

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SERAMİK ZİRH PLAKASI ÜRETİMİ

Şeref K. TELLİOĞLU

DANIŞMAN
Prof. Dr. Ö. Faruk EMRULLAHOĞLU

MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AĞUSTOS 2007

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
RESİMLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
2.1 Bor Karbürün Özellikleri	2
2.2 Bor Karbür Üretim Teknikleri	6
2.3 Bor Karbür Kullanım Alanları	8
2.3.1 Sertliğe Dayalı Kullanım Alanları	8
2.3.2 Kimyasal Olarak Kullanımı	9
2.3.3 Elektriksel Uygulamaları-Bor Karbür/Grafit Termocouple'ı	9
2.3.4. Nükleer Uygulamaları	9
2.4 Bor Karbürün Şekillendirme Prosesleri	9
2.4.1. Bor Karbürün Sıcakta Preslenmesi	11
2.4.1.1. Stoikiometrik B _{4,0} C'ün (at. %20 C) Sıcak preslenmesi	11
2.4.1.2. Bor Açısından Zengin Karbürün Sıcak Preslenmesi	12
2.4.1.3. Katkı Maddeleriyle HP-Sıcak Presleme	13
2.4.1.4. Bor Karbürün Sıcak İzostatik Preslenmesi	13
2.4.2. Bor Karbürün Mikrodalga ile Sinterlenmesi	14
2.4.3. Bor Karbürün Basınç Uygulanmadan Sinterlenmesi	14
2.5 Seramik Zırh plakaları	15
2.5.1. Seramik Zırh Plakalarının Geçmişi ve Savunma Amaçlı Uygulamaları	15
2.5.2. Zırh Plaka Çeşitleri	20
2.5.3. Zırh Plakalarına Uygulanan Balistik Testler	25

2.6	Darbe ve Balistik	26
2.6.1.	Balistik Koruma	26
2.6.1.1.	İç Balistik	27
2.6.1.2.	Dış Balistik	28
2.6.1.3.	Hedef Balistiği	28
2.6.1.4.	Mermiler	28
2.6.1.5.	Zırhlı Hedefin Delinmesi	31
3.	MATERYAL VE METOD	32
3.1	Deney Programı	32
3.2	İş Akış Şemaları	33
3.2.1	Sıcak Presle Üretim İş Akış Şeması (BM Bor Teknolojileri)	33
3.2.2	Enjeksiyonla Kalıplama İş Akış Şeması (AKÜ’de yapılmıştır)	34
3.2.3	Slip Dökümle Üretim İş Akış Şeması (AKÜ’de yapılmıştır)	35
3.3	Deneylerde Kullanılan Hammaddeler	36
3.3.1.	Bor Karbür	36
3.3.2.	Wax (Parafin)	41
3.4	Şekillendirme	41
3.4.1.	Dökümle Şekillendirme	41
3.4.1.1.	Bor Karbürün pH-Zetapotansiyel İlişkisinin Belirlenmesi	42
3.4.1.2.	Döküm Çamurunun Hazırlanması	42
3.4.1.3.	Döküm İşleminin Yapılması	43
3.4.2.	Enjeksiyon Kalıplama	43
3.4.2.1.	Karışım Hazırlama	43
3.4.2.2.	Şekillendirme	44
3.4.2.3.	Wax Uzaklaştırma	44
3.5	Sinterleme ve Karakterizasyon Çalışmaları	45
3.5.1.	Enjeksiyonla Kalıplanan Parçaların Sinterlenmesi	47
3.5.2.	Slip Dökülen Parçaların Sinterlenmesi	48
3.5.3	Sinterlenen Parçaların Yoğunluk ve Sertlik Ölçümleri	48
3.5.4.	Balistik Test	50

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	52
5. KAYNAKLAR	54
EK 1. ÖZGEÇMİŞ	56

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Seramik Zırh Plakası Üretimi

Şeref K. Telliöğlu

Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ö. Faruk Emullahoğlu

Balistik koruyucu özellikli seramik plakalar savunma sanayiinde kullanılan diğer seramik dışı balistik koruyucu malzemelere göre daha üstün özelliklere sahip olduğundan son yıllarda önem kazanmıştır. Bu malzemeler içerisinde bor karbür (B_4C) olduğu hafif ve çok sert bir malzeme olması nedeniyle dikkat çekicidir. Uygulamada hiçbir malzeme tam anlamıyla tüm kurşun türlerini durduramayacağından, temel amaç, yüksek balistik koruyucu özelliklere sahip, insan kullanımına uygun malzemeler kullanmak olmalıdır.

