

151260

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BOR KARBÜR-TİTANYUM DİBORÜR
KOMPOZİTLERİNİN SICAK PRESLEME İLE
ÜRETİMİ**

151260

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Metalurji Müh. Oytun Alphan SEPİN
(506021206)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Nisan 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 21 Mayıs 2004**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Okan ADDEMİR
Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Onuralp YÜCEL (İ.T.Ü.)
Yrd. Doç. Dr. Filiz Çınar ŞAHİN (İ.T.Ü.)

MAYIS 2004

ÖNSÖZ

Bir başka çalışmada daha birlikte çalıştığım ve yüksek lisans çalışmam süresince benden hiçbir yardımı esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Okan ADDEMİR'e teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışma süresince her türlü bilgiyi benden esirgemeyen her adımımın yanımda olup bana yol gösteren bıkmadan usanmadan bütün sorunlarımıza çözüm bulan sayın hocam Yrd. Doç Dr. Filiz Çınar ŞAHİN'e teşekkür ederim.

Bu çalışma süresince hemen hemen her gün yanımda olan ve bu çalışmamı tamamlamak için her türlü yardımı yapan fikirlerine hep danıştığım zor zamanlarımda hep moral veren sevgili abilerim araştırma görevlileri Alper YEŞİLÇUBUK, Erkin CURA ve Tolga TAVŞANOĞLU'na ve her türlü deneysel çalışmada bana yardımcı olan Hasan DİNÇER'e ne kadar teşekkür etsem azdır. Çalışmam boyunca benimle aynı dertleri çekmiş aynı zorlukları yaşamış Evren TURAN'a teşekkür ederim.

İki senelik uzun yüksek lisans eğitimi süresince bir an bile sıkılmak veya pes etmek gibi düşüncüyü sayelerinde hiç bir zaman aklıma getirmediğim sevgili arkadaşlarım metalurji mühendisleri Ahmet KAHRAMAN, Can ÇEKİLİ, Emrah CİNBİŞ, Fatih AKDAŞ'a ne kadar teşekkür edeceğimi bilemiyorum.

Aynı okulda olmasamda iki senelik süre boyunca okul dışında bana moral vererek çok yardımcı olan sevgili metalurji mühendisleri Ali Kemal ULUER, Işıl ERSER, Mehmet TOKTUR, Murat AYGÜN, Selda ÜÇÜNCÜOĞLU ve kimyager Ali Uygur KILIÇ'a teşekkür ederim

25 seneden beri bıkmadan usanmadan hep yanımda olan maddi manevi desteklerini ve sevgilerini hep hissettiğim Ahmet ve Mahmude RODOSLU'ya ve hayat arkadaşlarım ARDA, ATILAVE HÜLYA'ya ne desem boş olur...

Mayıs 2004

Met.Müh. Oytun Alphan SEPİN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
SUMMARY	viii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. TEORİK BİLGİLER	3
2.1. Bor Karbür	3
2.1.1. Bor karbürün fiziksel, kimyasal ve kristal özellikleri	4
2.1.2. Bor karbürün üretim yöntemleri	6
2.1.2.1. Karbotermik redüksiyon	6
2.1.2.2. Magnezyotermik redüksiyon	7
2.1.3. Bor karbürün kullanım alanları	7
2.1.4. Dünyadaki Bor Karbür Üretimi, Tüketimi ve Ticareti	8
2.2. Titanyum Diborür	9
2.2.1. Titanyum diborürün fiziksel, kimyasal ve kristal özellikleri	10
2.2.2. Titanyum diborürün üretim yöntemleri	11
2.2.2.1. Karbotermik redüksiyon	11
2.2.3. Titanyum diborürün kullanım alanları	12
2.2.4. Dünyadaki Titanyum diborür üretimi ve ticareti	13
2.3. Kompozit Malzemeler	13
2.3.1. Sinterleme	14
2.3.2. Seramik malzemelerin sinterleme tipleri	15
2.3.2.1. Katı hal sinterlenmesi	15
2.3.2.2. Sıvı hal sinterlenmesi	15
2.3.2.3. Basınç yardımı ile sinterleme	16
2.4. Bor Karbür Titanyum Diborür Kompozitlerinin Sıcak Preslenmesi	20
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	23
3.1. Kullanılan Hammaddeler	23
3.2. Kullanılan Alet ve Cihazlar	25
3.3. Deneylerin Yapılışı	26
3.4. Karakterizasyon Çalışmaları	28
3.4.1. Kesme işlemleri	28
3.4.2. Eğme mukavemeti Ölçümü	28
3.4.3. Yoğunluk ölçümü	29
3.4.4. Sertlik ölçümü	30
3.4.5. Mikroyapı analizleri	30

4. DENEY SONUÇLARI	31
4.1. Yoğunluk Sonuçları	31
4.2. Sertlik Sonuçları	33
4.3. Eğme Mukavemeti Sonuçları	35
4.4. Mikroyapı Çalışmaları	37
5. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ	41
5.1. Yoğunluk Değerlerinin İrdelenmesi	41
5.2. Sertlik Değerlerinin İrdelenmesi	41
5.3. Eğme Mukavemeti Değerlerinin İrdelenmesi	42
5.4. Mikroyapı Çalışmalarının İrdelenmesi	42
5.5. Sonuçların Daha Önceki Çalışmalar İle İrdelenmesi	42
6.GENEL SONUÇLAR	44
KAYNAKLAR	46
EKLER	48
ÖZGEÇMİŞ	49

TABLO LİSTESİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1.	Bor karbürün fiziksel özellikleri	5
Tablo 2.2.	Ülkelerin 2000 yılı bor karbür ithalatı	8
Tablo 2.3.	Dünyadaki bor karbür üreticileri	9
Tablo 2.4.	TiB ₂ 'ün fiziksel özellikleri	10
Tablo 2.5.	Titanyum diborürün çeşitli ortamlardaki kimyasal davranışı	11
Tablo 2.6.	Dünyadaki titanyum diborür üreticileri ...	13
Tablo 2.7.	Sinterlenmiş ve basınç yardımı ile sinterlemiş malzemelerin özellikleri	17
Tablo 2.8.	Daha önce yapılan çalışmalar	22
Tablo 3.1.	Kullanılan bor karbür tozunun fiziksel ve kimyasal özellikleri ...	23
Tablo 3.2.	Kullanılan Titanyum diborür tozunun fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	24
Tablo 3.3.	Değişik oranlardaki bileşimin yoğunluk değerleri.....	27
Tablo 3.4.	Deneylerde kullanılan toz karışımlarının miktarları	27
Tablo 4.1.	%5 TiB ₂ içeren numunelerin değişik sıcaklıklardaki yoğunluk sonuçları	31
Tablo 4.2.	%10 TiB ₂ içeren numunelerin değişik sıcaklıklardaki yoğunluk sonuçları	31
Tablo 4.3.	%15 TiB ₂ içeren numunelerin değişik sıcaklıklardaki yoğunluk sonuçları	31
Tablo 4.4.	%20 TiB ₂ içeren numunelerin değişik sıcaklıklardaki yoğunluk sonuçları	31
Tablo 4.5.	%5 TiB ₂ içeren bileşimin değişik sıcaklıklardaki sertlik değerleri..	34
Tablo 4.6.	%10 TiB ₂ içeren bileşimin değişik sıcaklıklardaki sertlik değerleri	34
Tablo 4.7.	%15 TiB ₂ içeren bileşimin değişik sıcaklıklardaki sertlik değerleri	34
Tablo 4.8.	%20 TiB ₂ içeren bileşimin değişik sıcaklıklardaki sertlik değerleri	34
Tablo 4.9.	%5 TiB ₂ içeren bileşimin değişik sıcaklıklardaki eğme mukavemetleri.....	35
Tablo 4.10	%10 TiB ₂ içeren bileşimin değişik sıcaklıklardaki eğme mukavemetleri.....	35
Tablo 4.11	%15 TiB ₂ içeren bileşimin değişik sıcaklıklardaki eğme mukavemetleri.....	35
Tablo 4.12	%20 TiB ₂ içeren bileşimin değişik sıcaklıklardaki eğme mukavemetleri.....	35
Tablo A.1.	Deney Sonuçları.....	48

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Bor karbür'ün karbotermal redüksiyonu ve redüksiyon ürünü.....	6
Şekil 2.2 : Sıcak tek yönlü presleme tekniği.....	18
Şekil 2.3 : B ₄ C – TiB ₂ ikili denge diyagramı.....	21
Şekil 3.1 : Kullanılan bor karbür tozunun SEM görüntüsü.....	24
Şekil 3.2 : Titanyum diborür tozunun SEM görüntüsü.....	24
Şekil 3.3 : Sartorius marka terazi.....	25
Şekil 3.4 : Turbula marka karıştırıcı.....	25
Şekil 3.5 : Centorr Vacuum Industries marka sıcak pres.....	25
Şekil 3.6 : Yapılan çalışmaların akış şeması.....	26
Şekil 3.7 : Buehler marka kesici.....	28
Şekil 3.8 : INSTRON cihazı.....	28
Şekil 3.9 : Mettler Toledo yoğunluk ölçme cihazı.....	29
Şekil 3.10 : Tukon mikrosertlik cihazı.....	30
Şekil 3.11 : JEOL JSM-840 SEM cihazı.....	30
Şekil 4.1 : Sıcaklığın yoğunluğa etkisi.....	32
Şekil 4.2 : 1900 ⁰ C sıcaklıktaki TiB ₂ miktarının yoğunluğa etkisi.....	32
Şekil 4.3 : 2100 ⁰ C sıcaklıktaki TiB ₂ miktarının yoğunluğa etkisi.....	33
Şekil 4.4 : 2200 ⁰ C sıcaklıktaki TiB ₂ miktarının yoğunluğa etkisi.....	33
Şekil 4.5 : TiB ₂ miktarı ve sıcaklığın sertliğe etkisi.....	34
Şekil 4.6 : Sıcaklığın eğme mukavemetine etkisi.....	35
Şekil 4.7 : 1900 ⁰ C sıcaklıktaki TiB ₂ miktarının eğme mukavemetine etkisi	36
Şekil 4.8 : 2100 ⁰ C sıcaklıktaki TiB ₂ miktarının eğme mukavemetine etkisi	36
Şekil 4.9 : 2200 ⁰ C sıcaklıktaki TiB ₂ miktarının eğme mukavemetine etkisi	36
Şekil 4.10 : 2100 ⁰ C'de yapılan deneyde %5 TiB ₂ içeren numunenin SEM görüntüsü.....	37
Şekil 4.11 : 2100 ⁰ C'de yapılan deneyde %10 TiB ₂ içeren numunenin SEM görüntüsü.....	37
Şekil 4.12 : 2100 ⁰ C'de yapılan deneyde %15 TiB ₂ içeren numunenin SEM görüntüsü.....	38
Şekil 4.13 : 2100 ⁰ C'de yapılan deneyde %20 TiB ₂ içeren numunenin SEM görüntüsü.....	38
Şekil 4.14 : 2200 ⁰ C'de yapılan deneyde %5 TiB ₂ içeren numunenin SEM görüntüsü.....	38
Şekil 4.15 : 2200 ⁰ C'de yapılan deneyde %10 TiB ₂ içeren numunenin SEM görüntüsü.....	39
Şekil 4.16 : 2200 ⁰ C'de yapılan deneyde %15 TiB ₂ içeren numunenin SEM görüntüsü.....	39
Şekil 4.17 : 2200 ⁰ C'de yapılan deneyde %20 TiB ₂ içeren numunenin SEM görüntüsü.....	40

BOR KARBÜR TİTANYUM DİBORÜR KOMPOZİTLERİNİN SICAK PRESLEME İLE ÜRETİMİ

ÖZET

Günümüzde önemli bir mühendislik malzemesi olan Bor, hem ülkemizdeki doğal kaynaklarının zenginliğinden hem de ileri teknoloji ürünlerinin oldukça değerli olmasından dolayı ülkemiz için ayrı bir önem taşımaktadır. Bor karbür ve titanyum diborür mühendislikte kullanılan önemli iki bor bileşiğidir.

Bor karbürün yüksek sertlik başta olmak üzere üstün fiziksel ve kimyasal özellikleri bu malzemeyi günümüzde savunma sanayinden, nükleer endüstriye kadar çok geniş bir alanda kullanılmasını sağlamaktadır. Fakat bor karbürün kırılmaya karşı hassasiyeti ve tamamen yoğun bir malzeme üretmedeki zorlukları bu malzemenin en önemli sorunu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kompozit malzemeler farklı malzemelerin iyi özelliklerini bir arada kullanılmasını sağlamaktadır. Bu özellikten yola çıkarak bor karbürün bahsedilen dezavantajlarını gidermek için başka bir malzeme ile kompozitini üretmek mantıklı olacaktır. Bor karbürün fiziksel ve kimyasal özelliklerine yakın özelliklere sahip olan titanyum diborür kompozit malzeme üretmek için ideal bir malzemedir. Kompozit üretiminde kullanılan en yaygın methodlardan biri sıcak presleme yöntemidir.

Bu tez çalışmasında bor karbür titanyum diborür kompozitlerinin sıcak presleme ile üretim şartları çalışılmıştır. Farklı koşullardaki parametrelerin kompozit üretimindeki etkileri incelenmiş ve optimum koşullar bulunmuştur.

Yapılan çalışmalarda değişken parameteler olarak sinterleme sıcaklığı, sinterleme basıncı, sinterleme zamanı ve bileşimdeki titanyum diborür miktarı kullanılmıştır. Üç farklı sinterleme koşulunda yapılan deneylerde hacimsel olarak yüzde beş, on, onbeş ve yirmi oranlarında titanyum diborür miktarının elde edilen kompozit üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda 2200°C 1saat ve 100MPa sinterleme koşullarında çalışılan ve hacimce %15 TiB₂ içeren kompozit en iyi özellikleri göstermiştir.

PRODUCTION OF BORON CARBIDE TITANIUM DIBORIDE COMPOSITES BY HOT PRESSING METHOD

SUMMARY

Today boron is an important engineering material. The richness of the natural source in our country and the valuable high technology products makes boron very important for our country. Boron carbide and titanium diboride are the two important compounds of boron that used in engineering.

Superior physical and chemical properties especially high hardness makes boron carbide used in a very wide applications area from defence industry to nuclear industry. However, the brittleness and producing a uniform fully dense material, are the main problem for boron carbide.

Composite materials have the advantages of using different materials good specialties together. From this property of composite materials it is logical to use other materials to make composite of boron carbide in order to remove the disadvantages that is described for boron carbide. Titanium diboride's and boron carbide's similar physical and chemical properties make titanium diboride an ideal material for composite. In production of composite materials hot press is one of the common method.

The production conditions of boron carbide titanium diboride composites produce by hot press is studied in this thesis study. Different condition parameters effect is researched in the production of the composite and optimum conditions are found.

Sintering temperature, sintering time, sintering pressure and the amount of titanium diboride in the composition are the variable parameters in this study. The effect of different titanium diboride amounts; five, ten, fifteen and twenty percentages by volume; in three different sintering conditions are examined in the composite.

Results of the studies showed that 2200°C 1 hour and 100 MPa sintering conditions and 15% TiB₂ amount has the best properties in the composite.

1.GİRİŞ VE AMAÇ

Ülkemiz dünya bor rezervlerinin %60'ına sahiptir. Bor minerallerinden üretilen çok sayıda bor türevi ve bileşiminin katma değeri çok yüksektir. İleri teknoloji seramiklerin içerisinde bor esaslı seramiklerin stratejik payı büyüktür. Bor nitrür, bor karbür, titanyum diborür gibi malzemeler endüstride teknik uygulamaları olan ileri teknolojik malzemelerden bazılarıdır.

Bor karbür yüksek sertliği başta olmak üzere, mükemmel fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle savunma sanayi, nükleer endüstri ve metalurji sektöründe geniş bir uygulama alanında kullanılmaktadır. İçerisinde yüksek bor ihtiva etmesi, Bor karbürü diğer bor bileşiklerinin üretiminde önemli bir kaynak kılmaktadır. Bor halojenleri veya borlu metaller bu yöntemler ile üretilmektedir.

Titanyum diborür kovalent bağlı bir geçiş metali borürü olup ileri teknoloji seramikleri grubuna ait bir bileşiktir. Bu malzemenin yüksek fiziksel ve kimyasal özellikleri sayesinde savunma sanayi, alüminyum elektrolizi ve bir çok metalurji alanında çok geniş uygulamaya sahiptir.

Bor karbürün kırılmaya karşı hassasiyeti ve tamamen yoğun bir malzeme üretiminin mümkün olmaması sebebi bu malzemenin dezavantajlarını oluşturmaktadır. Titanyum diborür'ün üstün mekanik özellikleri sayesinde, bor karbürün kırılma tokluğu ve eğme mukavemeti gibi düşük mekanik özellikleri geliştirilmesi mümkündür. Bu iki malzeme arasında herhangi bir kimyasal reaksiyon oluşmadığının bilinmesi bor karbür titanyum diborür kompozitlerinin üretimini mümkün kılmaktadır. Bor karbürün üstün sertlik ve mekanik özellikleri ile titanyum diborürün üstün kırılma tokluğu ve eğme mukavemeti gibi özellikleri bu malzemelerden elde edilecek kompozitte bir arada sağlanabilir.

