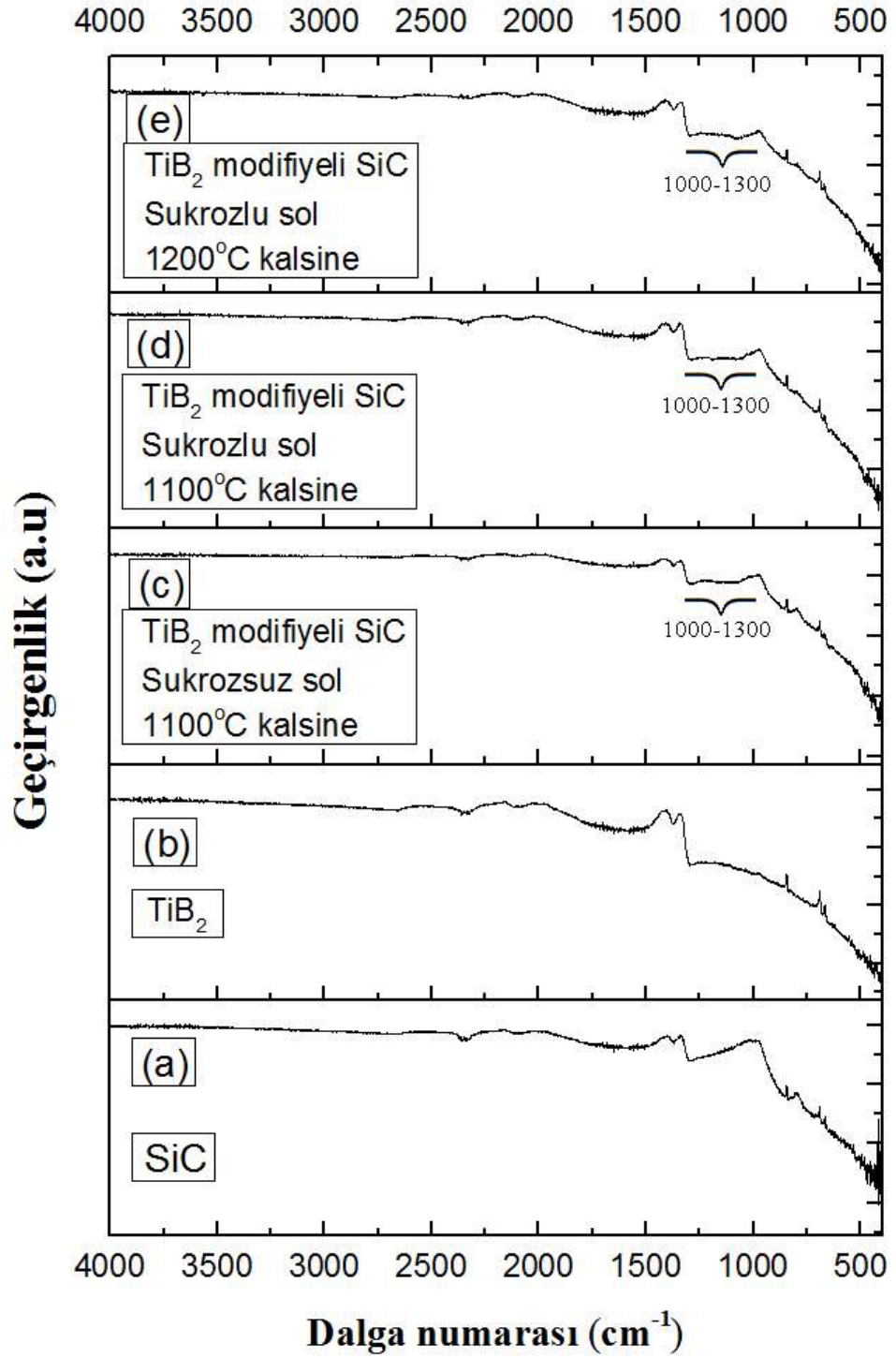
Çizelge 4.15. Yüzeyi SiO₂ ile modifiye edilmemiş ve edilmiş olan SiC tozlarından hacimce %20 oranında içeren kompozitlerin ısıtılmış mekanik özellikleri