Bor karbürden seramik zırh plakası üretebilmek amacıyla bu çalışmada üretim şekli olarak enjeksiyonla kalıplama ve slip döküm yöntemleri seçilmiştir. Enjeksiyonla kalıplama yönteminde bor karbür tozu wax ile belli oranda karıştırılmış, kalıplara enjekte edilmiş ve wax giderme işlemi yapılmıştır. Slip döküm yönteminde ise bor karbürden çamur elde edilerek alçı kalıplara dökülmüş ve ham parçalar elde edilmiştir. Her iki yöntemle elde edilen parçalar daha sonra sıcak preste sinterleme işlemine tabi tutulmuş ve atış poligonunda mermi atışıyla balistik koruyucu özellikleri incelenmiştir.

2007, 56 sayfa

Anahtar kelimeler: Zırh, Bor Karbür, Balistik, Enjeksiyon Kalıplama, Slip Döküm.

ABSTRACT

Master of Science Thesis

Production of Ceramic Armor Plates

Şeref K. Telliöğlu

Afyonkarahisar Kocatepe University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Material Science and Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ö. Faruk Emrulloğlu

Ceramic armor plates having ballistic protective properties have gained importance in recent years comparing with other non-ceramic ballistic protective materials used in defence industry. Among these materials, boron carbide (B_4C) calls more attention, since it is a light and rather hard material. In practice, since none of the materials can stop all bullet types, basic aim should be using suitable materials having superior properties and convenient to human usage.

In this study, in order to produce ceramic armor plates from boron carbide, injection molding and slip casting methods were chosen. In injection molding method, boron carbide was mixed with certain amount of wax, injected into molds and dewaxing process was applied. In slip casting method, a mud mixture from boron carbide was obtained which was cast into plaster molds resulting with green plates. These Green plates obtained by either methods were sintered with hot press and their ballistic properties were investigated by bullet shot at charpy harms.

2007, 56 pages.

Keywords: Armor, Boron Carbide, Ballistic, Injection Molding, Slip Casting.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konusunu öneren ve tezimin hazırlanmasında, tüm aşamalarda destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. Ömer Faruk EMRULLAHOĞLU'na, deneyler sırasında emeği geçen Sayın Arş.Gör.Betül ABİ'ye ve Büyük Mihçı Bor Teknolojileri firması yetkililerine teşekkürlerimi sunarım.

Şeref K. TELLİOĞLU
AFYONKARAHİSAR, Ağustos 2007

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

1. Simgeler

T_{cer}	Seramik plakanın kalınlığı
T_{met}	Metal plakanın kalınlığı
D	Mermi çapı
E	Merminin kinetik enerjisi
A	Merminin kesit alanı
Q	Sabit ampirik sayı
V	Merminin hedefe vuruş hızı
d	Delme mesafesi

2. Kısaltmalar

LAT	Lateral (Yatay)
SAW	Testere diş
AP	Armor projectile (Zırh mermisi)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil		Sayfa No
2.1.	İleri teknoloji seramiklerinde sertlik değerlerinin birbirleri ve diğer malzemelerle karşılaştırması	2
2.2	Bor karbürün özgül ısı, termal iletkenlik ve lineer termal genişleme grafikleri	4
2.3	Bor karbürün kafes yapısı	6
2.4	İki ayrı karışımın bağıl yoğunluğa karşılık sıcak presleme sıcaklıklarının karşılaştırılması	13
2.5	Bir merminin seramik zırh plakaya çarpması	17
2.6	İkili seramik plaka ve destek plakası zırh sistemi	22
2.7	Kenar optimizasyon değerlendirmesinde kullanılan konfigürasyonlar	22
3.1	Sıcak presle B ₄ C plakaları üretim yöntemi akış şeması	33
3.2	Enjeksiyonlu kalıplama yöntemiyle B ₄ C plakaları üretim akış şeması	34
3.3	Slip döküm yöntemiyle B ₄ C plakaları üretim akış şeması	35
3.4	Deneyleerde kullanılan bor karbür tozunun XRD paternleri	39
3.5	Deneyleerde kullanılan bor karbür tozunun XRD paternleri	40
3.6	Grafit kalıp taslak çizimi	46
3.7	Sıcak pres taslak çizimi	46