Bor karbür titanyum diborür kompozitleri bor karbürün %96 gibi çok düşük sinterleme yoğunluklarına nazaran daha iyi seviyelerde bir yoğunluk sağlanırken bor karbürün üstün özelliklerinin kaybolmadan kaldığı bilinmektedir. Bor karbür titanyum diborür kompozitleri bor karbürün yüksek sertlik değerlerini korurken

titanyum diborürün etkisi ile eğme mukavemeti ve kırılma tokluğunun geliştiğı bilinmektedir. Bu yüksek yoğunluk sertlik ve mukavemet özellikleri sayesinde bor karbür titanyum diborür kompozitleri özellikle savunma sanayi olmak üzere yüksek fiziksel ve kimyasal özellik beklenen çok geniş uygulama alanında çekici bir malzeme olmaktadır.

Bu çalışmanın amacı değişen miktarlarda titanyum diborür tozları ilavesi ile bor karbür titanyum diborür kompozitlerinin yüksek sıcaklıkta ve yüksek basınçta sinterlemesi sonucu ortaya çıkan numunelerin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi ve karakterizasyonu olmuştur. Numunelerin yoğunluk, sertlik, mukavemet değerleri gibi mekanik özellikleri belirlenmiştir.



2. TEORİK BİLGİLER

2. 1. Bor Karbür

Bor Karbür, elmas ve kübik bor nitrür'den sonra bilinen üçüncü en sert malzemedir. Üretim tonajı olarak üretilen en sert malzemedir. 19. yüzyılın ortalarında metal borürlerin üretimi sırasında bulunan bor karbürün çalışmaları ancak 1930'lu yıllarda başlamıştır. Bor karbür, yüksek ergime sıcaklığına, yüksek sertliğe, iyi mekanik özelliklere, düşük yoğunluğa, yüksek nötron absorblama özelliğine sahiptir. Ayrıca kimyasal direncide yüksek olan bir malzemedir. Tüm bu avantajlarına rağmen, bor karbür malzemelerinin sahip olduğu düşük kırılma tokluğu bu tür malzemelerin en büyük dezavantajıdır. [1]

İçerik bakımından yaklaşık % 80 Bor ihtiva etmesi, bileşiğin yüksek ergime noktası ve iyi kimyasal ve fiziksel kararlılığından dolayı nötronların absorbe edilmesinde bor karbür daha etkin ve daha ekonomiktir. Yüksek bor içeriği, Bor karbürü diğer bor bileşikleri üretmede önemli bir kaynak kılmaktadır. Elmastan ekonomik olarak daha avantajlı olmasından dolayı aşındırıcı ve parlaticı olarak da kullanılır [1] , [2]

Bor karbür oldukça sert ve düşük yoğunluklu bir malzemedir. Ancak, bor karbürün yaygın kullanımı, gevrek kırılmaya karşı hassasiyetinden ve tamamen yoğun, hiçbir içyapı kusuru içermeyen uniform bir malzeme elde edilmesindeki zorluklardan, üretiminde kullanılan yöntemlerin hem pahalı hem de seri üretime uygun olmamasından, ve bu yöntemlerin karmaşık şekilli parçaların üretimine izin vermemesinden dolayı sınırlanmaktadır. [3]

2.1.1. Bor karbürün fiziksel, kimyasal ve kristal özellikleri

Bor karbür düşük yoğunluk çok yüksek mekanik özellikleri, çok iyi kimyasal direnci ve nükleer özellikleri gibi avantajlarının yanında düşük kırılma tokluğu ve yüksek yoğunluklu malzeme üretimi için sinterleme koşullarının çok zor olması gibi dezavantajları bulunmaktadır. Rombohedral kristal yapıda olduğu ifade edilen bor karbür'ün, atomik yapısında her karbon atomu, dört veya daha fazla bor atomu ile bağlanmaktadır.

Bor karbürün ilgi çeken bazı özellikleri ergime sıcaklığı (2450°C), kaynama noktası (3500°C), sertliği (2900-3580 kg/mm², Knoop, 100 g), Young modülü (450-470 GPa), kayma modülü (180 GPa), ve havada oksidasyon sıcaklığı (875° K'nın üzeri), oda sıcaklığında elektrik iletkenliği (140 $\Omega^{-1}\text{m}^{-1}$), ve uzama katsayısıdır (5.0 x 10⁻⁶/°K). Nükleer uygulamalar için termal nötron tutma kesiti 600 barn'dır. Tablo 2.1'de bor karbürün fiziksel özellikleri listelenmiştir. Yüksek sertliği ve ergime noktası ve mukavemet/yoğunluk oranı göz önüne alındığında bor karbürün mekanik özellikleri diğer bir çok malzemeye göre daha çekici durmaktadır.[1]

Bor karbür kimyasal olarak bilinen en kararlı bileşiklerden birisidir. Standart oluşum entalpisi 9.3 ile 17.1 kcal/mol arasındadır. Asit ve bazlarda kolaylıkla reaksiyona girmez, fakat HF-H₂SO₄ ve HF-HNO₃ karışımlarında çok uzun sürelerde yavaşça çözünüm gösterir. Sıcak ortamda HNO₃-H₂SO₄-HClO₄ gibi asitlerle oksitlenebilir. Ufak boyutlu Bor karbür tozları rutubetli havada veya oksijen ile yavaşça oksitlenebilir ve partikül yüzeyinde zamana bağlı olarak B₂O₃, HBO₃ veya H₃BO₃ filmi oluşur.[4]

Bor karbür numulerinde kuru ve yaş hava ile yapılan oksidasyon çalışmaları, oksidasyonun su buharı bulunan ortamlarda 250⁰C ve kuru ortamlarda ise 450⁰Cde başladığını ortaya koymuştur. Su buharının kullanılması ile yüzeydeki B₂O₃ filminin uzaklaştırılması oksidasyon hızını artırıcı etki yapmaktadır. Su buharı mevcudiyetinde gerçekleştirilen oksidasyon işleminin aktivasyon enerjisi 11 kkal/mol iken kuru hava kullanılması halindeki oksitlenme aktivasyon enerjisi 45 kkal/mol olduğu tespit edilmiştir.[5,6]

Tablo 2.1 Bor karbürün fiziksel özellikleri[7]

Özellik	Değer
Yoğunluk, g/cm ³	2.51
Bor miktarı, %	78.28
Karbon miktarı, %	21.72
Ergime sıcaklığı, °C (°F)	2450 (4440)
Termal genleşme katsayısı, 10 ⁻⁶ /°C	
Oda sıcaklığından 500 °C'ye	4.78
1000 °C'ye	5.54
2000 °C'ye	6.53
Termal iletkenlik, W/m.K	
27 °C'de	28
975 °C'de	16
Young modülü, GPa (10 ⁶ psi)	445 (64.5)
Kayma modülü, GPa (10 ⁶ psi)	186.5 (27)
Bulk modülü, GPa (10 ⁶ psi)	254 (37)
Eğme mukavemeti, MPa (ksi)	
Oda sıcaklığında	345 (50)
650 °C'de	290 (42)
Çekme mukavemeti, MPa (ksi)	
980 °C'de,	155 (22.5)
Basma mukavemeti, MPa (ksi)	2855 (414)
Poisson oranı	0.17
Sertlik, kg/mm ²	
Knoop (100 gr yük ile)	2800
Knoop (1000 gr yük ile)	2230
Vickers	3700

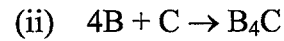
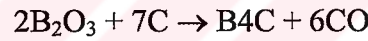
600⁰C de Cl, 800⁰C de Br ile borhalid oluşturmak üzere bor karbür reaksiyona girebilir. Metal oksitlerle yüksek sıcaklıklarda metal borür oluşum reaksiyonlarını gerçekleştirir. Halidler tarafından aktive edilen çelik ve alaşımların borlaştırılmasında kullanılırlar. 1000⁰C'den başlayarak B₄C, demir, titanyum, zirkonyum, nikel, alüminyum ve silikon gibi metallerle reaksiyona girerek borür ve karbürlerin oluşmasına neden olurlar. TiO₂, SiO₂ ve TiC gibi birçok seramik malzeme ile reaksiyona sokularak bor türevlerinin sentezinde B₄C ana hammadde olarak kullanılır.[6]

2.1.2. Bor karbürün üretim yöntemleri

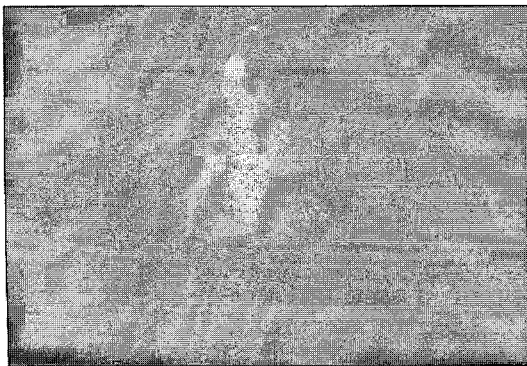
Bor karbürün değişik yöntemlerle üretilmesi mevcuttur. Karbotermik redüksiyon, metalotermik redüksiyon, termal aerosol yöntemi, CVD ve kendinden gerçekleşen yüksek sıcaklık sentezi (SHS) gibi yöntemler ile bor karbür elde edilebilir. Endüstride ise kullanılan başlıca iki yöntem vardır: Karbotermik redüksiyon ve Magnezyatermik redüksiyon.

2.1.2.1. Karbotermik Redüksiyon

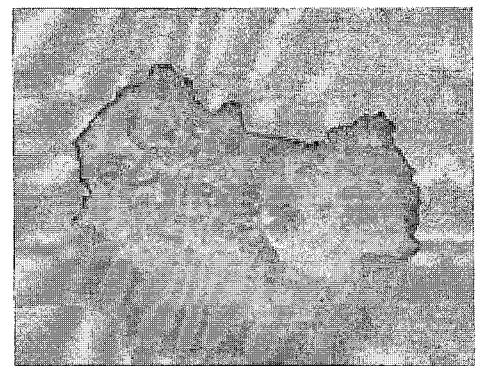
Borik asit ve karbon hammaddeleri ile yapılan bu yöntemde gerçekleşen reaksiyon iki adımda gerçekleşir.



Reaksiyon elektrik fırınında dirençli ısıtma veya ark ile ısıtma yardımıyla gerçekleşir. Reaksiyon 2300⁰C sıcaklığın üzerinde gerçekleşir. Bu yöntemle üretilen bor karbürün öğütme sonrası tane boyutu 0,5-5µm arasında olur.[7]



(a)

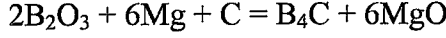


(b)

Şekil 2.1 Bor karbür'ün karbotermal redüksiyonu(a) ve redüksiyon ürünü(b)

2.1.2.2. Magnezyotermik Redüksiyon

B₂O₃ ve karbonun varlığında magnezyotermik redüksiyon yoluyla da bor karbür elde edilebilir. Bu reaksiyon aşağıda gösterilmiştir. Bu yöntem pahalı elementel bor metalinin direk reaksiyonundan çok daha fazla ekonomiktir. Çünkü bu reaksiyon sonucu açığa çıkan enerji ile reaksiyon sıcaklığı 2467°C'ye kadar çıkmaktadır [7]. MgO'nun uzaklaştırılması bu yöntemde ciddi bir problemdir.



Soğutmadan sonra, oluşan ürün seyreltik asit çözeltisiyle liç edilir. Bu liç işlemi sadece MgO'ı değil, yapıdaki diğer artık metal ve tuzları da yapıdan uzaklaştırır.[7]

2.1.3. Bor Karbürün Kullanım Alanları

Bor, nükleer reaktörlerde kullanılan başlıca nötron absorblayıcı malzemedir. ¹⁰B izotopunun doğal olarak bulunması bor karbürü nükleer reaktörlerde değerli bir nötron absorblayıcı olarak kullanılmasını sağlamaktadır [7]. Bor karbür, bor atomlarını yüksek konsantrasyonlarda ve refrakter formunda sağladığı için, tercih edilen malzeme olmuştur. Bor metalini tercih etmenin önemli bir sebebi nükleer reaksiyonlar sonucu meydana gelen uzun yarı-ömür atık ürünlerinin bulunmayışıdır. Ayrıca yüksek enerjili, ikincil radyoaktif ürünler de elde edilmez. Spesifik uygulamalar kontrol çubuğu tanecikleri, durdurma topları, yanıcı zehirler, ve yüksek yoğunluklu atık nükleer yakıtının depolanması gibi uygulamalarda muhafaza malzemesi olarak kullanılmaktadır [1].

Bor karbürün diğer kullanım alanları arasında SiC'nin yoğunlaştırılması sırasında sinterlenmeye yardımcı olarak kullanılmasıdır. Ayrıca, bor karbürün termoelektrik özellikleri yüksek sıcaklık termokupllarının üretiminde kullanılmaktadır [1].

Bor karbürün düşük spesifik ağırlığı, yüksek elastik modülü, ve yüksek sertlik özelliklerini bir arada bulundurması, aşındırıcı parçalar ve zırh malzemesi olarak kullanılan B₄C içeren metal matriks kompozit ve sermetlerin geliştirilmesini mümkün kılmıştır. Seramik zırh malzemeler genellikle savaş uçaklarında ağırlığın azaltılması yönündeki katkılarından dolayı tercih edilmektedir [1].

Bor karbürün diğer kullanım alanları ise bilgisayar diskleri, yapay bağlantılar gibi medikal uygulamalar; bisiklet gövdesi, golf sopası sapı gibi tüketici ürünleri,

aşınmaya dayanıklı kaplama malzemesi, üfleme ve sprej memeleri, parlatma aşındırıcıları, ultrasonik öğütme ve delme, metal matriks kompozitleri, yatak malzemesi kaplamaları, fırın parçaları, refrakter malzemeler, metal parçaları üzerine sert borür yüzey kaplamaları şeklinde özetlenebilir [1].

2.1.4. Dünyadaki Bor Karbür Üretimi, Tüketimi ve Ticareti

Dünya üzerinde tüketilen bor karbür bakacak olursak 1997 yılında 230 ton bor karbür tozu tüketen ABD ve Batı Avrupa en büyük tüketimi yapmıştır. Ülkelere göre bor karbür ithalatı aşağıda görünmektedir. [9]

Tablo 2.2 Ülkelerin 2000 yılı bor karbür ithalatı[9]

Ülke	Miktar (ton)	Değer (1000 US\$)	Ortalama Fiyat(\$/kg)
Almanya	167	2.243	13
Fransa	69	555	8
İngiltere	64	804	12,50
Japonya	317	12.587	40
ABD	282	6.870	24
Toplam	899	23.059	

ABD ve Batı Avrupa'da 1997 yılında 230 ton pudra bor karbür tüketilmiştir. Bunun kaliteye göre dağılımı tespit edilememiştir. Fakat bunun tamamının en ucuz fiyatlı (30 US\$/kg) ürün olduğu kabul edilirse sadece bu iki bölgedeki tüketim en az 7 Milyon US\$'dır. Tüketimin yarısının refrakter, yarısının seramik kalite olduğu kabul edilirse bu iki bölgedeki tüketim 10-25 Milyon US\$ arasında olur.

Seramik kalite bor karbürün ve % 99'luk pudra bor karbürün 1994 yılı fiyatları ise sırasıyla 60-190 US \$/kg ve 2150 US \$/kg' tır. Refrakter kalite bor-karbürün 2001 yılı fiyatı 30 US \$/kg civarındadır.

ABD 1997-2001 yılları arasındaki dönemde bor karbür ihracatından çok ithalat yapmıştır bu 5 yıllık dönemde yaklaşık 1500 ton bor karbür ithalatı yaparken sadece 160 ton ihracat yapmıştır.[9]

Dünyadaki Başlıca bor karbür üreticileri Tablo 2.3'te görülmektedir.

Tablo 2.3 Dünyadaki bor karbür üreticileri [9]

Ülke	Firmalar
	American Elements Corp.
	Credyne Inc.
ABD	Cercom Inc.
	Eagle-Picher Technologie
	Elektro Abrasives
	Exolon
	Washington Mills Elektro Co.
	Wacer Ceramics;almanya
Avrupa	A.C.Starck Group,Almanya
	Sintee Ceramic +UK
	Boron Carbide , Hindistan
Asya	Harwest Trading,Çin
	Mudanjiang Abrasives,Çin
Türkiye	BMBT

2.2.Titanyum Diborür

Titanyum diborür, Ti-B sistemindeki en kararlı bileşiktir. Titanyum diborür kovalent bağlı bir geçiş metali borürü olup ileri teknoloji seramikleri grubuna ait bir bileşiktir. Yüksek ergime sıcaklığı, yüksek sertlik, yüksek aşınma direnci, yüksek elektriksel iletkenliği ile asit ve ergimiş metallere karşı iyi korozyon direncine sahip olan Titanyum diborür refrakter borürler grubundaki bir yüksek sıcaklık seramikleri malzemesidir.

Titanyum diborür ilk olarak 20. asrın ilk yarısında E. Wedekind ve M. Koestlein titanyum ve bor un elektrik ark ocağındaki reaksiyonu sonucu Titanyum diborür parçacıklarını buldular. Daha sonra 1950'li yıllarda I.E. Campbell TiB ve TiB₂'ü hidrojen atmosferinde TiCl₄ ve BCl₃ karışımında meydana getirdi.[10]

Sıkı paketlenmiş hegzagonal kristal yapısındaki Titanyum diborürün ıslatabilme yeteneği ve sağlamlığı ve çok iyi kimyasal ve fiziksel özellikleri ayrıca çok iyi elektriksel iletkenliği bu malzemeyi çok geniş uygulama alanları için çekici bir duruma getirmektedir. Titanyum diborürün istenilen tamamen yoğun nihai ürün haline getirilebilmesindeki sorunlar nedeni ile bu malzemenin uygulama alanları kısıtlı kalmaktadır. Hemen hemen bütün kovalent bağlı malzemeler gibi titanyum

diborürde sinterlenmesi zor bir malzemedir. Sinterleme işlemi genelde sıcak pres veya sıcak izostatik preslerde gerçekleşir. Sıcak preste sinterleme işlemi çok az sinterleme katkılarıyla 1800-1900⁰C sıcaklıklarında gerçekleştirilir. Titanyum diborür basınçsız sinterlenmesi ancak 2100⁰C üzerindeki sıcaklıklarda ve bolca sinterleme katkı malzemeleriyle gerçekleştirilir.[11,12]

2.2.1.Titanyum diborürün fiziksel, kimyasal ve kristal özellikleri

Geçiş metallerin diborürleri yüksek sertlik, mukavemet, yüksek ergime sıcaklığı'nın yanında yüksek oksidasyon direncide gösterirler. Titanyum diborür'de bu özelliklerin yanında çok iyi ıslatabilirliği yüksek sıcaklıklardaki mukavemeti, Si₃N₄'den daha iyi kırılma tokluğu ve WC'den daha yüksek sertliği gibi malzemeyi çekici kılan özellikleri mevcuttur. Titanyum diborürün fiziksel özelliklerini Tablo 2.4'de verilmiştir.