Deney No	Destek Türü	Destek Oranı (% hacmen)	Sertlik (HB10)	Standart sapma	Üç nokta eğme mukavemeti (MPa)	% gerinim
4-1	SiC	20	66,4	0,5	414	3,6
23-1-1	SiC	20	89,1	2,1	387	6,0
23-1-2	SiC	20	92,0	4,1	474	5,4
24-1-1	SiC (SiO ₂ kaplı)	20	82,0	3,6	211	3,1
24-1-2	SiC (SiO ₂ kaplı)	20	90,1	3,9	240	3,3

4.4.2. TiB₂ ile yüzeyi modifiye edilmiş SiC tozu

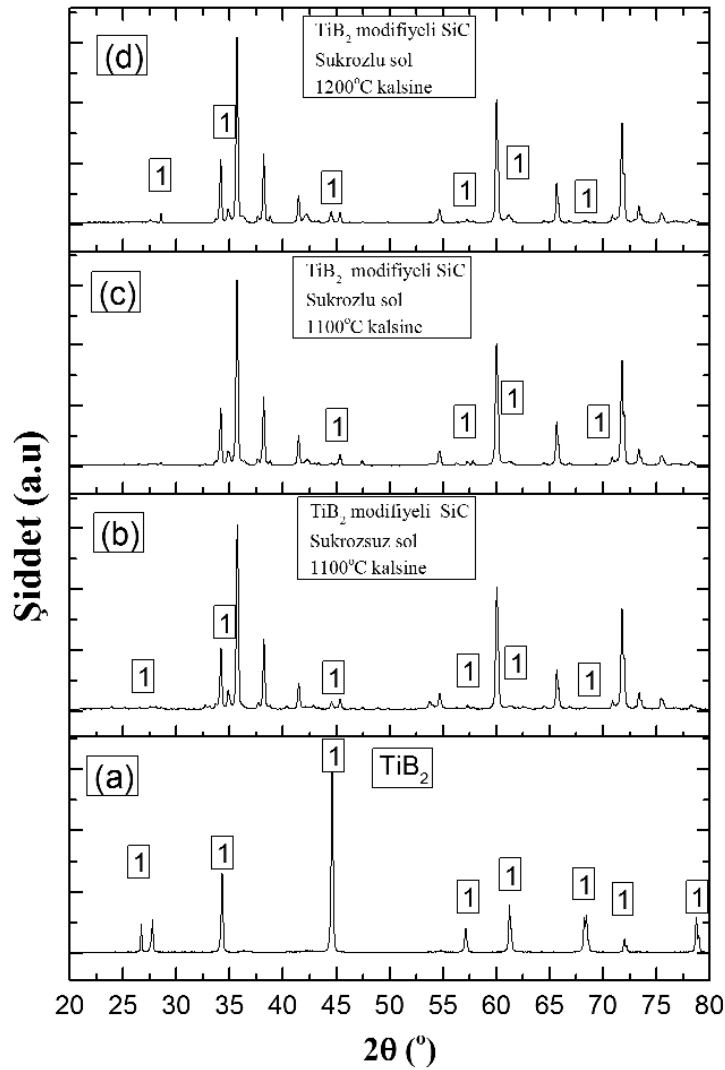
Şekil 4.23c,d,e' de yüzeyi TiB₂ ile modifiye edilmiş olan SiC partiküllerin FT-IR grafikleri verilmektedir. Modifiye işlemi uygulanmamış olan SiC ve ticari bir TiB₂ tozunun FT-IR grafikleri de karşılaştırma amacıyla sunulmaktadır (Şekil 4.23a,b). SiC partiküllerinin modifikasyonu için çeşitli parametreler incelenmiştir. Bunlardan birincisi, Materyal ve Metot bölümünde verilen Reaksiyon (1)'e göre hazırlanan solüsyona sukroz eklenmeden modifikasyonun gerçekleştirmektir. Bu yöntemde, Reaksiyon (1)'e göre sistemde bulunması gereken karbonun, SiC parçacıklarından sağlanması amaçlanmıştır. Hazırlanan diğer solüsyonlara Reaksiyon (1) için karbon kaynağı olarak sukroz eklenmiştir. SiC parçacıkları bu solüsyonların içinde kuruyana kadar karıştırılmıştır. Daha sonra reaksiyonun gerçekleşmesi için kalsinasyon işlemine tabi tutulmuştur. Modifikasyon işleminde incelenen diğer parametre kalsinasyon sıcaklığıdır. Kalsinasyon işlemi 1100 ve 1200 °C' lerde gerçekleştirilmiştir.