RESİMLER DİZİNİ

Resim		Sayfa No
2.1	Sıcak preslenmiş bor karbürün mikroyapısı: (a) monodispers tozdan (x300) (b) polidispers tozdan imal	10
2.2	Seramik (B ₄ C) ve alüminyum katmanlı bir zırh sistemi	21
2.3	Mermi çeşitleri	30
3.1	Enjeksiyon kalıplama deneylerinde kullanılan parafin	41
3.2	Deneylerde kullanılan bor karbür tozunun pH-çökelti yüksekliği değişimi	42
3.3	Slip döküm kalıpları	43
3.4	Enjeksiyonla kalıplanan parçaların fırından çıkarılması	44
3.5	HP-Sıcak press (BM Bor Teknolojileri)	45
3.6	Enjeksiyonla kalıplanan parçaların sıcak preste sinterleme sonrası görünümü	47
3.7	Slip dökümle kalıplanan parçaların sıcak preste sinterleme sonrası görünümü	50
3.8	Balistik test uygulama sonucu	51
3.9	7,62 kalibre AP mermi	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelgeler		Sayfa No.
2.1	Çeşitli seramik malzemelerin porlardan arındırılmış özgül ağırlıkları	3
2.2	Bor karbürün mekanik özellik değerleri	5
3.1	Deneyleerde kullanılan bor karbür tozunun tane boyut analizi	37
3.2	Deneyleerde kullanılan bor karbür tozunun tane boyut analizi	38
3.3	Sıcak preste üretim, enjeksiyonla kalıplama ve slip dökülen parça üretimi ile ilgili porozite, yoğunluk, su emme ve sertlik değerleri	48-49

1.GİRİŞ

İnsan vücudunu silahların etkisinden koruma isteği, insanlığın var oluşu kadar eskidir. Eski Roma devrinde savaşçılar bu amaçla kalın deri ve metal kaplı zırhlar giyerlerdi. Ancak savaşçıyı ata bindirmek için de vinç kullanıyorlardı.

Günümüzde zırh, muharebe araçları için vazgeçilmez bir unsur olmakla beraber, kara, hava ve deniz kuvvetlerinde görev yapan çeşitli savaş araçlarında geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Zırh teknolojisindeki gelişmeler, silah teknolojisindeki gelişmelere paralellik gösterip özellikle son yıllarda başta malzeme teknolojisindeki ilerlemeler ve simülasyon programlarındaki gelişmeler ile önemli bir ivme kazanmıştır. (Çalık 2004)

Balistik koruma özelliği taşıyan seramikler yüksek performans göstermeleri nedeniyle modern silahların ve savunma sistemlerinin bütünleşmiş bir parçasıdır. Elektronik ve optik seramikler füze güdüm sistemlerinde, hava taşıtlarında ve askeri kara taşıtlarında kullanılmaktadır. Çoğu askeri radar iletişim sistemleri seramik malzeme kullanmaktadır. Örneğin Patriot Füze Sistemlerindeki radarda seramik komponentler sensör olarak, Bosna üzerinde uçan NATO'ya ait C-130 tipi nakliye uçağı ise kokpit seramik zırhı olarak Kevlar/cam kullanmıştır. Yüksek performanslı hafif türdeki seramikler ise, Apache helikopterleri gibi çoğu modern askeri saldırı helikopterlerinde koruyucu zırh olarak kullanılmaktadır.