Tablo 2.4 TiB₂'ün fiziksel özellikleri[8]

Mol Ağırlığı (g/mol)		69,54
Renk		Gri
Teorik Yoğunluk (kg/m ³ .10 ⁻³)		4,52
Ergime Sıcaklığı (°C)		2920
Termal Genleşme Katsayısı α (10 ⁻⁶ /K)	300-1300 K	4,6
	1300-2300 K	5,2
Termal İletkenlik Katsayısı κ (W/m.K)	300-1300 K	24,0
	1300-2300 K	26,3
Mikrosertlik (1N) (GPa)		25,5
Young Modülü, E (GPa)		541
Elastik Modülü (psi x10 ⁶)		62-78
Poisson Oranı, ν		0,09 - 0,11
Eğme Mukavemeti, $\sigma_{eğme}$ (MPa)		450 ± 70
Basma Mukavemeti, σ_{basma} (MPa)		1350
Çekme Mukavemeti, $\sigma_{\check{c}}$ (MPa)		127
Kırılma Tokluğu (MPa.m ^{1/2})		6,4 ± 0,4
Elektriksel Direnç, $\rho \times 10^8$ (Ω .m)		9

Titanyum diborür kimyasal olarak yüksek kararlılığa sahip bir malzemedir. Titanyum diborür sıkı paketlenmiş hegzagonal kristal yapısında AlB_2 'e benzeyen bir kristal yapısına sahiptir. Oksidasyona karşı Titanyum diborürün direnci $1300-1400^{\circ}C$ 'ye kadar çıkmaktadır. Bir çok kimyasal ortama karşı korozyon direnci yüksek bir malzemedir. Tablo 2.5'de titanyum diborürün bazı ortamlardaki kimyasal davranışlarını inceleyebiliriz.

Tablo 2.5 Titanyum diborürün çeşitli ortamlardaki kimyasal davranışı[8]

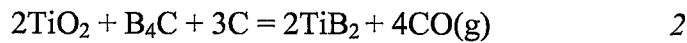
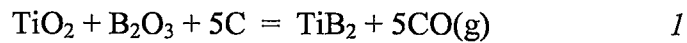
Oksidasyon	$1100^{\circ}C$ ye kadar dirençli
HF, HCl	Reaksiyon oluşmaz
Sıcak H_2SO_4	Reaksiyon oluşur
Ergimiş Fe, Ni, Co	Reaksiyon oluşur
Ergimiş Cu, Zn, Al	Reaksiyon oluşmaz
Kompleks curuflar	Reaksiyon oluşmaz
H_2O_2 , Nitrik asit	Çözünür
Ergimiş alkali, karbonat ve bisülfat bileşikler	Ayrışır

2.2.2. Titanyum diborürün üretim yöntemleri

Titanyum diborür'ün literatürde yer alan çok çeşitli üretim yöntemleri vardır. Bunlar karbotermik redüksiyon, metalotermik redüksiyon, asitte çözündürme, ergimiş tuz elektrolizi, aerosol prosesi ve kendinden gerçekleşen yüksek sıcaklık sentezi yöntemleridir. Ticari olarak titanyum diborür üretimi karbotermik redüksiyon ile yapılmaktadır.

2.2.2.1. Karbotermik redüksiyon

Ticari Titanyum diborür üretimi karbotermik yöntemle, TiO_2 , B_4C ve C kullanılarak yapılmaktadır. Bazı durumlarda B_4C yerine B_2O_3 kullanılmaktadır. Karbotermik redüksiyon yöntemi iki şekilde gerçekleşebilir. Bunlar:



İki metoddan birbirine oldukça benzemektedir. Fakat B_4C ile gerçekleşen reaksiyonda yan ürün CO daha az oluşur. B_2O_3 'e nazaran daha az sıcaklık ve enerji gerektirir. Fakat B_4C 'ün hammadde olarak pahalı oluşu B_2O_3 'de kullanılmasını sağlamaktadır.

Çıkan ürünün saflığı direk olarak kullanılan hammadelerin saflığına bağlı olmaktadır. Karbotermik yöntem ile titanyum diborür üretimi yüksek enerji gerektiren bir prosesdir. Özellikle hammaddelerin reaksiyona girmesi için ısıtılıp daha sonra reaksiyonun gerçekleşmesi yüksek enerjiye ihtiyaç duyar. Bu yöntem ile sinterlenmeye hazır titanyum diborür tozu için gerekli enerji miktarı 33-36 kWh/kg kadardır.[8]

2.2.3. Titanyum diborürün kullanım alanları

Titanyum diborür üstün mekanik özellikleri, yüksek ergime noktası ve kimyasal kararlılığı gibi özellikleri çok değerli bir mühendislik malzemesi olmasını sağlamaktadır. Bu yüzden titanyum diborür çok geniş uygulama alanlarında kullanılmaktadır.

Monolitik TiB_2 , Hall-Héroult hücrelerinde gerçekleştirilen alüminyum elektrolizinde kullanılmaktadır. TiB_2 ergimiş alüminyum ve kriyolite karşı inert olmalarının yanı sıra yüksek elektrik iletkenliğine sahip olmaları, bu malzemelerin alüminyum metalürjisinde katot, elektrod ve termokupl kılıfı olarak kullanılmalarını sağlamaktadır. Yapılan araştırmalarda TiB_2 'ün çok iyi ısıtatabilme özelliği ayrıca sıvı alüminyum ile reaksiyona girmemesi gibi özellikleri bu malzemenin alüminyum elektrolizinde çok önemli bir katot malzemesi olarak kullanılmasını sağlamıştır. Yapılan araştırmalarda bu malzemenin %40 oranlarında enerji tasarrufu sağladığı gözlemlenmiştir.[13]

Amerika Birleşik Devletleri silahlı kuvvetlerinin envanterindeki hafif zırhlı araçların bazı parçalarında Titanyum diborür kompozitleri balistik zırh olarak kullanılmaktadır.[14]

TiB_2 ayrıca alüminyumun vakum altında buharlaştırılması için kullanılan sıcak preslenmiş TiB_2 -AlN-BN kompozitinden yapılan kayıkçıklarının hammaddesidir. Bunların dışında TiB_2 , metal ve seramik matriks kompozitlerde dispersan olarak, fiber optik kabloların koruma altlığı, kesici takımları, aşınma parçaları, nozüller ve refrakter malzemesi gibi uygulama alanı bulmaktadır.[14]

2.2.4. Dünyadaki Titanyum diborür üretimi ve ticareti

Dünyadaki Titanyum diborür üretimi 1997 yılında 80 ton miktarındadır. Bu miktar 2000’li yıllarda 100 tona kadar çıkmıştır. TiB_2 tozunun fiyatı, tozun özelliklerine göre değişmekle beraber 15-35 \$/kg civarındadır. Dünyadaki başlıca titanyum diborür üreticileri Amerika ve Batı Avrupada bulunmaktadır. Tablo 2.6’da bu üreticiler görünmektedir.[14]

Tablo 2.6 Dünyadaki titanyum diborür üreticileri[14]

Ülke	Firma
Amerika	Advanced Refractory Technologies Inc.
	Advanced Ceramics Corp. And Cerac.
	Ceradyne Inc.
İngiltere	Borides Ceramics and Composites
Almanya	H.C. Stark Co.

2.3.Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler, iki veya daha fazla farklı özellikte malzemenin makro ölçüde bir araya getirilmesiyle üretilir. Bu tasarım kompozitin mikroyapı bileşenlerinden her birinin arzu edilen en iyi özelliklerini sisteme kazandıracak şekilde yapılmalıdır. Böylece malzemenin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanır; örneğin mukavemet, mukavemet/yoğunluk, elektrik ve ısı iletkenlik, yorulma ömrü, aşınma direnci, korozyon direnci, yüksek sıcaklık mekanik özellikleri kompozit malzeme sistemleri kullanılarak geliştirilebilecek özellikleridir. Kısaca kompozit malzemeler belirli bir amaca en uygun özelliklere sahip malzemeler uygun tekniklerle bir araya getirilirler. Yapı bileşenlerinin farklı karakteristik özellikleri kompozit malzeme yapısında bütünleşir. Bu nedenle kompozitin sahip olduğu özelliklerin tümünü tek bir yapı bileşenlerinde görmek mümkün değildir. Kompozit malzemelerde amaç fiziksel, mekanik veya kimyasal özelliklerden herhangi birinin veya birkaçının geliştirilmesine yönelik olabilir. Kompozit sistem matris fazı ile fiber,visker veya partikül şeklinde olabilecek takviye fazı olmak üzere iki bileşenden ibarettir.

Kompozit karakteri matris fazının polimer, metal veya seramik oluşuna göre isimlendirilir. Kompozit malzemelerin avantajları yüksek dayanım, ağırlık azalması, uzun ömür, yüksek korozyon direnci, azaltılabilen veya artırılabilen termal ve elektriksel iletkenlikleri olarak özetlenebilir. Bu malzemelerin dezavantajları ise yüksek hammadde ve işleme maliyeti, değişken özelliklerde olası zayıflıklar, düşük tokluk, geri dönüşümünün olmaması ve analiz yapımındaki zorluklar olarak öne çıkmaktadır.[15,16]

Kompozit malzemelerin çok çeşitli üretim yöntemleri vardır. Bu yöntemler ana matrise göre farklı dallara ayrılabilir. Bor karbür Titanyum diborür kompozitleri toz metalurjisi ile sinterleme üretim yöntemi ile üretilirler.

2.3.1. Sinterleme

Sinterleme yüksek sıcaklıklar kullanılarak preslenmiş ve ham kompaktlardaki toz parçacıklarının birleştirilmesi işlemi olarak tanımlanır. Sinterleme olayı yüksek sıcaklığın yönlendirdiği bir atomsal hareket sonucu olur. Prosese hakim olan olay genellikle difüzyondur. Sinterleme süreçlerinde kullanılan sıcaklıklar genellikle sinterlenecek olan parçada katı-hal atom yayınması ve ergime sıcaklığının altında seçilirse de özellikle çok sistemli alaşımlarda sıvı-faz sinterlemesi olarak bilinen bir sıvı fazın varlığında gerçekleşebilir. Toz parçacıklarının yüksek yüzey enerjileri aşılacak ya da ortadan kaldırılarak gerçekleşen sinterleme sonucu parçacıklar arasında tam ve mükemmel metalurjik bağlar oluşur ve bu suretle iç yapıdaki gözeneklilik sıfıra yaklaşır. Hacim başına düşen yüzey enerjisi toz parçacık çapının tersi ile doğru orantılı olduğundan, küçük toz parçacıkları büyüklere nazaran daha çabuk sinterlenir. Sinterleme hızına etki eden parçacık boyutunun yanı sıra başka faktörlerde vardır. Metalik tozlarda kristal tane sınırlarının keskin ya da yayvan oluşuda sinterlemeyi etkiler.[17]

Sinterleme ile ortaya çıkan partiküller arası bağlar yüzey alanında azalma meydana getirir. Azalan yüzey alanı da yüzey enerjisinin düşmesine neden olur. Bağ oluşumu, atomik seviyede meydana gelen mutelif mekanizmalar ile meydana gelir. Birçok metal ve seramik için bağ oluşumu katı hal difüzyonu ile gerçekleşir. Buna alternatif olarak, sıvı faz sinterlemesinde partiküllerin ısı ile işlem esnasında eriyerek katı-sıvı karşımı oluşturması söz konusudur. Oluşan sıvı faz bağlanmayı sağlar, kapiler kuvvetlerin oluşumuna katkıda bulunur ve kütle taşınım hızını katı hal sinterlemesine

göre daha fazla arttırır. Bu iki tip sinterlemenin dışındaki tekniklerde, partikül deformasyonunu ve bağlanmayı eş zamanlı gerçekleştirmek ve arttırmak için basınç uygulanır. Sıcak izostatik pres ve sıcak pres ile sinterleme bu tür uygulamarda önde gelen iki tekniktir. Basınç destekli sinterleme akma ve difüzyonun aynı anda meydana gelmesine olanak sağlar. Yeni teknikler ile ekzotermik reaksiyonların oluşacağı koşullarda sinterleme yapılarak karışım tozlar arasında meydana gelecek reaksiyonlar ile sinterleme esnasında yeni bileşimler oluşturulabilmektedir.[17,18]

2.3.2. Seramik malzemelerin sinterleme tipleri

Daha önceki bölümlerde açıklandığı üzere, seramik bir bünyede sinterleme sırasında, sıcaklığın etkisi ile taneler birbirlerine yapışması ve bunun sonucunda yoğunlaşma meydana gelmesi sözkonusudur. Yüzey alanındaki azalma ve dolayısı ile yüzey serbest enerjisindeki düşüş, yoğunlaşma ile sonuçlanan serbest enerji değişimini yaratır. Bu aynı zamanda yeni fakat daha düşük enerjili katı-katı arayüzeyinin oluşumu ile birlikte meydana gelir. Mikroyapısal olarak, malzeme transferi, kavisli bir yüzeyin iki tarafındaki basınç ve enerji farklılığından kaynaklanır. Tane boyutu dolayısı ile kavis çapı küçüldükçe, bu etkiler daha da kuvvetlenir. Bu da seramik teknolojisinin niye ince tane kullanımına dayandığını açıklayan bir olgudur. Sinterleme ile yoğunluktaki artışın sağlanması değişik şekillerde sağlanabilir.[19]

2.3.2.1. Katı hal sinterlenmesi

Sinterleme mekanizmaları tamamen malzemenin taşınımına dayanır. Başlıca, atomların yüzeysel ve kütsel olarak yayınması ile viskoz akışı kapsar. Malzemelerin taşınımını kolaylaştırmak için işlem yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilir. Tüm sistemlerdeki itici gücün (yüzey enerjisinin) aynı olmasına rağmen, sinterlenme davranışlarında gözlenen farklılıkların, malzemedeki meydana gelen değişik transfer mekanizmalarına, yüzeysel transfer ve kütsel transfere bağlı olduğu ortaya çıkmıştır. Katı hal sinterlenmesinde bu iki transferde katı malzemenin temasından kaynaklanır. Sinterleme sırasında ısıtma ile birlikte partiküller arasında katı bağlar oluşur.[19]

2.3.2.2. Sıvı hal sinterlenmesi

Sıvı hal sinterlenmesi metodu genellikle kompakt seramik partiküllerden yoğunluğu yüksek seramik ürünler üretiminde kullanılır. Teknik açıdan önemli alumina altlıklar,

SiC ark kabloları, silikon nitrat yapı parçaları, çinko oksit varistörler , BaTiO₃ kapasitörler , Pb-La-Zr- Ti (PLZT) piezoelektrik parçaların ve kompozitlerin üretiminde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemin avantajları gelişmiş sinterleme yapısı ve kontrol edilebilen özelliklerdir. Buna karşın bu yöntem ile üretilen malzemeler, şekil distorsiyonuna karşı hassastırlar ve sıvı fazdan kaynaklanan ilave komplikasyonlar nedeni ile (zamana bağımlı erime ve kristalleşme gibi) kontrolü zordur. Bu yöntemin gerçekleşebilmesi için sinterleme sıcaklığında bir sıvı fazın bulunması, sıvının katı fazı iyice ıslatabilmesi yani küçük temas açısı ve katı fazın sıvı faz içerisinde bir miktar çözünebilmesi gerekmektedir.[20]

2.3.2.3. Basınç yardımı ile sinterleme

Basınç yardımcı sinterleme yüksek performans beklenen sistemlerin sinterlemesinde kullanılan bir yöntemdir. Küçük tane boyutuna sahip tozlar, dışarıdan basınç uygulanmasına gerek kalmadan sinterleme sonucunda yoğunlaşmaya elverişlidir. Özellikle sıvı faz sinterlemesi uygulamalarında kaba tozlar dahi yüksek sinterleme yoğunlukları verir. Diğer yandan katı hal sinterlemesinde porozitenin ortadan kaldırılması bir sorundur. Sinterleme süresinin fazla olduğu uygulamalarda porlar kararlı hale gelir ve özellikle içlerinde gaz kalmış ise difüzyon ile yok edilmeleri çok zor olur. Sinterleme kuvveti porozite ortadan kaldırıldıktan sonra sıfıra iner ve kompozit malzemeler için yardımcı faz yoğunlaşmaya engel teşkil eder. Tam yoğunluğa ulaşmayı engelleyici bu durum sinterlenen kompakta basınç uygulanarak ortadan kaldırılabilir. Uygulanan basınç sinterleme ile ilgili bazı sorunlara da çözüm getirir; kaba tanelerin kullanımı, düşük sıcaklıkta sinterleme ve düşük sinterleme süreleri ile yüksek yoğunlukta malzeme üretimi mümkün olur. Sinterlenmiş ve basınç yardımı ile sinterlemiş bazı malzemelerin arasındaki farklılıklar Tablo 2.7’de görülmektedir.[17]