Modifikasyon öncesinde FT-IR grafiklerinde var olmayan ve modifiye edilmiş olan SiC tozlarında 1000-1300 cm⁻¹'de gösterilen pikin, TiB₂ modifikasyonu sonucunda meydana geldiği düşünülmektedir.



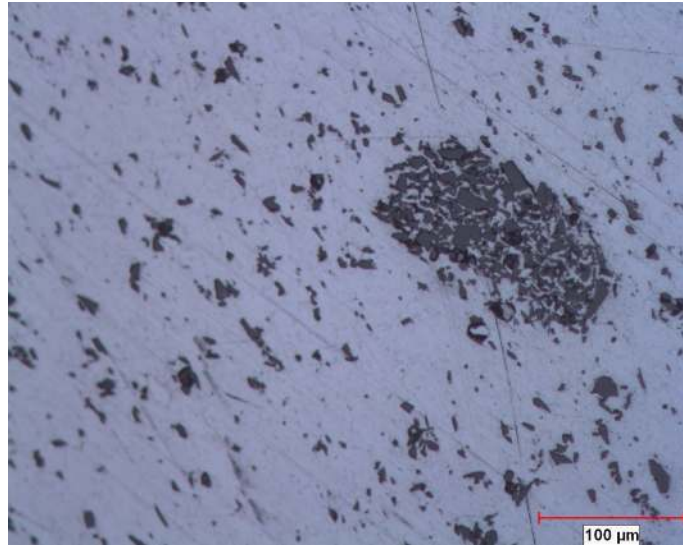
Şekil 4.23. a) Modifiyesiz SiC tozunun, b) TiB_2 tozunun, yüzeyi c) sukrozsuz solden TiB_2 ile modifiye ve 1100 °C’de kalsine edilmiş, d) sukrozlu solden TiB_2 ile modifiye ve 1100 °C ’de kalsine edilmiş, e) sukrozlu solden TiB_2 ile modifiye ve 1200 °C’de kalsine edilmiş olan SiC tozlarının FT-IR grafikleri

TiB₂ modifiyeli SiC tozlarının XRD grafikleri Şekil 4.24'te sunulmaktadır. Bu şekilde, TiB₂ tozunun XRD deseni de karşılaştırma amacıyla verilmiştir. Şekil 4.24'te TiB₂ pikleri (1) rakamıyla gösterilmiştir. Diğer pikler SiC tozuna aittir. Miktar olarak SiC çok daha fazla olduğu için, SiC piklerinin yanında TiB₂ pikleri çok küçük görülmektedir. TiB₂ ile yüzeyi modifiye edilmiş olan SiC tozlarında, TiB₂'nin varlığı XRD analizlerinden anlaşılmaktadır.