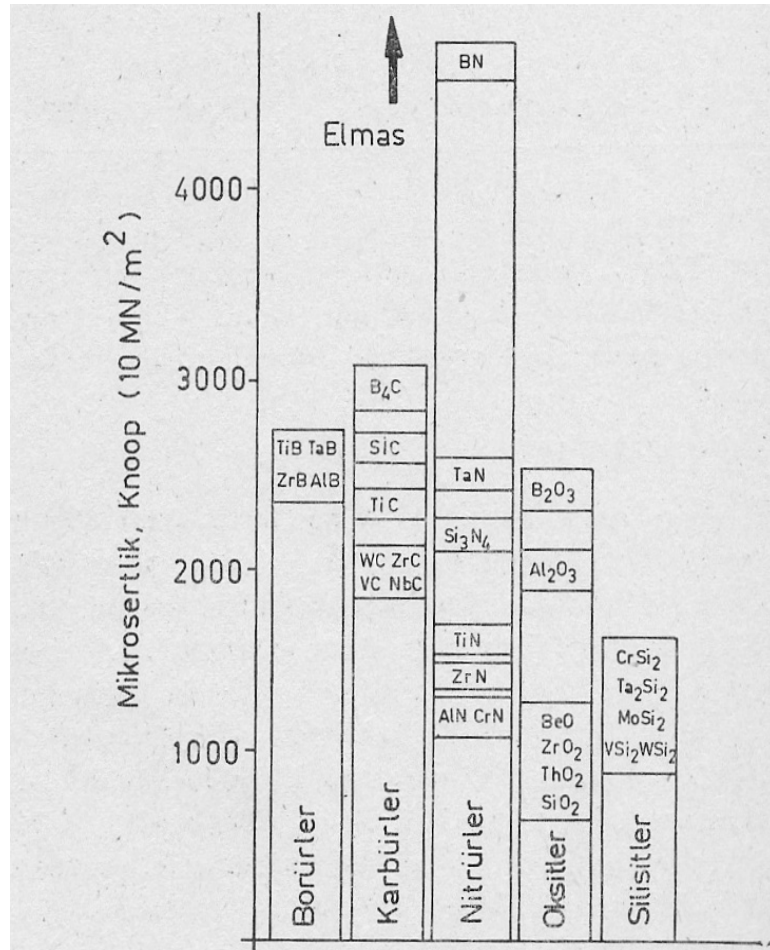
C-C (Seramik-Seramik) uygulamaları arasında füzeler ve askeri uçaklar için komponentler yer almaktadır. Önemli sayılabilecek uygulamalar arasında stratejik füzelere giriş gövdeleri, roket nozulları ve çıkış konileri, askeri ve ticari hava taşıtlarına fren diskleri yer almaktadır. C-C kompozitlerinin avantajları yüksek kullanım dayancısı, yüksek sıcaklık dayancısı, yüksek tokluk, üstün termal şok, kesip çıkarılabilme ve yüksek hız sürtünme özellikleri şeklinde sıralanabilir. (Bengisu 2001)

Yüksek performanslı seramiklerden birisi olan bor karbürün dayanım/ağırlık katsayısının yüksek olması, özellikle zırh ve uzay-havacılık amaçlı uygulamalarda malzemeyi çekici kılması nedeniyle, seramik zırh plakası üretimiyle ilgili bu çalışmada malzeme olarak bor karbür seçilmiştir. Bor karbürden hem enjeksiyonla kalıplama, hem de slip dökümle numune plakalar üretilmiş ve sinterlemeye tabi tutularak ne derece balistik koruyucu özellik sağlayabildikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Bor Karbürün Özellikleri

Çok kuvvetli kovalent bağ oluşturan ve molekül yapısı B_4C olarak bilinen bor karbür, yüksek ergime sıcaklığına ($2450\text{ }^\circ\text{C}$), düşük yoğunluğa ($2,52\text{gr/cm}^3$), teorik bor içeriği %78,3 olan, doğada elmas ve kübik bor nitrürden (c-BN) sonra bilinen en sert üçüncü ve kütle halinde üretilen malzemeler içinde ise en sertidir. Bu özellikleriyle bor karbür günümüzde ileri teknolojinin önemli bir malzemesidir. (Geçkinli 1992)