Basınç yardımı ile sinterleme 4 farklı yöntem ile gerçekleştirilebilir. Bunlar dövme, toz ekstrüzyonu, sıcak presleme ve sıcak izostatik presleme yöntemleridir. Dövme, yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen, düşük mukavemetli yüksek tokluğa sahip malzemelere uygulanan yüksek şekil değiştirme hızlarına çıkılan bir deformasyon prosesidir. Ekstrüzyon, tozların yüksek şekil değiştirme hızı ve yüksek gerilim altında sinter yoğunlaştırma işlemidir. Yoğunlaşmayı sağlamak için yüksek ekstrüzyon deformasyon oranı gereklidir. Sabit kesit alanına sahip uzun şekilli

parçalar bu yöntemin temel ürünleridir. Sıcak izostatik presleme ve sıcak presleme yöntemleri aşağıda detaylı olarak incelenmiştir.[18]

Tablo 2.7 Sinterlenmiş ve basınç yardımı ile sinterlenmiş malzemelerin özellikleri[17]

Mazleme	Özellik	Sinterlenmiş	Basınç ile sinterlenmiş
Al ₂ O ₃	Kırılma tokluğu	3,5 MPa $\sqrt{m}$	4,2 Mpa $\sqrt{m}$
Al ₂ O ₃	Sertlik	17,5 GPa VHN	19,4 GPa VHN
Al ₂ O ₃	Mukavemet	490 MPa	605 MPa
B ₄ C- Al ₂ O ₃ -B	Weibull dayanımı	7	18
Çelik	Tokluk	2%	39%
Fe-10Al ₂ O ₃	Mukavemet	430 MPa	1310 MPa
Fe-Al ₂ O ₃	Relatif aşınma hızı	1	0,1
Pb-Zr-TiO ₃ (PZT)	Dielektrik sabiti	1109	1158
Si ₃ N ₄ -15SiC	Mukavemet	639 MPa	910 MPa
W-Mo-Ni-Fe	Mukavemet	1400 MPa	2100 MPa
WC-10Co	Kopma mukavemeti	2750 MPa	3370 MPa
ZnO	Oprik geçirgenlik	10%	45%
ZrO ₂	Mukavemet	450 MPa	1200 MPa

Sıcak izostatik presleme

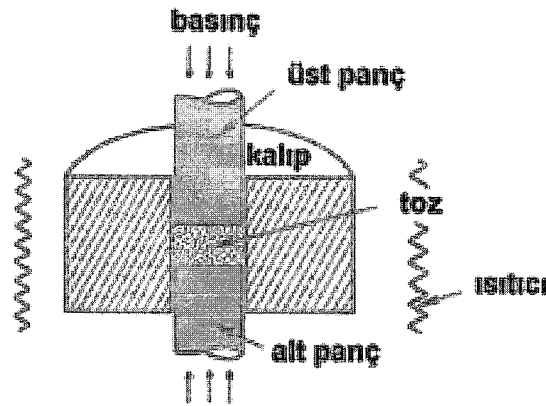
Sıcak izostatik presleme yönteminde basınç gaz vasıtasıyla üç eksenel olarak malzemeye uygulanır. Sıcak izostatik presleme prosesleri, çok uzun ömür istenen kalıp yada takım ucu malzemelerinden havacılık komponentlerine kadar birçok malzeme için vazgeçilmez bir üretim tekniğidir.

Basınç, basınç odasına yollanan gazın miktarı ile belirlenir. Kontrol parametreleri zaman, sıcaklık ve basınçtır. Sinterlenmek istenen malzeme sisteme iki türlü beslenebilir; toz olarak ve ön sinterlenerek. Kapalı por yapısına ön sinterlenmiş malzemelerin sonradan sıcak izostatik preslenmeleri sinter-hip olarak da bilinir. Amaç malzemenin kendini taşıyacak bir mukavemete erişikten sonra HIP'lenmesidir. Doğrudan tozların beslendiği diğer yöntemde ise metal yada cam kalıplar kullanılır. Kalıp malzemesi seçiminde en önemli parametre etkin sinterleme sıcaklığında kalıbın basıncı iletecek deformasyonu gösterebilmesidir. Camlar, çelik, paslanmaz çelik, titanyum, tantalyum en çok kullanılan kalıp malzemeleridir. Proses esnasında kalıp, sinterlenecek malzeme ile doldurulur. Vakuma alınan sistem degazing işlemine tabi tutulurak buharlaşan ürünler uzaklaştırılır. Vakum ve gaz

boşaltım işlemlerinden sonraki adım sistemin vakum ile sızdırmaz hale getirilir. Ortamda gaz kalmaması çok önemlidir çünkü ortamda kalcak istenmeyen gazlar sinterlenen malzemede porozite anlamına gelir. Tozların içerisinde bulunduğu kap, içten ısıtılmalı bir haznenin içerisinde. Bu yöntem; Al_2O_3 , ZrO_2 , Si_2N_3 gibi seramik malzemelerin; WC-Co, TiC-Fe, Al_2O_3 - ZrO_2 gibi kesici takım uçlarının; nikel ve titanyum alaşımları gibi havacılık malzemerlinin, alaşım çeliklerinin, kompozitlerin ve elektronik seramiklerin üretiminde kullanılmaktadır. Bu yöntemin en önemli dezavantajları sistemin maliyetinin çok yüksek oluşu vede oldukça zahmetli bir yöntem olmasıdır.[17]

Sıcak presleme

Günümüzde artık yaygın olarak bazı malzeme ve alaşımlar için hem presleme hemde yüksek sıcaklıkları birleştirerek pekişme ve sinterlemenin aynı süreçlerde birleşik gerçekleştirildiği teknolojik süreçler, geleneksel presleme ve sinterleme süreçlerinin yerini almaktadır. Sıcak presleme bu ihtiyaca cevap verecek en uygun, en yaygın uygulama ve kullanıma sahip olan yöntemlerden biridir. sıcak presleme işleminde çift taraflı, etki eden su soğutmalı baskı plakaları arasına yerleştirilen tozlar ısıtma etkisiyle ilk olarak preslenir daha sonra baskı altında yüksek sıcaklıklarda sinterlenir. Tek yönlü sıcak presleme normal şartlarda gerçekleştirilebileceği gibi, tozların özel kalıplara yerleştirilmesi suretiyle vakum veya azot, argon gibi gazlar altında gerçekleştirilebilir. Şekil 2.2’de sıcak tek yönlü presleme tekniğinin şeması gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Sıcak tek yönlü presleme tekniği[26]

Sıcak presleme sisteminde alt panç sabit olabilir. Kuvvet genellikle üst panç ile hidrolik bir sistem tarafından uygulanır. Uygulanan kuvvet her ne kadar eşeksenel ise de kalıp yüzeylerinde meydana gelen sürtünme nedeniyle merkezden yanlara doğru değişen bir kuvvet dağılımı oluşur. Buna bağlı olarak meydana gelen eksenel ve radyal yönler arasındaki gerilim farkı, toz yüzeylerinin bozulmasına neden olan bir kayma bölgesi oluşturur. Sistemde kullanılan kalıp malzemesi genellikle yüksek sıcaklıktaki mukavemeti fazla olan grafitir. Kalıp malzemesi olarak kullanılacak malzemenin çeşitli özellikleri olmalıdır. Bunlar malzemenin preslenmesi için gerekli sıcaklıkta kalıbın mekanik olarak özelliklerini yitirmeyip kuvvetli olması ve yüksek sıcaklıkta malzemeyi muhafaza edebilecek kapasiteye sahip olmasıdır. Bu istenene en uygun malzeme grafitir. Grafit kalıbın etrafına yalıtım amacıyla yerleştirilmek üzere üç malzeme geliştirilmiştir. Bunlar zirkonya, magnezya ve ince karbon tozlarıdır. Zirkonya ve magnezya etkili ısı yalıtkan olmalarına rağmen, sıcak presleme periyodu sırasında sinterlenir ve kalıp duvarıyla karbür oluşturacak şekilde reaksiyona girerler. Bu nedenle bu tozların tekrar kullanılması çok zor olur. Başka bir dezavantajda bu tozların kalıbın oksidasyonunu yeterince önleyememeleridir. Poroziteli toz arasından giren hava kalıp malzemesinin erozyona uğramasına ve kalıp ömrünün kısılmasına neden olur. Bu nedenlerden ötürü yalıtım malzemesinin karbon tozu olması kullanışlılığı ve kolaylığı açısından sabitlenmiştir. Grafit dışında kullanılan kalıp malzemeleri tungsten karbür ve bor nitrürdür. Sisteme Sıcaklık kalıp vasıtasıyla yada dirençler ile verilebilir. Proses esnasında tane büyümesi ve hacim difüzyonu etkin mekanizmalardır. Sıcaklık yine kritik rol oynar ve küçük taneler yoğunlaşmayı olumlu etkiler.[18,19]

Sıcak presleme yavaş bir porsestir. Kullanılan kalıp aksamı nedeniyle sıcaklık kontrolü zordur. Maksimum sıcaklık olan 2250°C'ye grafit dirençler kullanılarak çıkılabilir. Diğer alternatifler SiC, molibden ve tungsten dirençlerdir. Bu tip dirençlerde sıcaklık daha düşüktür. Ulaşılan basınç değerleri uygulanan yüke olduğu kadar kalıp dizaynı ve parça geometrisine de bağlı olarak değişkenlik gösterir. Sinterleme sırasında tercih edilen atmosfer şartı genellikle vakum altında çalışmaktır. Vakumun önemli getirileri fırın dirençlerinin ve sinterlenen malzemenin korunmasıdır. Prosesin amacına göre koruyucu gaz atmosferinde de sinterleme işlemi yapılabilir ancak kapalı por yapısına geçildiğinde vakum ile poroziteyi tamamen ortadan kaldırmak mümkün olabilir. Karşılaşılan bir problem sinterlenen

malzemenin kalıp yüzeyine yapışmasıdır. Sinterleme işleminin bitimyle ürünü kalıptan ayırırken numune yada kalıp zarar görebilir. Ürünlerin kalıp malzeme ile kirlenmesi ve bileşimlerinin zarar görmesi de mümkündür. Bunun önüne geçmek için özellikle grafit kalıp sistemlerinde kalıp iç çeperlerine hegzagonal bor nitrür uygulanmalıdır. Bor nitrür uçucu bir sıvı ile karıştırılarak kalıp iç yüzeylerine püskürtülür. Bu yöntemle olası yapışma sorunları bir miktar önlenabilmektedir.

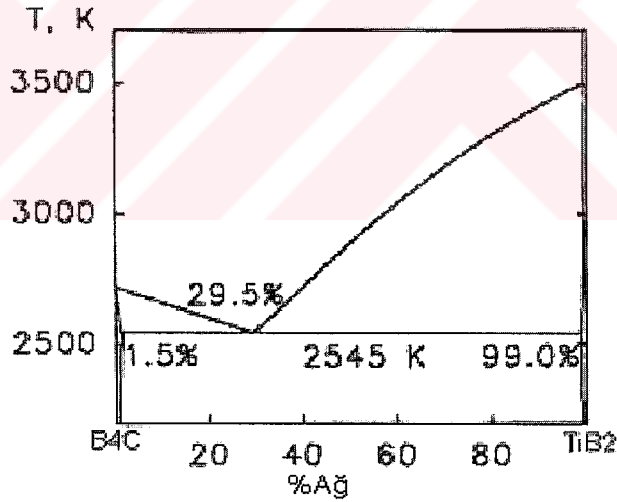
Sıcak presleme özellikle kalıp maliyeti nedeniyle pahalı bir prosestir. Vakum altında yapılan işlemlerde maliyet daha da fazladır. Maliyetinin yanında sinterleme sırasında getirdiği avantajlar nedeniyle de nadide parçaların üretiminde tercih sebebidir. Çok uzun ömürlü kalıp yada takım bileşenleri gibi üretim maliyeti göze alınabilecek ürünler için uygundur. Sıcak perslemenin bir diğer kullanım alanı da başka üretim alternatifinin olmadığı, sinterlenmesi çok zor olan özellikle kompozit yapıların üretimidir. Özellikle düşük plastisiteye sahip malzemelerin sinterlenmesi için elverişlidir. Sıcak presleme yöntemi ile hafif kompozitler, manyetik kayıt başları, aşınmaya dirençli malzemeler, titanyum havacılık yapıları, yüksek performans manyetikleri, yarı iletken kaplama hedef malzemeleri, yapay implantlar, zırh delici malzemeler gibi çok değişik bir alanda malzeme üretimi gerçekleştirilebilir.[17]

2.4 Bor karbür titanyum diborür kompozitlerinin sıcak preslenmesi

Karbürler sahip oldukları kovalent bağlar nedeni ile sinterlemede bazı zorluklar gösterirler. Yoğunlaşma işlemi ergime sıcaklığının %80-90'nı civarında gerçekleştirilir. Bor karbürün 2450⁰C'de ergidiği düşünülürse bu 1950 -2250⁰C sıcaklık aralığına tekabül eder. Sinterleme davranışı partiküllerin tane boyutu ve yüzey alanı ile alakalıdır. Bir malzemenin birim yüzey alanı ne kadar büyükse sinterleme davranışı o kadar iyidir. Ortalama partikül boyutu 3 mikron olan tozların 2250⁰C de sinterlenmesi neticesinde % 20 sinterleme çekmesi gözlenirken, ortalama boyutu 10 mikron olan tozlar aynı sıcaklıkta % 5 civarında sinterleme çekmesi göstermektedir. Bor karbür tozlarının sinterlenmesi sırasında sinterleme hızı 1650-1800⁰C'de sıcaklık aralığında az olup, 2000-2100⁰C aralığında hız artar. 2300-2350⁰C sıcaklık aralığında ise kısmi ergimeler görülmeye başlandığından sinterleme işlemi çok dar bir sınır içersinde gerçekleştirilir.

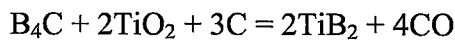
Titanyum diborürün yüksek ergime sıcaklığı yüzünden bu malzemenin sinterlenmesi de yüksek sıcaklık gerektirmektedir. Ayrıca bu malzemenin hem iyonik hem de kovalent bağ yapısında olması bu malzemenin sinterlenmesini zorlaştırmaktadır. Ayrıca titanyum diborür yüzeyindeki çok ince oksijence zengin bir katman sinterlemeyi güçleştirmektedir. Titanyum diborürün sinterleme sonrasındaki teorik yoğunluğu maksimum %95 civarına ulaşılabilmiştir. Sıcak presleme ile 2100°C sinterleme sıcaklığı ve 2 saat sinterleme zamanında %99 civarında bir yoğunluğa ulaşıldığı ölmüştür. Titanyum diborürün sıcak preslenmesine katkı malzemesi olarak demir, nikel, karbon, tungsten ve tungsten karbür kullanılmaktadır.

Bor karbür titanyum diborür kompozitleri bor karbürün özellikle yüksek sertliği ve bunun yanında mukavemet özelliklerinin iyi olması, titanyum diborürün ise yüksek eğme mukavemeti ve kırılma tokluğunun yanı sıra diğer fiziksel özelliklerinin de yüksek olması nedeniyle çalışılan bir sistemdir. Şekil 2.3'deki bor karbür titanyum diborür ikili faz diyagramını inceleyecek olursak, bu iki fazın hiç bir bileşik yapmadan büyük bir aralıkta çalışılabileceğini ve de çalışma sıcaklığının 2545 K gibi çok yüksek bir sıcaklığın altına kadar çıkabildiğimiz saptanabilmektedir.



Şekil 2.3 B₄C – TiB₂ ikili denge diyagramı[21]

Bor karbür titanyum diborür ile yapılan daha önceki çalışmalara incelendiğinde bu konuda çok detaylı bir çalışma yapılmadığı saptanmıştır. Bu çalışmaların çoğunda bu tip kompozitleri üretirken hammadde olarak titanyum diborür yerine TiO₂ kullanılmış ve sıcak presleme sırasında aşağıdaki kimyasal reaksiyon oluşturularak nihai üründe bor karbür ve titanyum diborür elde edilmiştir [22,23].



Yapılan başka bir çalışmada ise bu çalışmadaki gibi hammadde olarak titanyum diborür ve bor karbür tozu kullanılmış fakat üretilen ürünün mekanik özelliklerinden bahsedilmemiş sadece mikroyapısına bakılmıştır [24]. Tablo 2.8’de daha önce yapılan çalışmaların sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 2.8 Daha önce yapılan çalışmalar[22-25]

Çalışma	Kullanılan method	TiB ₂ Miktarı	Çalışma koşulları	Sonuçlar		Notlar
				Rölatif yoğunluk	Eğme mukavemeti	
Skorokhod, Krstic	Sıcak presleme	% 15 (vol.)	2000 °C 20 MPa 1 saat argon atmosferi	-	550 MPa	Hammadde olarak TiO ₂ ve C kullanılarak kimyasal bir reaksiyon oluşturularak yapılan bir çalışma
Yamada, Hirao ve arkadaşları	Sıcak presleme	% 15 (vol.)	2000 °C 50 MPa 1 saat argon atmosferi	%99.7	650 MPa	Hammadde olarak TiO ₂ ve C kullanılarak kimyasal bir reaksiyon oluşturularak yapılan bir çalışma başlangıç B ₄ C toz boyutu 0,4 µm kadar oldukça küçük bir değer
Skorokhod, Krstic	Basıncsız sinterleme	% 5,10,15,20,25 (vol.)	1800 °C ön sinterleme daha sonra 2150°C argon atmosferi	%93 -%98,3 arasında değişen değerler en düşük %5lik daha sonra sırası ile %10 %25,20,15. %20,10 ve 15 arasındaki farklar 0,01 mertebesinde	350-480 MPa arasındaki değerler, %5,10,25,20,15 sırası ile.	Hammadde olarak TiO ₂ ve C kullanılarak kimyasal bir reaksiyon oluşturularak yapılan bir çalışma, basıncsız sinterleme öncesi hazırlanan karışım 300 MPa soğuk izostatik prese tabii tutuluyor
Cai, Nan ve arkadaşları	Sıcak presleme	%20 (vol.)	1900°C 25 MPa 30 dakika	85%	-	Burdaki çalışma direk B ₄ C ve TiB ₂ kullanılarak yapılmış. Sadece mikroyapı ve x-ışınları analizleri çalışılmış.