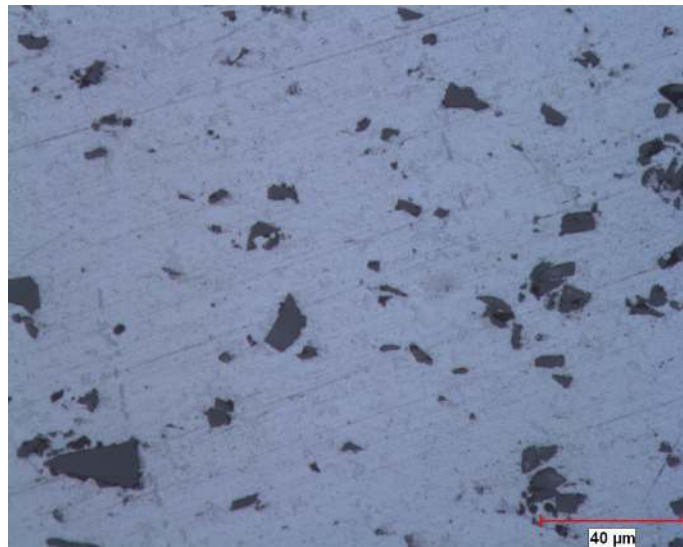


Şekil 4.24. a) TiB₂ tozunun, yüzeyi b) sukrozsuz solden TiB₂ ile modifiye ve 1100 °C'de kalsine edilmiş, c) sukrozlu solden TiB₂ ile modifiye ve 1100 °C'de kalsine edilmiş, d) sukrozlu solden TiB₂ ile modifiye ve 1200 °C'de kalsine edilmiş olan SiC tozlarının XRD grafikleri. (1 ile işaretlenen pikler TiB₂, diğer pikler SiC)

Yüzeyi TiB_2 ile modifiye edilmiş olan SiC tozundan % 5 oranında içeren kompozitin mikroyapısı Şekil 4.25 ve 4.26’ da görülmektedir. SiC tozunun genelde homojen olarak dağılmıştır fakat yer yer topaklanmaların meydana gelmiştir. Alüminyum ve bakır tozlarıyla karıştırılmadan önce, yüzeyi modifiye edilmiş olan SiC tozu, agat havanda ezilerek topaklanmalar dağıtılmaya çalışılmıştır. Buna rağmen, az da olsa topaklanmanın kaldığı optik mikroskop incelemelerinden anlaşılmaktadır. Şekil 4.25’ te görülen topaklanmanın içinde de alüminyum matrisin bulunması, bu topakların mekanik özellikleri olumsuz etkilemesini önleyebilir.



Şekil 4.25. Yüzeyi TiB_2 ile modifiye edilmiş olan SiC tozundan hacimce % 5 oranında içeren kompozitin mikroyapısı (200X)



Şekil 4.26. Yüzeyi SiO_2 ile modifiye edilmiş olan SiC tozundan hacimce % 5 oranında içeren kompozitin mikroyapısı (500X)

Yüzeyi TiB_2 ile modifiye edilmiş olan SiC parçacıklarını içeren kompozitlerin yoğunluk değerleri Çizelge 4.16 ve 4.17’ de sunulmuştur. Farklı yöntemlerle yüzeyi modifiye edilmiş olan SiC parçacıklarını içeren kompozitlerin hepsinde % yoğunluk değeri % 94,76 olmuştur. Bu değer, yüzey modifiyesiz tozlar kullanılarak elde edilen yoğunluktan düşüktür.

Çizelge 4.16. Yüzeyi TiB_2 ile modifiye edilmiş olan SiC tozlarından hacimce %5 oranında içeren kompozitlerin ısıt işlemsiz yoğunluk değerleri

Deney No	Destek Türü	Destek Oranı (% hacmen)	Teorik Yoğunluk (g/cm ³)	Ölçülen Yoğunluk (g/cm ³)	% Teorik Yoğunluk (g/cm ³)
33-1-1	TiB_2 (Sukrozsuz sol)	5	2,86	2,71	94,76
34-1-1	TiB_2 (Sukrozsuz sprej)	5	2,86	2,71	94,76
35-1-2	TiB_2 (Sukrozlu sol)	5	2,86	2,71	94,76
36-1-2	TiB_2 (Sukrozlu sprej)	5	2,86	2,71	94,76

Çizelge 4.17. Yüzeyi TiB_2 ile modifiye edilmiş olan SiC tozlarından hacimce %5 oranında içeren kompozitlerin ısıt işlemlili yoğunluk değerleri