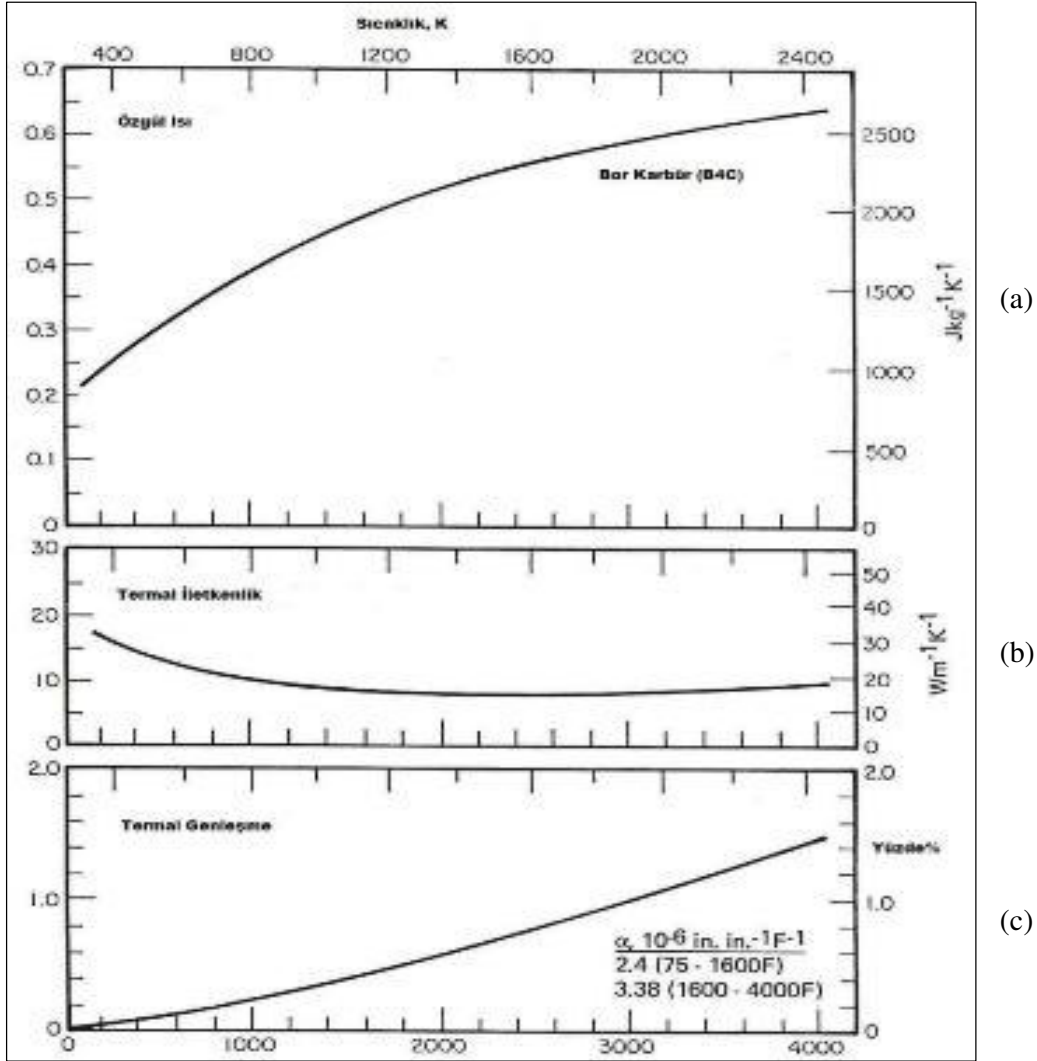
Şekil 2.1: İleri teknoloji seramiklerinde sertlik değerlerinin birbirleri ve diğer malzemelerle karşılaştırması.(Geçkinli 1992)

Genelde seramik malzemelerin metal malzemelere göre özgül ağırlıkları daha düşüktür. En önemli seramiklerin özgül ağırlıkları 2.5 ile 4 g/cm³ arasında değişmektedir. Katkılara bağlı olarak sadece zirkonyanın özgül ağırlığı 6.1 g/cm³'tür. Buna karşılık bor karbürün özgül ağırlığı diğer seramiklere göre çok daha düşüktür. Aşağıdaki çizelge çeşitli seramiklerin özgül ağırlıklarını porlardan arındırılmış halleriyle vermektedir. (Munz and Fett 1999)

Çizelge 2.1: Çeşitli seramik malzemelerin porlardan arındırılmış özgül ağırlıkları

Malzeme	Özgül ağırlık (g/cm ³)	Malzeme	Özgül ağırlık (g/cm ³)
B ₄ C	2.52	Al ₂ O ₃	3.99
SiO ₂	2.65	Y ₂ O ₃	4.50
BeO	3.01	TiB ₂	4.52
Cam-seramik	2.3-3.1	TiC	4.93
SiC	3.21	TiN	5.29
Si ₃ N ₄	3.21	ZrO ₂	5.7-6.1
AlN	3.26	ZrB ₂	6.10
BN-c (kübik)	3.48	ZrC	6.8
MgO	3.58	WC	15.7

Bor karbürün refrakter özellikleri de mevcuttur, malzemeye uygulanan sıcaklık arttıkça termal iletkenlik değerlerinde fazla değişme görülmemektedir. (Şekil 2.2.b) (Columbus Laboratories 1979)



Şekil 2.2: Bor karbürün özgül ısı, termal iletkenlik ve lineer termal genleşme grafikleri.