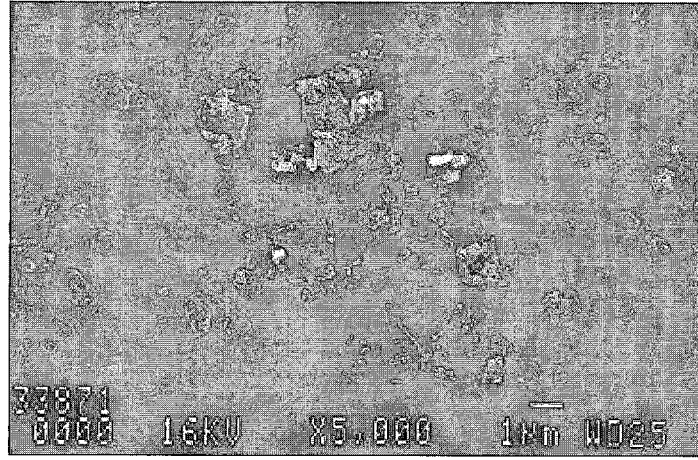
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Kullanılan Hammaddeler

Bor karbür titanyum diborür kompozitlerinin üretiminde kullanılan tozlar Alman H.C. Starck firmasından temin edilmiştir. Tablo 3.1.'de kullanılan bor karbür tozunun fiziksel ve kimyasal özellikleri gösterilmiştir. Şekil 3.1.'de ise kullanılan bor karbür tozunun SEM görüntüsü gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Kullanılan bor karbür tozunun fiziksel ve kimyasal özellikleri

B:C oranı	3.8 – 3.9
C	min. % 21.8
N	max. % 0.7
O	max. % 1.0
Fe	max. % 0.05
Si	max. % 0.15
Al	max. % 0.05
diğer	max. %0.5
BET	6 - 9 m ² /g
Ham yoğunluk	1.5 – 1.7 g/cm ³
Boyut dağılımı : % 90	6.5 µm
% 50	2.5 µm
% 10	0.4 µm

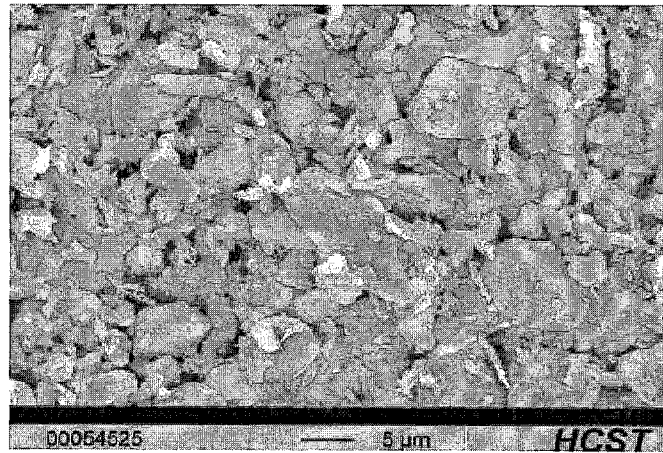


Şekil 3.1 Kullanılan bor karbür tozunun SEM görüntüsü

Deneylerde kullanılan titanyum diborür tozunun kimyasal ve fiziksel özellikleri ve SEM görüntüsü aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 3.2 Kullanılan Titanyum diborür tozunun fiziksel ve kimyasal özellikleri

B	min. % 30
C	max. % 0.5
N	max. % 0.6
O	max. % 1.1
Fe	max. % 0.1
BET	4 - 7 m ² /g
Boyut dağılımı : % 90	6 - 10 µm
% 50	3 - 6 µm
% 10	0.7 - 2 µm



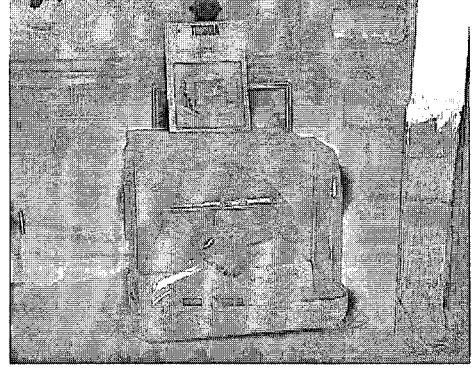
Şekil 3.2 Titanyum diborür tozunun SEM görüntüsü

3.2. Kullanılan Alet ve Cihazlar

Bor karbür titanyum diborür kompozitlerinin üretimi için yapılan deneylerde kullanılacak tozların tartımları 0.001g hassasiyetli Sartorius marka otomatik terazi ile yapılmıştır(Şekil 3.3). Üretim için tartılan bor karbür, titanyum diborür tozları homojen bir karışım haline gelmesi için Turbula T2C marka karıştırıcıda karıştırılmışlardır (Şekil 3.4).

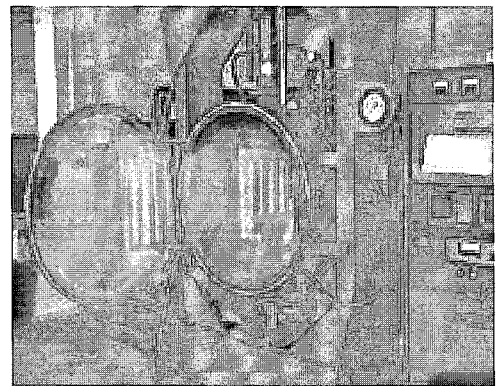
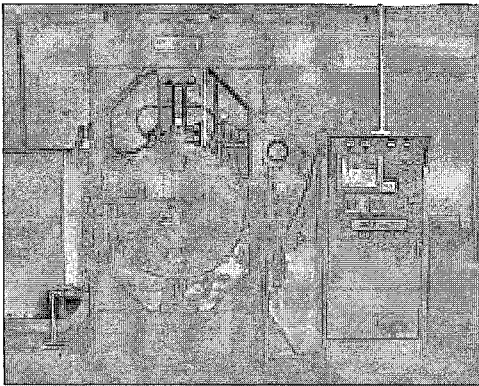


Şekil 3.3 Sartorius marka terazi



Şekil 3.4 Turbula marka karıştırıcı

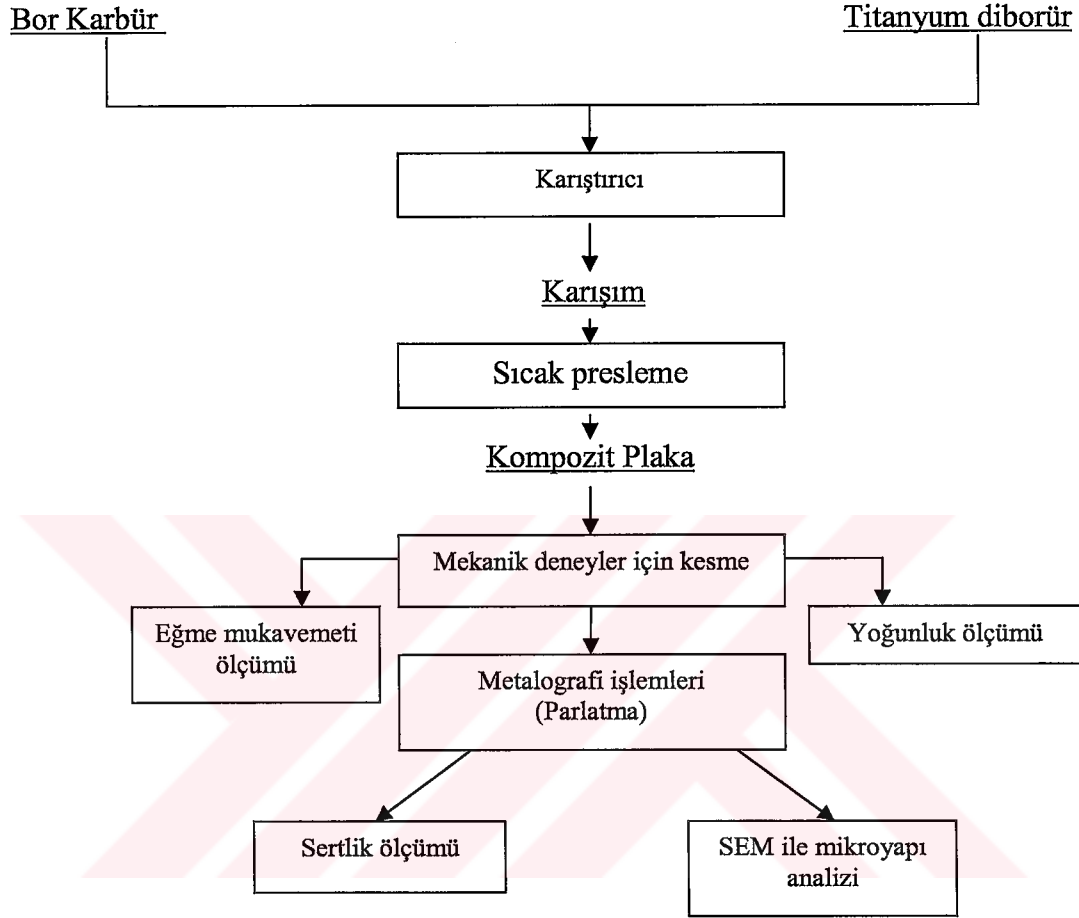
Kompozit üretimi için elde edilen homojen bir karışım haline gelen tozlar sıcak presleme işlemi için grafit dirençler ile kontrollü ısıtma sağlanabilen, difüzyon pompası ile yüksek vakum uygulanabilen 2300⁰C m maksimum sıcaklık, 100 ton maksimum yük uygulanabilen inert atmosfer altında sinterleme yapılabilen Centorr Vacuum Industries marka sıcak pres kullanılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Centorr Vacuum Industries marka sıcak pres

3.3 Deneylerin Yapılışı

Bor karbür titanyum diborür kompozitlerinin üretimi için izlenen yol sırası ile Şekil 3.6 da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Yapılan çalışmaların akış şeması

Deneyler 3 değişik seri olarak her bir seride 4 farklı bileşim olarak uygulanmıştır. Bileşimdeki titanyum diborür miktarı hacimce yüzde 5,10,15 ve 20 olmak üzere 4 farklı bileşimdedir. Deneyler için kullanılacak toz miktarlarını hesaplamak için ilk başta her bir bileşimin yoğunlukları hesaplanmıştır. Yoğunluk hesaplamaları aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$d_{\text{(bileşimin yoğunluğu)}} = \frac{d_{\text{B}_4\text{C}} \times d_{\text{TiB}_2}}{\% \text{B}_4\text{C} \times d_{\text{TiB}_2} + \% \text{TiB}_2 \times d_{\text{B}_4\text{C}}} \quad (3.1)$$

yapılan hesaplamalardan sonra her bir bileşim için yoğunluk değerleri Tablo 3.3’de gösterilmiştir.

Tablo 3.3 Değişik oranlardaki bileşimin yoğunluk değerleri

B ₄ C’e hacimce eklenen TiB ₂ bileşimi	% 5 TiB ₂	% 10 TiB ₂	% 15 TiB ₂	% 20 TiB ₂
Yoğunluk (g/cm ³)	2,577	2,636	2,698	2,765

Bu yoğunluklardan yola çıkarak 5 x 5 x 0.5 boyutlarında kompozit malzeme yapmak için gerekli toz miktarları Tablo 3.4’de hesaplanmıştır.

Tablo 3.4 Deneylerde kullanılan toz karışımlarının miktarları

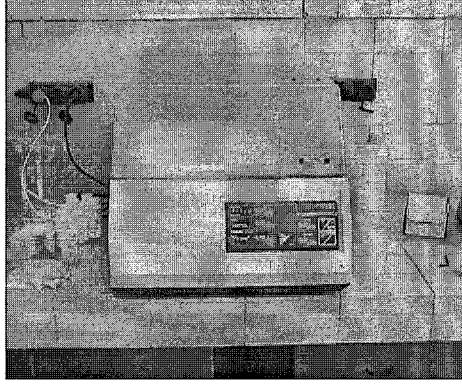
Bileşim	B ₄ C (g)	TiB ₂ (g)	Toplam (g)
B ₄ C (%95) TiB ₂ (%5)	29,44	2,77	32,21
B ₄ C (%90) TiB ₂ (%10)	27,48	5,47	32,95
B ₄ C (%85) TiB ₂ (%15)	25,625	8,1	33,725
B ₄ C (%80) TiB ₂ (%20)	23,86	10,7	34,56

Belirtilen miktarlarda tartılan karışımlar daha sonra homojen bir karışım sağlanması için 8 saat boyunca karıştırılmışlardır. Hazırlanan karışımlar sıcak pres işlemi için 5 x 5 x 0.5 boyutlarındaki kalıplara konulmuştur. Sıcak pres işleminden sonra çıkacak numunelerin kalıplara yapışmaması için kalıplar tozlar konulmadan önce bor nitrür aseton karışımı ile ıslatılmıştır. Tozların yerleştirilmesi işleminden sonra sıcak presleme işlemi 3 farklı seferde yapılmıştır. İlk deney grubunda 30 °C/dk ısıtma hızı ile 1900°C çıkılmış burada 45 dk durulmuş ve 25 MPa basınç uygulanmıştır. İkinci deney grubunda ilk deneyin değerlerinin düşük olduğu karakterizasyon çalışmaları sonrasında görülmüş ve daha yüksek değerler uygulamaya karar verilmiştir. Bu deneyde 30 °C/dk ısıtma hızı ile 2100°C’ye çıkılmış burada 1 saat boyunca kalınıp 100MPa basınç uygulanmıştır. Üçüncü deney grubunda ise 30 °C/dk ısıtma hızı ile 2200°C’ye çıkılmış burada yine 1 saat boyunca kalınıp 100MPa basınç uygulanmıştır. Deneyler sırasında 1900°C’ye kadar vakum altında çalışılmış bu sıcaklıktan sonra Argon atmosferine geçilmiş ve de soğutma işlemi’de Argon atmosferi altında yapılmıştır. Çıkarılan numuneler karakterizasyon çalışmalarına tabii tutulmuştur.

3.4. Karakterizasyon Çalışmaları

3.4.1. Kesme işlemleri

Yapılacak olan karakterizasyon çalışmalarına başlamadan önce sıcak pres işleminden çıkan bütün numuneler kare kesit haline getirilmek için Buehler Marka kesicide (Şekil 3.7) kesilmişlerdir.

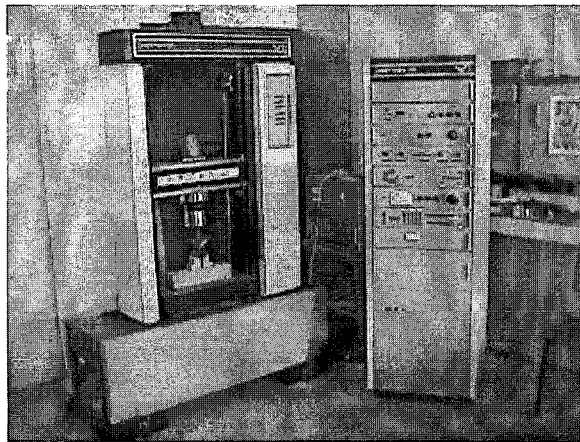


Şekil 3.7 Buehler marka kesici

Kesme işlemi çalışmadaki en zor kısmı oluşturmaktadır. Üretilen kompozitlerin çok sert ve yüksek mukavemette oluşu bu işlemi oldukça zorlaştırmaktadır. Kesme işlemleri Buehler ve IAIR marka kesici elmas diskler ile gerçekleştirilmiştir. Kesme koşulları 2400-2700 rpm disk hızı ve 1.1 mm/dk ilerleme hızı ile gerçekleştirilmiştir.

3.4.2. Eğme mukavemeti Ölçümü

Eğme mukavemeti tayini için üç nokta eğme deneyi yapılmıştır. Bu deney için INSTRON marka çekme basma cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 INSTRON cihazı

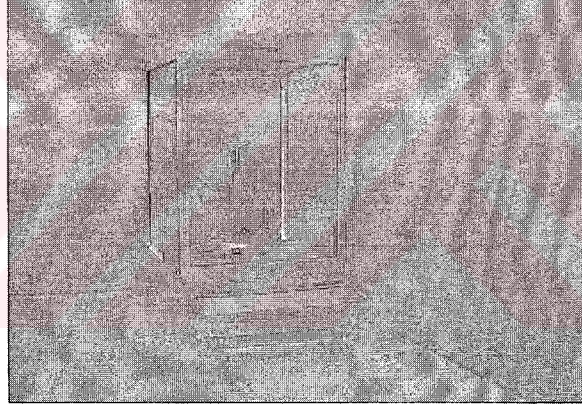
Numunenin boyutları ve uygulanan kuvvet değerinin ışığında ortaya çıkan değerler aşağıdaki formülde yerine konularak eğme mukavemeti değerleri hesaplanmıştır.

$$\text{Eğme mukavemeti} = \frac{3.F.l}{2.b.d^2} \quad (3.2)$$

- F : Uygulanan yük,
l : Mesnetlerarası mesafe,
b : Numunenin genişliği,
d : Numunenin yüksekliği.[26]

3.4.3. Yoğunluk ölçümü

Numunelerin yoğunluk ölçümleri Mettler Toledo PG 503-S (Şekil 3.9) marka cihazda yapılmıştır.