Deney No	Destek Türü	Destek Oranı (% hacmen)	Teorik Yoğunluk (g/cm ³)	Ölçülen Yoğunluk (g/cm ³)	% Teorik Yoğunluk (g/cm ³)
33-3-1	TiB_2 (Sukrozsuz sol)	5	2,86	2,71	94,76
34-3-2	TiB_2 (Sukrozsuz sprej)	5	2,86	2,71	94,76
35-3-1	TiB_2 (Sukrozlu sol)	5	2,86	2,71	94,76
36-3-1	TiB_2 (Sukrozlu sprej)	5	2,86	2,71	94,76

Yüzeyi TiB_2 ile modifiye edilmemiş ve edilmiş olan SiC tozlarından hacimce %5 oranında içeren kompozitlerin ısıt işlemsiz mekanik özellikleri Çizelge 4.18' de, ısıt işlemlili özellikleri ise Çizelge 4.19' da sunulmaktadır. Sertlik değeri, yüzey modifiyeli ve modifiyesiz tozlardan üretilen kompozitlerde farklılık göstermemektedir. Her iki toz için de sertlik değeri ısıt işlemsiz seride 63-66 HB10, ısıt işlemlili seride ise 100-105 HB10 değeriinde olmuştur.

Yüzeyi modifiyeli SiC tozları kullanılarak üretilen kompozitler ısıt işlemsiz ve ısıt işlemlili durumlarda birbirine yakın mukavemet değeri göstermiştir. Mukavemet değeri ısıt işlemsiz durumda 430-520MPa, ısıt işlemlili durumda 730-910 MPa değeri arasında olmuştur. Yüzeyi TiB_2 modifiyeli SiC parçacıkları içeren kompozitlerin % yoğunluk değeri düşük olmasına rağmen, mekanik özellikler olumsuz etkilenmemiştir.

Çizelge 4.18. Yüzeyi TiB₂ ile modifiye edilmemiş ve edilmiş olan SiC tozlarından hacimce %5 oranında içeren kompozitlerin ısıt işlemsiz mekanik özellikleri

Deney No	Destek Türü	Destek Oranı (% hacmen)	Sertlik (HB10)	Standart sapma	Üç nokta eğme mukavemeti (MPa)	% gerinim
32-1-1	SiC	5	65,7	1,6	478	14,0
32-1-2	SiC	5	63,0	1,0	519	18
33-1-1	SiC (Sükrozsuz Sol TiB ₂ kaplı)	5	61,4	0,5	481	18,4
33-1-2	SiC (Sükrozsuz Sol TiB ₂ kaplı)	5	60,6	1,1	486	16,0
34-1-1	SiC (Sükrozsuz Sprey TiB ₂ kaplı)	5	61,8	3,7	489	14,6
34-1-2	SiC (Sükrozsuz Sprey TiB ₂ kaplı)	5	62,6	0,4	475	15,3
35-1-1	SiC (Sükrozlu Sol TiB ₂ kaplı)	5	66,6	3,7	409	8,4
35-1-1	SiC (Sükrozlu Sol TiB ₂ kaplı)	5	68,3	5,6	436	10,3
36-1-1	SiC (Sükrozlu Sprey TiB ₂ kaplı)	5	64,7	3,7	414	9,8
36-1-2	SiC (Sükrozlu Sprey TiB ₂ kaplı)	5	64,3	2,3	448	11,8

Çizelge 4.19. Yüzeyi TiB₂ ile modifiye edilmemiş ve edilmiş olan SiC tozlarından hacimce %5 oranında içeren kompozitlerin ısıtılmış mekanik özellikleri