(Columbus Laboratories 1979) (a) B₄C- bor karbürün özgül ısı kapasitesine karşılık sıcaklık

grafiği (b) B₄C-bor karbürün termal iletkenlik değerlerine karşılık sıcaklık grafiği

(c) B₄C-bor karbürün lineer termal genleşme değerlerine karşılık sıcaklık grafiği

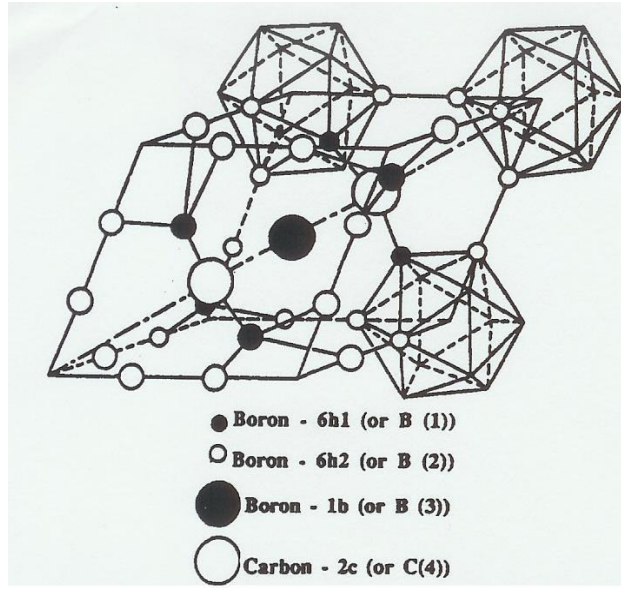
Bor karbürün mekanik özellikleri (Çizelge 2.2) ise şu şekilde özetlenebilir: (Columbus Laboratories 1979)

Çizelge 2.2: Bor karbürün mekanik özellik değerleri

Özellik	Sıcaklık (°K)	Özellik Değerleri
Bükme dayanıcı	298	323-346 ($\times 10^6 \text{ Nm}^{-2}$)
	1144	242-243
	1366	205-238
	1589	192-205
	1700	199
Basma dayanıcı	297	$2752 \times 10^6 \text{ Nm}^{-2}$
Darbe dayanıcı	298	Çentikli: 0.003-0.0028J Çentiksiz: 0.26-0.31J
Young modülü	298	$362-400 (\times 10^9 \text{ Nm}^{-2})$
	672	322-384
	1072	277-356
	1472	228-265
Kesme modülü	298	$165-206 \times 10^9 \text{ Nm}^{-2}$
Poisson oranı	298	0.19
Mikrosertlik	298	2800 kg mm^{-2}
(Vickers 100g. Yükte)	298	3200 kg mm^{-2} (sıcak preslenmiş, %99,9 saflıkta)

Bor karbür rombohedral kristal yapısına sahiptir ve bu durum uzun zamandan bu yana bilinmektedir. Rombohedral birim hücre kristal yapısı B_{12}C_3 şeklinde 15 atoma sahiptir. (Şekil 2.3) Atomik yüzde olarak karbon oranı %20'yi geçmemekle beraber bor karbür, karbon konsantrasyonu %8,8-20 arasında olan tek faz halinde bulunur. IR absorpsiyon spektroskopisini kullanarak Thevenot (1990), C-B-C zincirlerinin B_4C ve $\text{B}_{5,52}\text{C}$ bileşikleri şeklinde oluştuğunu belirtmiştir.

Bor karbürler birbiriyle doğrudan kovalent bağlı onikili ikosahedral atom kümeleri ve üç atomlu ikosahedraller arası zincirler şeklinde görülür. Yukarıda bahsedilen karbon konsantrasyonu aralığı, ikosahedra ve ikosahedral zincirler arasında karbon ve bor atomlarının birbiriyle yer değiştirmesi sayesinde olmaktadır. (Thevenot 1990)

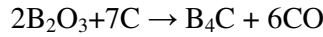


Şekil 2.3: Bor karbürün kafes yapısı

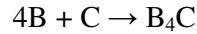
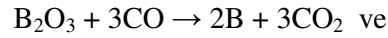
2.2 Bor Karbür Üretim Teknikleri