Şekil 3.9 Mettler Toledo yoğunluk ölçme cihazı

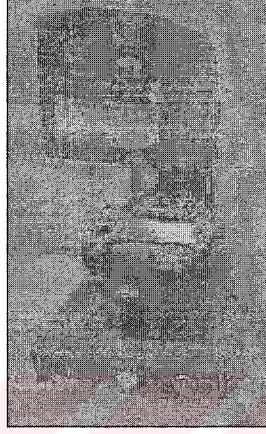
Numunenlerin yoğunluk ölçümleri için ilk başta kuru ağırlıkları daha sonra sudaki ağırlıkları ölçülmüştür. Suyun sıcaklığı ölçülüp buna karşılık gelen katsayı da hesaba katılarak aşağıdaki formülde yoğunluklar hesaplanmıştır.

$$d = \frac{W_A}{(W_A - W_B)} \times d_{su} \quad (3.3)$$

- W_A : Kuru ağırlık (g)
 W_B : Sudaki ağırlık (g)
 d_{su} : Suyun ölçülen sıcaklıktaki yoğunluğu (g/cm^3)

3.4.4. Sertlik ölçümü

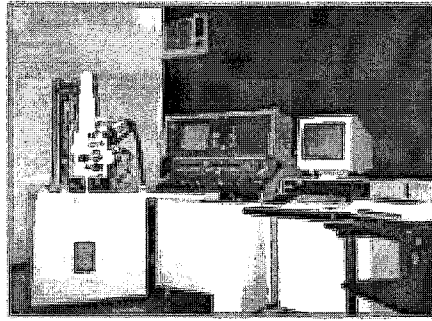
Parlatma işleminin kolaylıkla yapılabilmesi amacıyla bakalite alma işleminden geçirilen numuneler sırasıyla 14, 9, 6 ve 3 μm elmas pastalar ile parlatılmıştır. Parlatılan numuneler TUKON marka mikrosertlik cihazında (şekil 3.10) 1000 g yük uygulanarak sertlik ölçümüne tabi tutulmuştur. Oluşan izin uzunluğu ölçülüp Vickers skalasındaki sertlik değerleri bulunmuştur.



Şekil 3.10 Tukon mikrosertlik cihazı

3.4.5. Mikroyapı analizleri

Numunelerin mikroyapı incelenmesi JEOL JSM-840 marka taramalı elektron cihazında (SEM) gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.11)



Şekil 3.11 JEOL JSM-840 SEM cihazı

4.DENEY SONUÇLARI

4.1. Yoğunluk Sonuçları

Üç farklı koşul, 1900°C 25 MPa 45 dakika, 2100°C ve 2200°C 100MPa 1 saat, sonucunda üretilen kompozitlerin yoğunluk değerleri ve yoğunluktaki standart sapmalar aşağıdaki tablolarda verilmiştir. Yoğunluk ölçümleri her bir numune için en az 10 farklı yerden ölçülmüştür.

Tablo 4.1 %5 TiB₂ içeren numunelerin değişik sıcaklıklardaki yoğunluk sonuçları

Sıcaklık (°C)	1900	2100	2200
Ortalama yoğunluk değeri (g/cm ³)	1,986 ± 0,061	2,324 ± 0,014	2,401 ± 0,013
Rölatif yoğunluk	77	90,2	93,6

Tablo 4.2 %10 TiB₂ içeren numunelerin değişik sıcaklıklardaki yoğunluk sonuçları

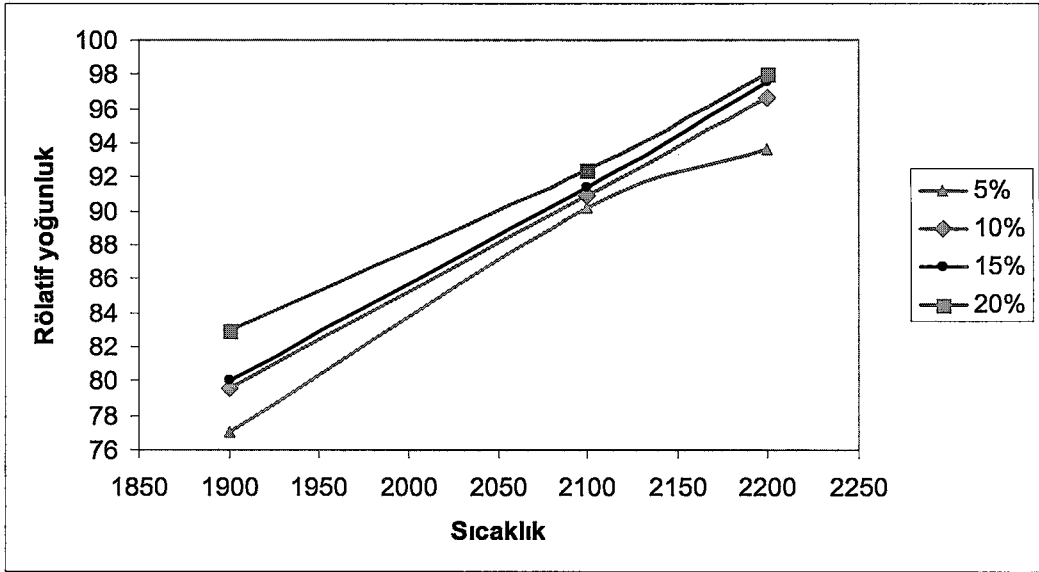
Sıcaklık (°C)	1900	2100	2200
Ortalama yoğunluk değeri (g/cm ³)	2,1 ± 0,03	2,389 ± 0,007	2,543 ± 0,049
Rölatif yoğunluk	79,6	90,9	96,6

Tablo 4.3 %15 TiB₂ içeren numunelerin değişik sıcaklıklardaki yoğunluk sonuçları

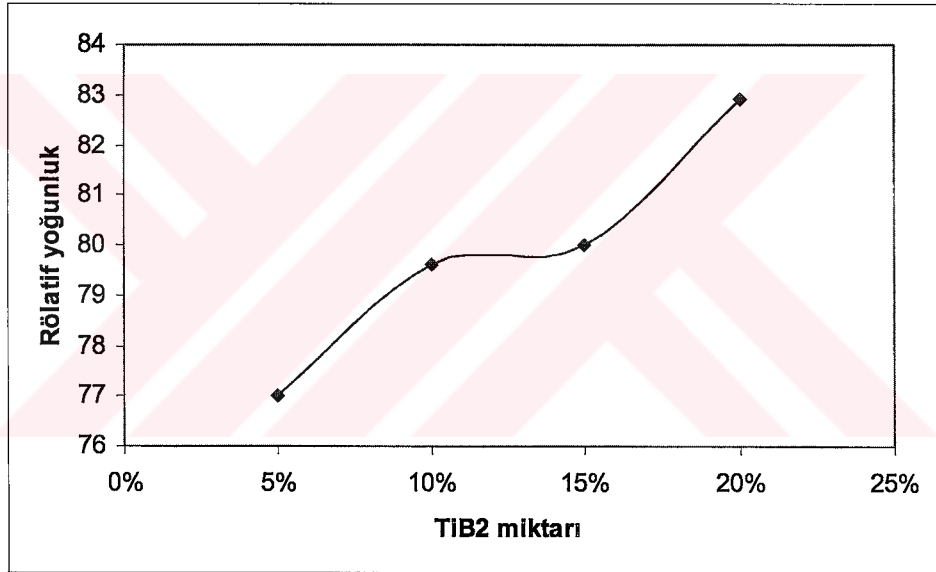
Sıcaklık (°C)	1900	2100	2200
Ortalama yoğunluk değeri (g/cm ³)	2,15 ± 0,04	2,462 ± 0,007	2,629 ± 0,031
Rölatif yoğunluk	80	91,4	97,52

Tablo 4.4 %20 TiB₂ içeren numunelerin değişik sıcaklıklardaki yoğunluk sonuçları

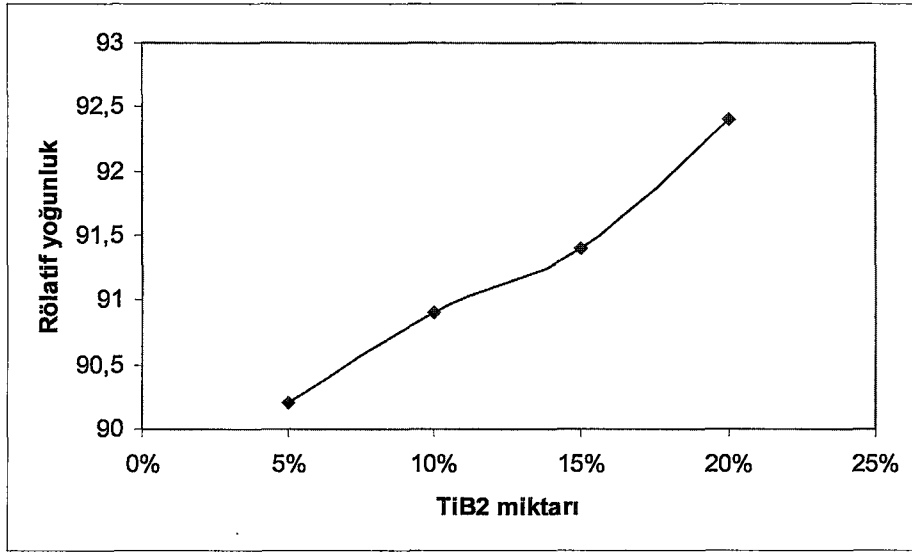
Sıcaklık (°C)	1900	2100	2200
Ortalama yoğunluk değeri (g/cm ³)	2,31 ± 0,01	2,553 ± 0,027	2,698 ± 0,045
Rölatif yoğunluk	82,9	92,4	98



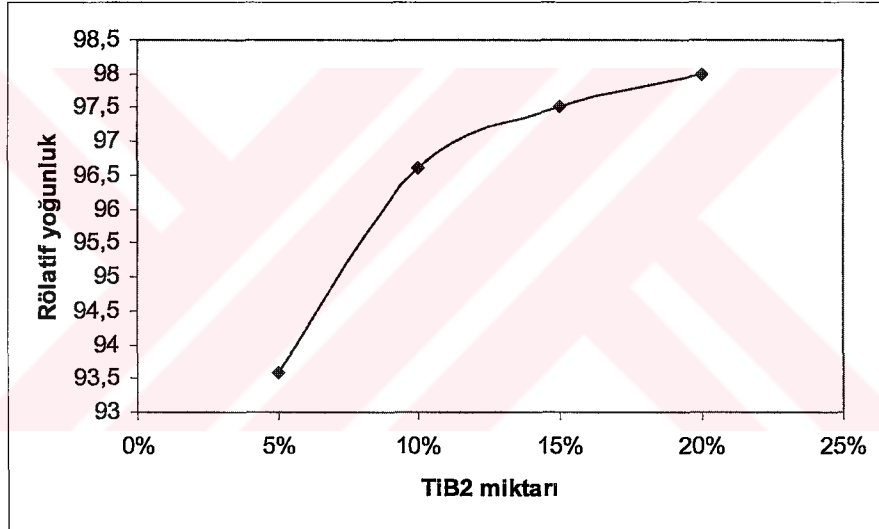
Şekil 4.1 Sıcaklığın yoğunluğa etkisi



Şekil 4.2 1900°C 45 dk 25 MPa koşullarında TiB₂ miktarının yoğunluğa etkisi



Şekil 4.3 2100⁰C 1 saat 100 MPa koşullarında TiB₂ miktarının yoğunluğa etkisi



Şekil 4.4 2200⁰C 1 saat 100 Mpa koşullarında TiB₂ miktarının yoğunluğa etkisi

4.2. Sertlik Sonuçları

Mikrosertlik cihazında 1000 g yük altında ölçülen Vickers sertlik değerleri her numune için 10 farklı yerden alınmış en büyük ve en küçük değerler dikkate alınmadan alınan 8 değer ile sertlik sonuçları alınmıştır. 1900⁰C yapılan deneyden çıkan numunelerin poroziteleri çok yoğun olduğundan (%75-80 yoğunluk) mikrosertlik değerleri ölçülememiştir.

Tablo 4.5 %5 TiB₂ içeren bileşimin değişik sıcaklıklardaki sertlik değerleri

Sıcaklık (°C)	2100	2200
Ortalama sertlik değeri (kg/mm ²)	2060 ± 133,15	2870 ± 202,5

Tablo 4.6 %10 TiB₂ içeren bileşimin değişik sıcaklıklardaki sertlik değerleri

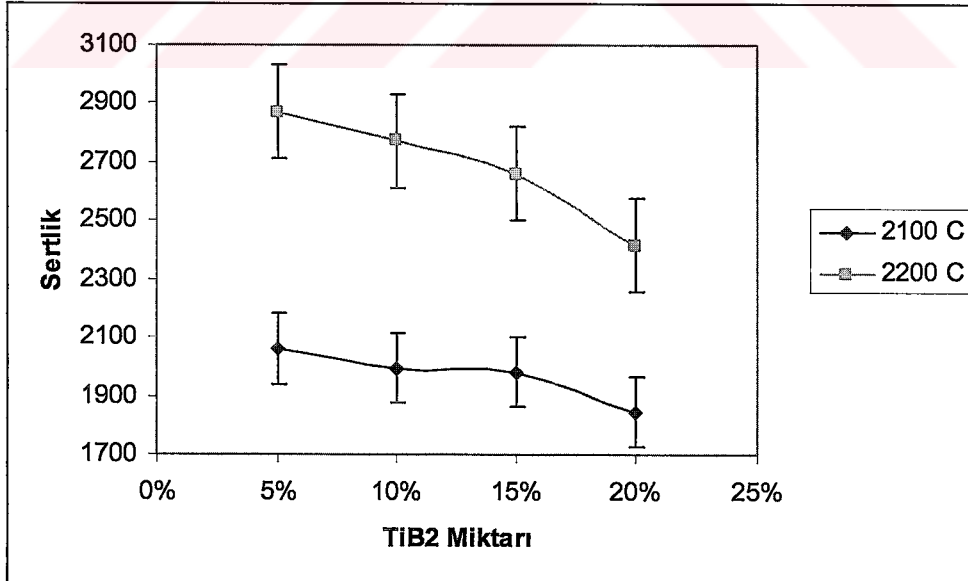
Sıcaklık (°C)	2100	2200
Ortalama sertlik değeri (kg/mm ²)	1995 ± 171,2	2772 ± 227,12

Tablo 4.7 %15 TiB₂ içeren bileşimin değişik sıcaklıklardaki sertlik değerleri

Sıcaklık (°C)	2100	2200
Ortalama sertlik değeri (kg/mm ²)	1980 ± 139,59	2660 ± 149,6

Tablo 4.8 %20 TiB₂ içeren bileşimin değişik sıcaklıklardaki sertlik değerleri

Sıcaklık (°C)	2100	2200
Ortalama sertlik değeri (kg/mm ²)	1845 ± 119,8	2415 ± 170,5

**Şekil 4.5** TiB₂ miktarı ve sıcaklığın sertliğe etkisi

4.3. Eğme Mukavemeti Sonuçları

Farklı koşullarda elde edilen numunelerin eğme mukavemetleri her numune için en az 6 farklı değer alınmıştır. Üretilen bileşimlerin eğme mukavemetleri ve hesaplamalardaki standart sapmalar aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 4.9 %5 TiB₂ içeren bileşimin değişik sıcaklıklardaki eğme mukavemetleri

Sıcaklık (°C)	1900	2100	2200
Eğme mukavemeti değeri (g/cm ³)	92,4 ± 5,5	140 ± 12,8	240 ± 6,55

Tablo 4.10 % 10 TiB₂ içeren bileşimin değişik sıcaklıklardaki eğme mukavemetleri

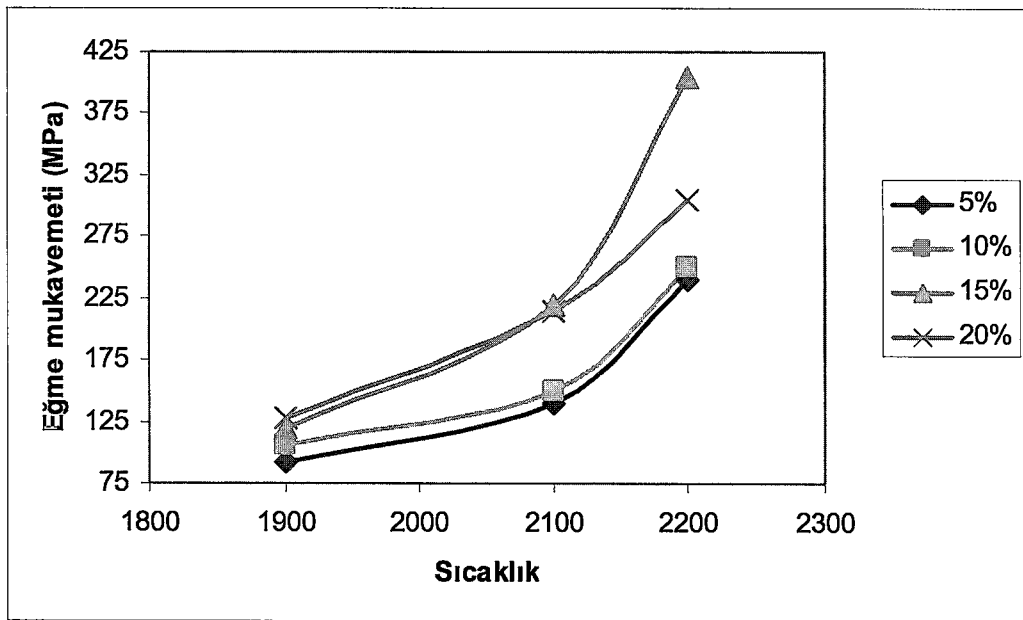
Sıcaklık (°C)	1900	2100	2200
Eğme mukavemeti değeri (g/cm ³)	106 ± 9,24	149 ± 19,3	250 ± 36,3