Deney No	Destek Türü	Destek Oranı (% hacmen)	Sertlik (HB10)	Standart sapma	Üç nokta eğme mukavemeti (MPa)	% gerinim
32-1-1	SiC	5	102,8	1,2	911	15,4
32-1-2	SiC	5	104	2,1	797	11,6
33-1-1	SiC (Sükrozsuz Sol TiB ₂ kaplı)	5	105,1	0,8	822	12,2
33-1-2	SiC (Sükrozsuz Sol TiB ₂ kaplı)	5	104	1,2	787	10,7
34-1-1	SiC (Sükrozsuz Sprey TiB ₂ kaplı)	5	104,2	3,8	735	9,3
34-1-2	SiC (Sükrozsuz Sprey TiB ₂ kaplı)	5	103,4	2,6	837	12,8
36-1-1	SiC (Sükrozlu Sprey TiB ₂ kaplı)	5	101,7	2,1	785	10,8
36-1-2	SiC (Sükrozlu Sprey TiB ₂ kaplı)	5	100,6	3,4	728	8,5

5. SONUÇ

Sıcak pres yöntemiyle hacimce % 5-40 oranlarında TiB_2 ve % 5-45 oranlarında SiC içeren alüminyum matrisli kompozitler üretilmiştir. Seramik partiküllerin kompozitlerde düzenli dağıldığı ve gözenek miktarının az olduğu görülmüştür.

Yapılan yoğunluk ölçümlerinden, üretilen kompozitlerin % teorik yoğunluk değerlerinin % 97-99 aralığında olduğu bulunmuştur. Yüksek oranda seramik partikül destekli kompozitlerde yoğunluk değerlerinin azaldığı görülmüştür.

T6 ısıt işlemleri sonrası tüm kompozitlerin sertlik ve mukavemet değerlerinde artış olmuş ve en yüksek değerler ısıt işlemleri numunelerden elde edilmiştir.

Kompozitlerin sertlik değerleri, eklenen destek fazının miktarının artmasıyla yükselmiştir. SiC ve TiB_2 içeren kompozitlerin sertlik değerleri sırasıyla en yüksek 140 ve 160 HB10 olmuştur.

Üç nokta eğme mukavemetleri her iki destek fazı çeşidinde de 750-850 MPa aralığında olmuştur. En yüksek mukavemet değerlerine % 30 TiB_2 ve % 30 SiC içeren kompozitlerde ulaşılmıştır. Bu kompozitlerde mukavemet sırasıyla 935 MPa ve 811 MPa olmuştur.

TiB_2 parçacıklarının yüzeylerinin sol jel yöntemi kullanılarak SiO_2 ile, SiC parçacıklarının yüzeylerinin ise SiO_2 ve TiB_2 ile modifiye edilmesi üzerinde çalışılmıştır. Yapılan XRD ve FT-IR analizlerinin sonuçlarından, modifikasyonların gerçekleştiği düşünülmektedir.

Yüzeyleri modifiye edilmiş seramik tozları kullanılarak üretilen kompozitlerin yoğunluk değerleri %94-96 civarında olmuştur.

Yüzeyleri SiO_2 ile modifiye edilen seramik tozları kullanılarak üretilen kompozitlerin mukavemet değerleri, kompozit içinde parçacıkların topaklanmaları sebebiyle, modifiye edilmemiş tozlarla üretilen kompozitlerin değerlerinden düşük bulunmuştur.

Yüzeyleri TiB_2 ile modifiye edilmiş SiC parçacıklarını içeren kompozitlerin mukavemet değerleri, modifiye edilmemiş SiC içeren kompozitlerin değerleriyle aynı aralıkta bulunmuştur.