Tablo 4.11 %15 TiB₂ içeren bileşimin değişik sıcaklıklardaki eğme mukavemetleri

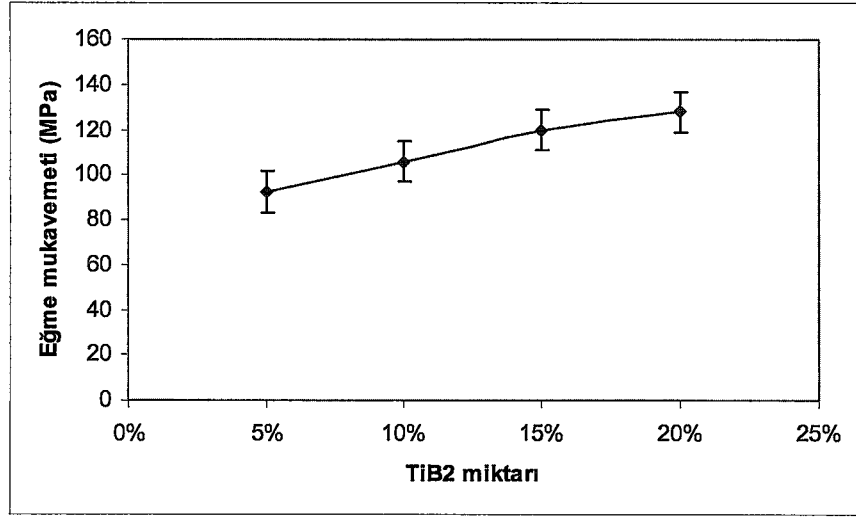
Sıcaklık (°C)	1900	2100	2200
Eğme mukavemeti değeri (g/cm ³)	120 ± 10,08	220,8 ± 25,5	404,8 ± 37,2

Tablo 4.12 %20 TiB₂ içeren bileşimin değişik sıcaklıklardaki eğme mukavemetleri

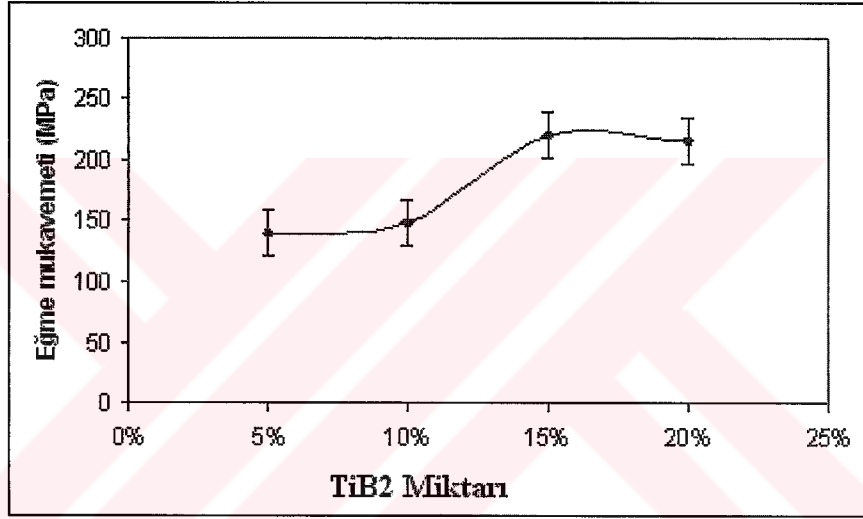
Sıcaklık (°C)	1900	2100	2200
Eğme mukavemeti değeri (g/cm ³)	128 ± 11,9	215 ± 21,31	305 ± 28,6



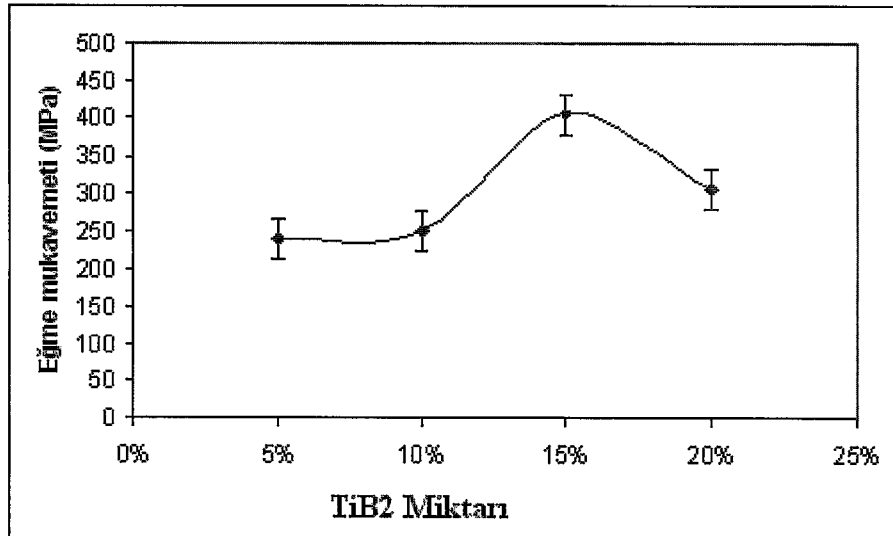
Şekil 4.6 Sıcaklığın eğme mukavemetine etkisi



Şekil 4.7 1900⁰C sıcaklıktaki TiB₂ miktarının eğme mukavemetine etkisi



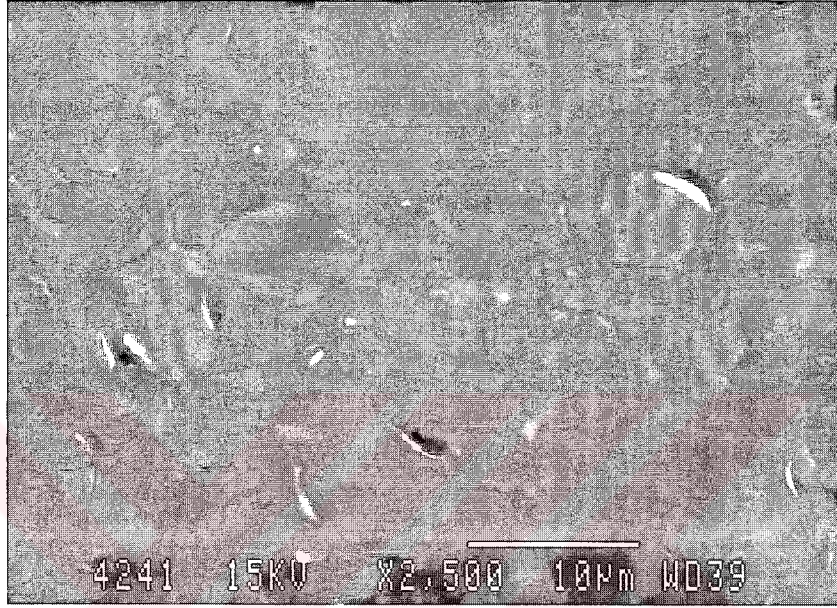
Şekil 4.8 2100⁰C sıcaklıktaki TiB₂ miktarının eğme mukavemetine etkisi



Şekil 4.9 2200⁰C sıcaklıktaki TiB₂ miktarının eğme mukavemetine etkisi

4.4. Mikroyapı Çalışmaları

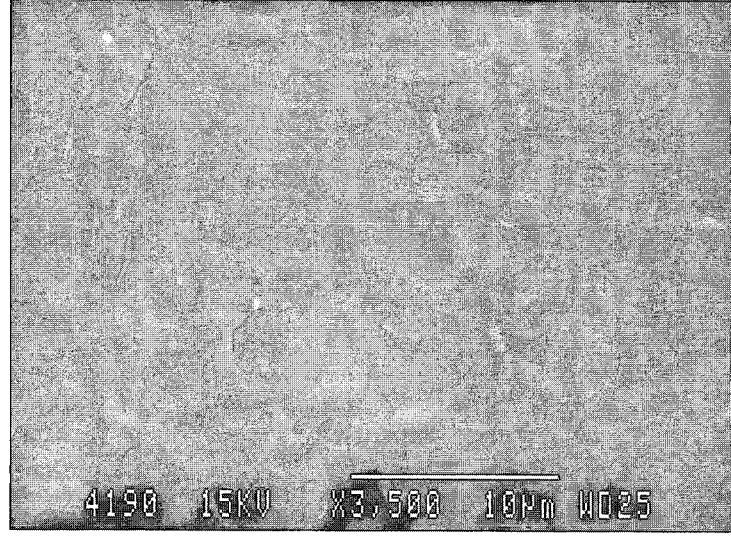
Üç farklı koşulda üretilen numunelerin parlatma işleminden sonra mikroyapılarına ait görüntüleri alınmıştır. 1900⁰C’de yapılan deney gurubundaki numunelerin yüksek porozite miktarı yüzünden düzgün görüntü elde edilememiştir. Numunelerin mikroyapılarına ait SEM fotoğrafları aşağıda gösterilmiştir.



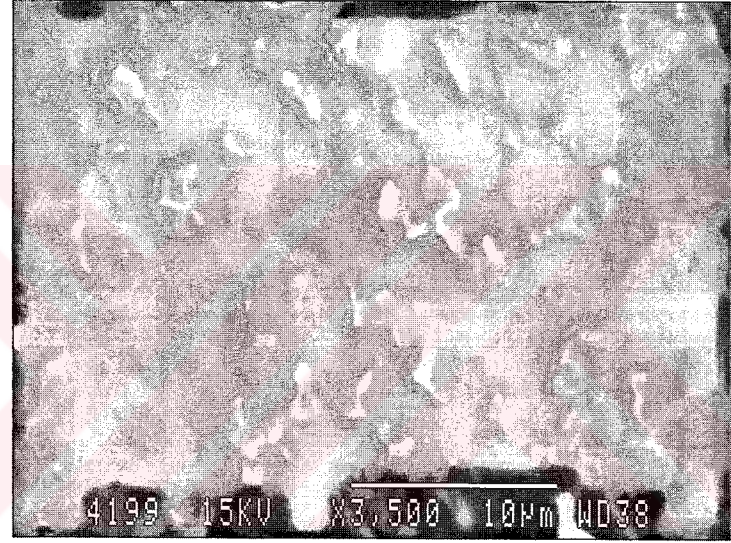
Şekil 4.10 2100⁰C’de yapılan deneyde %5 TiB₂ içeren numunenin SEM görüntüsü



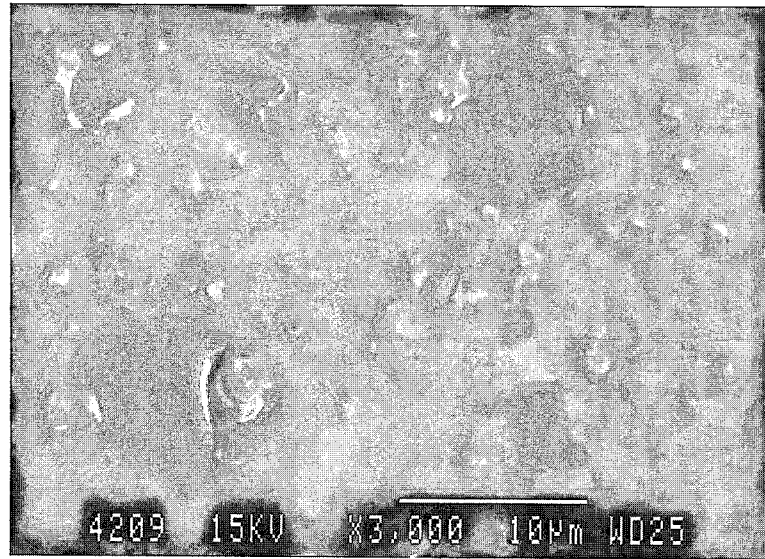
Şekil 4.11 2100⁰C’de yapılan deneyde %10 TiB₂ içeren numunenin SEM görüntüsü



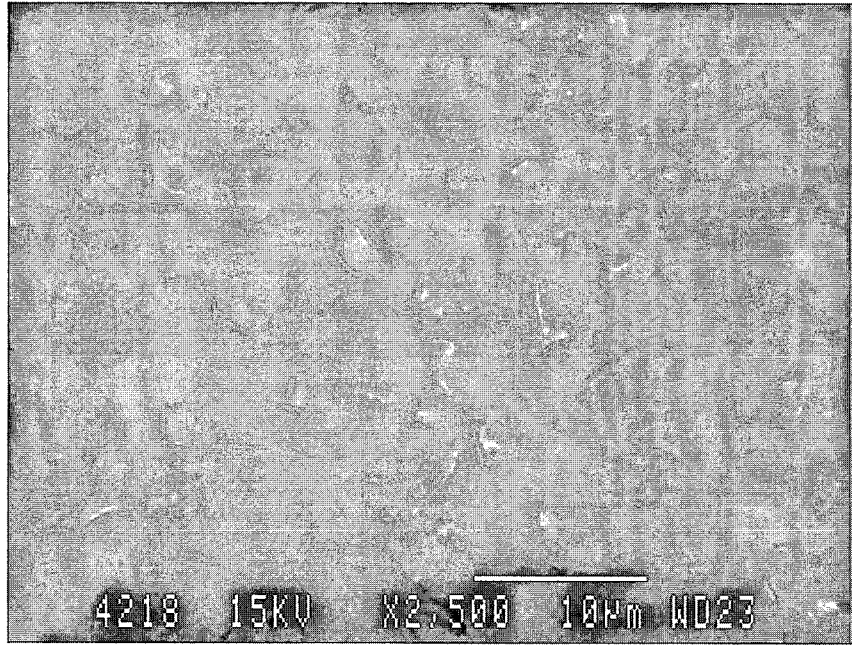
Şekil 4.12 2100⁰C’de yapılan deneyde %15 TiB₂ içeren numunenin SEM görüntüsü



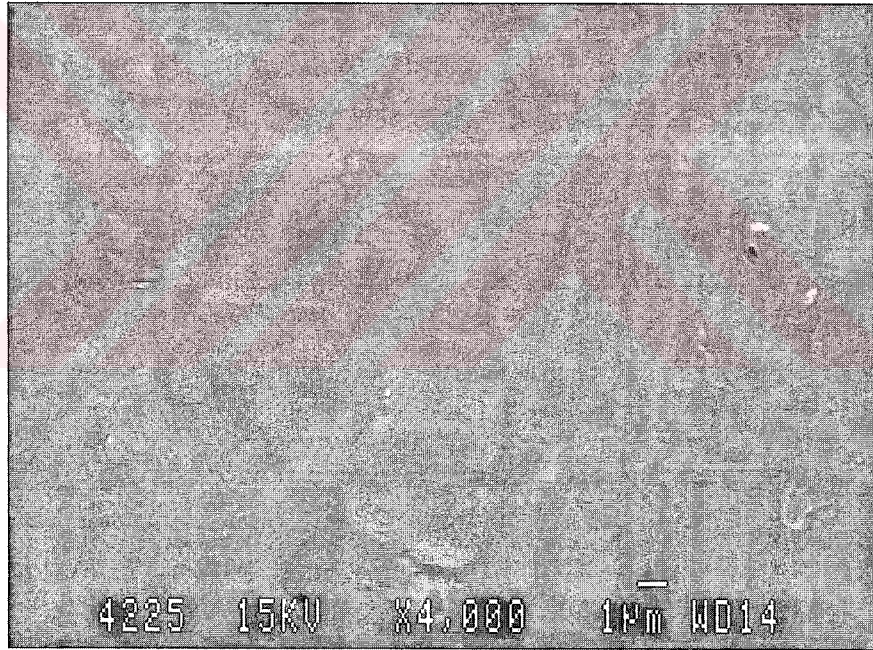
Şekil 4.13 2100⁰C’de yapılan deneyde %20 TiB₂ içeren numunenin SEM görüntüsü



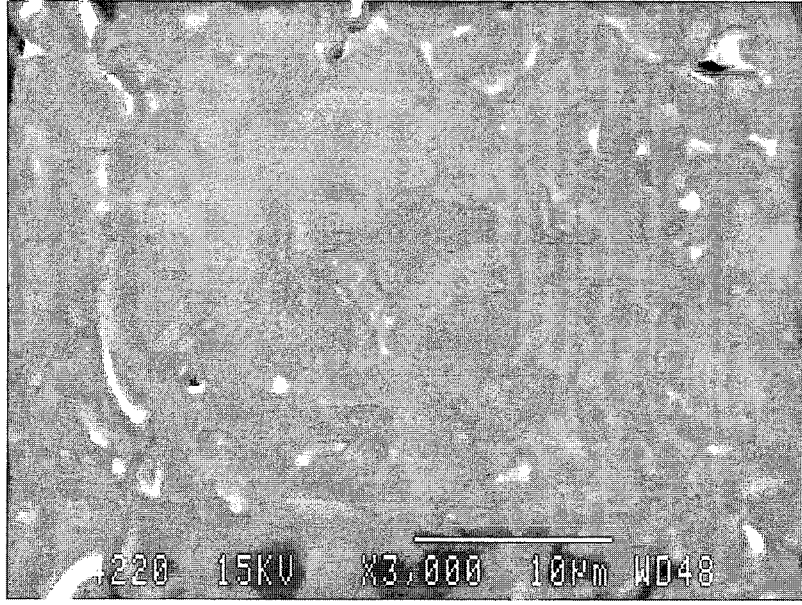
Şekil 4.14 2200⁰C’de yapılan deneyde %5 TiB₂ içeren numunenin SEM görüntüsü



Şekil 4.15 2200⁰C’de yapılan deneyde %10 TiB₂ içeren numunenin SEM görüntüsü



Şekil 4.16 2200⁰C’de yapılan deneyde %15 TiB₂ içeren numunenin SEM görüntüsü



Şekil 4.17 2200⁰C’de yapılan deneyde%20 TiB₂ içeren numunenin SEM görüntüsü

5. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

5.1. Yoğunluk Değerlerinin İrdelenmesi

Yoğunluk değerlerinde dikkat edilmesi gereken numunelerin rölatif yoğunluk değerleridir. Bir malzemedan beklenen yoğunluğunun teorik yoğunluğunun aynısı olmasıdır. Bu çalışmada yoğunluk değerlerine bakıldığında her üç sıcaklık içinde titanyum diborür miktarının artması ile rölatif yoğunluk değerinde arttığı görülmüştür. 1900⁰C 45 dakika 25 MPa şartlarında yapılan ilk deney grubunda elde edilen yoğunluk değerleri oldukça düşük bulunmuştur. Bu koşullarda titanyum diborür miktarının artması ile rölatif yoğunlukta artış görülmüş fakat bu değerler %77-80 arasında sınırlı kalmıştır. 2100⁰C 1 saat 100MPa koşullarında yapılan ikinci deney grubunda ise yoğunluk değerlerinde büyük bir artış kaydedilmiş yine artan titanyum diborür miktarı ile rölatif yoğunluklarının arttığı gözlenmiştir. Bu koşullarda elde edilen numunelerin rölatif yoğunluğu % 90,2-92,4 aralığında saptanmıştır. 2200⁰C 1 saat 100MPa koşullarında yapılan üçüncü deney grubunda ise yoğunluğun diğer numunelere göre yüksek olduğu gözlemlenmiştir. % 93,6-98 değerlerinde bir rölatif yoğunluk saptanan bu deneyde artan titanyum diborür miktarına göre yoğunluk oranındaki artış diğer numunelere nazaran daha fazla olmuştur. Yoğunluk değerleri göz önüne alındığında artan TiB₂ miktarının B₄C – TiB₂ kompozitinin sinterleme özelliğini iyileştirdiği saptanmıştır.

5.2. Sertlik Değerlerinin İrdelenmesi

Bor karbürün sertliğinin değeri 3500 civarında titanyum diborürün ise 2400 civarında olduğu bilinmektedir. Bu değerlere göre bor karbür titanyum diborür kompozitlerin sertliği bu iki değer arasında olacaktır. Bileşimdeki titanyum diborür miktarı arttıkça sertliğin düşmesi beklenmektedir. Bu değerlere bakarken malzemenin yoğunluğuna dikkat etmek gerekmektedir. Porozite arttığında sertliğin düştüğü bilinmektedir.

Yapılan deneyler sonucunda ilk deneydeki yüksek porozite yüzünden sertlik değerleri ölçülememiştir. İkinci deneyde yoğunluk oranının düşük olması nedeniyle

sertlik deęerleri beklenenden dūřık çıkmıřtır. 2100 vickers deęeri ile bařlayan sertlik titanyum diborūr miktarı arttıkcā sertlikde beklenen dūřuř gōrūlmūřtır. Őūçüncü deneyde saęlanan yūksēk yoęunluk oranları sayesinde sertlik deęerleride yūksēk çıkmıř ve beklenen deęer aralıęının iēinde yer almıřtır. Bu deneyde de titanyum diborūr miktarının artması ile sertlik deęerlerinde dūřuř gōzlenmiřtir.

5.3. Eğme Mukavemeti Değerlerinin İrdelenmesi

Yapılan deneyler sonucunda ölçūlen eęme mukavemeti deęerleri beklenildięi gibi titanyum diborūr oranının artması ile artmıřtır. Burada dikkat edilmesi gereken husus 2100⁰C ve 2200⁰C sıcaklıklarda yapılan deneyde %15 titanyum diborūr oranına kadar eęme mukavemeti yūkselirken %20 oranındaki bileřimde ise %15'e nazaran bir dūřme gōrūlmūřtır. Yapılan literatūr arařtırmalarda bu olayın dięer ęalıřmalarda'da gerēekleřtięi gōrūlmūřtır.[25] %15 oranının eęme mukavemeti bakımından en ideal bileřim olduęu anlařılmıřtır. 1900⁰C yapılan ęalıřmada ise her oranda artan bir sonuē elde edilmiřtir. Fakat bu deneyde elde edilen numunelerin yoęunluklarının dūřık olması yani porozitenin yūksēk olması nedeni ile elde edilen sonucun dięer iki sıcaklıęa gōre belirleyici bir etken olmadıęına karar verilmiřtir.

5.4. Mikroyapı ęalıřmalarının İrdelenmesi

Numunelerin mikroyapılarına ait SEM fotoęrafları ile yapılan ęalıřmalarda artan titanyum diborūr oranı ile porozitenin azaldıęı rahatēa gōrūnmūřtır. Mikroyapı fotoęraflarında titanyum diborūrūn bor karbūr iēinde homojen daęıldıęı gōzlemlenmiřtir. Daha ōnceki ęalıřmalar incelendięinde parlak fazın TiB₂ olduęu anlařılmıř ve bor karbūr fazı ile baę yaptıęı rahatlıkla gōrūlmūřtır. Eęme mukavemeti deęerinin en fazla olduęu 2200⁰C'deki %15'lik numune en az poroziteye sahip gōrūntū olarak saptanmıřtır.

5.5. Sonuēların Daha Önceki ęalıřmalar İle İrdelenmesi

Bor karbūr titanyum diborūr kompozitlerin ũretimi ile ilgili daha ōnceki ęalıřmalarda daha ōnce de bahsedildięi gibi kimyasal reaksiyon ile bu tip kompozitlerin sıcak presleme iřlemi gerēekleřtirildięinden ve bu iřlemler sırasında sinterlemeye yardımcı olduęu bilinen Karbon'un da ortamda bulunmasından, bu ęalıřmalarda yūksēk eęme

mukavemeti ve yoğunluk sonuçları elde edilmiştir. Fakat önceki çalışmalar ile bu çalışmadaki sonuçlar birbirlerine yakındır. Bor karbür titanyum diborür sıcak preslemesini B_4C ve TiB_2 hammaddeleri ile bu çalışmadaki koşullara benzer olarak K.F. Chai ve arkadaşlarının yaptığı çalışmanın sonuçları ile bu çalışmanın sonuçları karşılaştırıldığında yoğunluk sonuçları bu çalışmada daha iyi çıkmıştır.



6.GENEL SONUÇLAR

1. Bu çalışmanın amacı Alman H.C.Starck firmasından temin edilen B_4C tozlarına hacimce %5, %10, %15 ve %20 oranlarında TiB_2 ilave ederek $1900^{\circ}C$ 45 dakika 25MPa basınç altında, 2100 ve $2200^{\circ}C$ 100 MPa basınç altında 1 saat süreyle sıcak presleme yöntemiyle üretilmiş kompozitlerin yoğunluk, sertlik ve eğme mukavemetlerinin tespitidir.
2. B_4C ve sırasıyla hacimce %5, %10, %15 ve %20 TiB_2 ilaveli tozlar polietilen şişede 8 saat süreyle karıştırılarak homojenizasyon sağlanmıştır.
3. B_4C 'e hacimce %5, %10, %15 ve %20 oranlarında TiB_2 ilave edilerek, $1900^{\circ}C$, $2100^{\circ}C$ ve $2200^{\circ}C$ 'de sıcak presleme yöntemiyle elde edilen kompozitlerin yoğunlukları; her üç sıcaklık için ilave edilen TiB_2 ve artan sıcaklıkla artmıştır. $1900^{\circ}C$ 'de B_4C ilave edilen TiB_2 oranı %5'den %20'ye arttırıldığında kompozitin rölatif yoğunluğu %77'den %82,9'a yükselmiştir. Bu ifade edilen rakamlar malzemenin poroz bir yapıya sahip olmasına yol açmıştır. $2100^{\circ}C$ 'de TiB_2 oranı %5'den %20'ye arttırıldığında kompozitin rölatif yoğunluğu %90,2'den %92,4'e, $2200^{\circ}C$ 'de ise % 93,6'dan %98'e yükselmiştir.
4. Sertlik ölçümlerinde $1900^{\circ}C$ 'de üretilen kompozitlerinin yüksek porozite miktarları yüzünden bu numunelerin mikrosertlik değerlerinin ölçülmesi mümkün olmamıştır. $2100^{\circ}C$ 'de yapılan sertlik ölçümleri sonucunda TiB_2 oranının %5'den %20'ye arttırılmasıyla sertlik değeri 2060 kg/mm^2 'den 1845 kg/mm^2 'ye düşmüştür. $2200^{\circ}C$ 'de sinterlenmiş numunelerde TiB_2 oranının %5'den %20'ye arttırılması ile sertlik değeri 2870 kg/mm^2 'den 2415 kg/mm^2 'ye düşmüştür. %5, % 10, % 15 ve % 20 TiB_2 ilavesiyle elde edilen B_4C - TiB_2 kompozitlerinde her üç sıcaklık için TiB_2 miktarı arttıkça sertlik düşmüştür. Ancak aynı numunelerde sinterleme sıcaklığı arttırıldığında aynı orandaki TiB_2 ilave miktarları için daha yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir.

5. B_4C 'e %5 TiB_2 ilave edilerek yapılan deneylerde sıcaklığın $1900^{\circ}C$ 'den $2100^{\circ}C$ ve $2200^{\circ}C$ 'ye yükseltilmesiyle elde edilen numunelerde eğme mukavemeti değerleri sırasıyla 92 MPa, 140 MPa ve 250 MPa olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde %10 TiB_2 ilaveli numunelerde bu değerler az bir artışla 106 MPa, 149 MPa ve 265 Mpa olarak ölçülmüştür. %15 TiB_2 ilaveli numunelerde bu değerler $1900^{\circ}C$ için 120 MPa, $2100^{\circ}C$ için 220 MPa ve $2200^{\circ}C$ için 405 MPa olarak ölçülmüştür. Son olarak %20 TiB_2 ilaveli numunelerde eğme mukavemeti değerleri sırasıyla, 128 MPa, 215 MPa ve 305 MPa olarak belirlenmiştir.

Bu ölçülen değerler sonucunda artan sıcaklık ile eğme mukavemeti değerlerinin arttığı görülmüştür. Artan TiB_2 miktarı ile eğme mukavemeti %15'lik bileşime kadar arttığı %20'lik numunede ise bu değer %15'e göre azaldığı saptanmıştır.

6. Mikroyapı çalışmalarında artan sıcaklıkla düşen porozite gözlemlenmiştir. $2200^{\circ}C$ 'de %15 TiB_2 içeren numune mikroyapı olarak en az poroziteye sahip numune olarak saptanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Mary T. Spohn, 1994. Boron Carbide, *Minerals Review*, **6**, 113-115.
- [2] Thevenot, F. , Boron carbide – A Comprehensive review, *Journal of European Ceramic Society*, 205-225, 6-1990.
- [3] Pyzik, A. J. , and Aksay, I. A., 1987. Multipurpose boron carbide-aluminum composite and its manufacture via the control of the microstructure, *United States Patent*, No: 4702770 dated 27.10.1987.
- [4] Dieter, G. , *Mechanical Metallurgy Second Edition*, 1989 , Mc Graw-Hill Kogakusha Ltd.
- [5] Kosalopava, Y.A. , *Carbides - Properties, Production and Applications*, 1971, Plenum Press.
- [6] Lifz, L.M., Mercuri, R.A., Oxidation of boron carbide by air waater and air water mixture of elevated temperature, *Journal of Electrochemical Society* 921-925, 8-1978
- [7] Jones, B. R., Prunier, A. R. Jr, and Pyzik, A. J., 1999. Brake or clutch components having a ceramic-metal composite friction material, *United States Patent*, No: 5957251 dated 28.9.1999.
- [8] Weimer, A. W., 1997. *Carbide, Nitride and Boride Materials Synthesis and Processing*, New York.
- [9] Yeşilkaya, B. , 2003, Bor Karbür ön fizibilite raporu, ETİ holding planlama dairesi, Ankara
- [10] Kim, J. J. and McMurtry, C. H., 1985, TiB₂ powder production for engineered ceramics, *Ceramic Engineering Science Proceedings*, **6**, 1313-1320.
- [11] Weimin W. , Zhengyi F., Influence of hot pressing sintering temperature and time on microstructure and mechanical properties of TiB₂ ceramics 2001
- [12] Xu Q., Zhang X., Combustion synthesis and densification of titanium diboride–copper matrix composite. 2002
- [13] Richerson, D.W., 1992. *Modern Ceramic Engineering: Properties, Processing and Use in Design*, Second Edition, pp. 444-460.

- [14] **Douglas D.** , U.S. Missile Defense Agency to support development of nanoscale titanium diboride for advanced energy storage systems through the Small Business Innovation Research (SBIR) Program, 2002.
- [15] **Shaffer, P.T.B.**, 1991. Ceramic and Glasses, Prepared by ASM International Handbook Committee, Vol. 4, pp. 805-806.
- [16] **Geçkinli E.**, 1992. İleri Teknoloji Malzemeleri, , İTÜ Yayınları, İstanbul.
- [17] **Upadhyaya, G.S.** , 2000. Sintered Metallic and Ceramic Materials, preparation, Properties and Applications, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- [18] **German, R. M.**, 1996. Sintering Theory and practice, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- [19] **Haglund, S., Argen, J.** , 1998. Solid State sintering of cemented carbides; an experimental study, Zeitschrift fur metallkunde, 89, 5, 316-322.
- [20] **Exner, H. E.**, 1979. Principles of single phase sintering, Rev. Powder Met. Phys. Ceram., 1, 7-251
- [21] **Gusev, A. I.**, 1997. Phase Equilibria in the Ternary System Titanium-Boron-Carbon, Journal of Solid State Chemistry 133,205-210.
- [22] **Skorokhod, V., Krstic, V.D.**, 2000. High Strength-High Toughness B_4C - TiB_2 Composites, Journal of Materials Science Letters 19, 237-239.
- [23] **Suzuya Y., Kiyoshi H.**, 2003. High strength B_4C - TiB_2 composites fabricated by reaction hot-pressing, Journal of European Ceramic Society, 23,1123-1130.
- [24] **Cai K.F. , Nan C.W., Schmuecker M.**, 2003. Microstructure of hot-pressed B_4C - TiB_2 thermoelectric composites, Journal of Alloys and Compounds, 350, 313-318.
- [25] **Skorokhod, V., Krstic, V.D.**, 2000. Processing, Microstructure, and mechanical properties of B_4C - TiB_2 Particulate sintered composites, pressureless sintering, microstructure evolution, fracture and mechanical properties. Powder Metallurgy and Metal Ceramics 39, 422-442.
- [26] **ASTM E 399-90**, 1997. Standart Test Method for Plane-Strain Fracture Toughness Of Metallic Materials

EKLER

Ek A1 Deney Sonuçları

Deney Koşulları	Bileşim % (vol.)	Yoğunluk (g/cm ³)	Teorik yoğunluk (g/cm ³)	Relatif yoğunluk %	Sertlik (kg/mm ²)	Eğme mukavemeti (MPa)
1900 ⁰ C 45 dakika 25 MPa	%5 TiB ₂	1,986 ± 0,061	2,577	77	-	92 ± 5,5
	%10 TiB ₂	2,1 ± 0,03	2,636	79,6	-	106 ± 9,24
	%15 TiB ₂	2,158 ± 0,04	2,698	80	-	120 ± 10,08
	%20 TiB ₂	2,31 ± 0,01	2,765	82,9	-	128 ± 11,9
2100 ⁰ C 1 saat 100 MPa	%5 TiB ₂	2,324 ± 0,014	2,577	90,2	2060 ± 133,15	140 ± 12,8
	%10 TiB ₂	2,389 ± 0,007	2,636	90,9	1995 ± 171,2	149 ± 19,3
	%15 TiB ₂	2,462 ± 0,007	2,698	91,4	1980 ± 139,59	220 ± 25,5
	%20 TiB ₂	2,5535 ± 0,027	2,765	92,4	1845 ± 119,8	215 ± 21,31
2200 ⁰ C 1 saat 100 MPa	%5 TiB ₂	2,401 ± 0,013	2,577	93,6	2870 ± 202,5	250 ± 6,55
	%10 TiB ₂	2,543 ± 0,049	2,636	96,6	2772 ± 227,12	265 ± 36,3
	%15 TiB ₂	2,629 ± 0,031	2,698	97,52	2660 ± 149,6	405 ± 37,2
	%20 TiB ₂	2,698 ± 0,045	2,765	98	2415 ± 170,5	305 ± 28,6

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında İstanbul’da doğdu. 1990 yılında Bostancı 23 Nisan İlkokulu’ndan, 1997 yılında Özel Doğuş Lisesi’nden mezun oldu. Aynı sene girdiği, İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü’nden 2002 yılında mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Programı’nda yüksek lisans eğitimine başladı.