6. KAYNAKLAR

- BAŞAR, F. E. 2011. Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Basıncsız Sinterleme ile Üretimi ve Karakterizasyonu. Y. lisans tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 77ss
- CALLISTER, W. D. 1994. Materials Science and Engineering: An Introduction. John Wiley and Sons, Inc., USA. 1280 pp.
- CANTOR, B., DUNNE, F. P. E. and STONE, I. C. 2004. Metal and Ceramic Matrix Composites. Institute of Physics Publishing, London, 429 pp.
- CHAPPELL, P. J. C. 1989. Reinforcement-Matrix Interface Effects in Metal Matrix Composites. DSTO Materials Research Laboratory, Australia, 30 pp.
- CHAWLA, N. and CHAWLA, K. K. 2006. Metal Matrix Composites. Springer Inc., USA, 404 pp.
- CLEGG, A. J. 1991. Cast metal matrix composites. *Foundryman*, pp. 314-319.
- CLYNE, T. W. 2001. Metal Matrix Composites: Matrices and Processing. Encyclopedia of Materials: Science and Technology, Elsevier.
- CORNIE, J. A., CHIANG, Y. M., UHLMANN, D. R., MORTENSEN, A. and COLLINS, J. M. 1986. Processing of metal and ceramic matrix composites. *Am. Ceram. Soc. Bull.*, 65, pp. 293-297.
- FROYEN, L. and VERILINDEN, B. 1994. Aluminum Matrix Composites Materials. *TALAT Lecture 1402*, 28pp.
- GROOVER, M. P. 2007. Fundamentals of Modern Manufacturing Third Edition. John Wiley and Sons, Inc., New Jersey. 1061 pp.
- KANG, S. 2005. Sintering Densification, Grain Growth and Microstructure. Elsevier, GB, 261 pp.
- KARAKAŞ, M. S. 2007. Effect of Aging on the Mechanical Properties of Boron Carbide Particle Reinforced Aluminum Metal Matrix Composites. Ph.D. thesis, ODTÜ, Ankara, 133 pp.
- RAMS, J., URENA, A., ESCALERA, M. D. and SANCHEZ, M. 2007. Electroless Nickel Coated Short Carbon Fibres in Aluminum Matrix Composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 38: 566-575.
- RAY, S. 1993. Review synthesis of cast metal matrix particulate composites. *J. Mater. Sci.*, 28, pp. 5397-5413.
- ROHATGI, P. K., 1988. Cast Metal Matrix Composites. *Metals Handbook 15*, ASM Int., pp. 840-854, Ohio.

- SCHMIDT, H., AKARSU, M., MÜLLER, T. H. S., MOH, K., SCHAFER, G., STRAUSS, D. J. and NAUMANN, M. , 2005, The Formation of Gradients in Wet Deposited Coatings with Photocatalytically Active Nanoparticles, *Res. Chem. Intermed.*, 31, pp. 535–553, Saarbrücken, Germany
- SRIVATSAN, T.S., IBRAHIM I.A., MOHAMED, F.A. and LAVERNIA, E.J., 1991. Processing techniques for particulate-reinforced metal aluminum matrix composites. *J. Mater. Sci.*, 26, pp. 5965-5978.
- SURESH, S., MORTENSEN, A. and NEEDLEMAN, A. 2004. Fundamentals of Metal Matrix Composites. Butterworth-Heinemann.
- ŞAHİN, Y. 2006. Kompozit Malzemelere Giriş. Seçkin Yayıncılık, Ankara, 421ss
- TJONG, S. C. and TAM, K. F. 2006. Mechanical and Thermal Expansion Behavior of Hipped Aluminum-TiB₂ Composites. *Materials Chemistry and Physics*, 97(1): 91-97.
- YU, Z., WU, G., JIANG, L. and SUN, D., 2005, Effect of coating Al₂O₃ reinforcing particles on the interface and mechanical properties of 6061 alloy aluminium matrix composites. *Mater. Lett.*, 59, pp. 2281-2284.
- ZHANG, H. and LI, F. 2008, Preparation and microstructure evolution of diboride ultrafine powder by sol-gel and microwave carbothermal reduction method, *J. Sol-Gel Sci. Technol.*, 45, pp. 205-211.

ÖZGEÇMİŞ

Şükrü ÖZDOĞAN, 1981 yılında Burdur’da doğdu. İlk öğrenimini Burdur Şeker İlkokulu’nda, orta ve lise öğrenimini Burdur Anadolu Lisesi’nde tamamladıktan sonra 2002 yılında girdiği Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden 2008 yılında makine mühendisi unvanıyla mezun oldu. 2008-2011 yılları arasında çeşitli firmalarda ar-ge mühendisi, proje ve saha mühendisi olarak çalıştı. Şubat 2009’ dan bu yana Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.