Bor karbür üretimini endüstriyel ve laboratuvar bazlı olmak üzere iki farklı gruba toplamak mümkündür:

a) Bor karbür tozlarının endüstriyel üretimi;



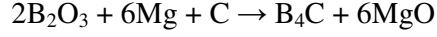
şeklinde. Bu reaksiyon, şiddetli endotermik ($H=1812$ kJ/mol veya 9,1 kWsaat/kg) olup iki aşamada gerçekleşmektedir;



Bor karbür üretimi için ($B_2O_3 + C$) karışımı briketler elektrik ark fırınına yerleştirilir. Fırının orta bölgesi 2200-2500°C sıcaklığa ulaşır ve yaklaşık olarak B_4C bileşiği bu bölgede oluşur. Bu karışım %2 kadar serbest grafit içerir. Elde edilen ergimiş bor karbür daha sonra kırılır ve istenilen boyuta öğütülür. Öğütme esnasında meydana gelen toz ise asit liçi ile önlenmektedir. Fırının diğer bölgeleri daha düşük sıcaklıkta (1200-2200°C) olup reaksiyona girmemiş ürünleri içermektedir. Bunlar fırına tekrar beslenir.

Bu proseste, koruyucu atmosfer altında, 1700-1800°C de grafit tüp fırın da kullanılabilir. Bu proses sonunda, 0,5-5 µm boyutunda stokiometrik bor karbür elde etmek mümkündür.

Borik asidin karbon siyahı ve Mg ile muamelesinde;



reaksiyonu çok şiddetlidir. Magnesiotermik redükleme, grafit tüp fırınında, hidrojen atmosferinde gerçekleşir. Fırının sıcaklığı 1000-1200°C olabilir. Reaksiyon esnasında yan ürün olarak oluşan magnezya ve MgB ile reaksiyona girmemiş Mg metalini gidermek için nihai ürün, asit liçi ile muamele edilir. Bunun için ilk önce, HCl asit ile magnezyum oksit yapıdan uzaklaştırılır ve daha sonra kaynamış HF ve nitrik asit uygulanır. Bunu, sıcak su ile yıkama takip eder. İşlem sonunda, 0,1-5 µm boyutunda stokiometrik bor karbür tozu doğrudan elde edildiğinden müteakip öğütme işlemi ortadan kalkmaktadır. Bu proseste, tamamen grafitsiz ürün elde etmek mümkündür.

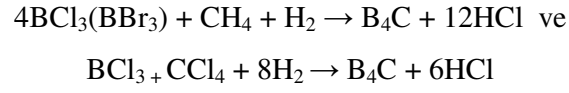
Elde edilen tozun vakumda (10 mbar, 1600°C de 2 saat) ısıl işlemi sonunda serbest karbon, azot ve magnezyum giderilir. Diğer taraftan 1600°C de 1 saat ısıl işlemi sonunda özgül yüzey alanı 21 m²/g dan 5 m²/g'a düşer. Nihai toz ürün, sürtünme ile öğütülür. Bu esnada meydana gelen demir kirlenmesi HCl liçi ile önlenir. Bu proseste karbona parçalanabilen, çözünebilen karbohidrat, karbon siyahı ile birlikte kullanılabilir.

b) Bor karbürün laboratuarda üretilmesi;

Bor karbür, laboratuarda toz, ince film ve fiber şeklinde üretilmektedir.

(BCl₃ + CH₄ + H₂) karışımında hidrojen-argon plazması kullanılarak 20-30 nm boyutta küresel şekilli bor karbür tozlarının geniş bir stokiometrik aralıkta (B/C: 15.8-3.9) üretilmesi mümkündür. 34 nm boyutlu süper ince tozlar, aynı gaz karışımının CO-lazerle pirolizi ile de elde edilebilmektedir.

CVD (Chemical Vapor Deposition - Kimyasal Buhar Biriktirme) yöntemi ile, farklı tabanlar üzerine, 1000°C-1800°C sıcaklıklarda, aşağıdaki reaksiyonlara göre,



ince film halinde bor karbür üretilmesi mümkündür.

Bor karbür fiberler, genellikle karbon fiberler üzerine CVD yöntemi ile bor'la kaplanarak elde edilmektedir. (Geçkinli 1992, Thevenot 1990)

2.3 Bor Karbürün Kullanım Alanları

Bor karbürün birçok kullanım alanı mevcuttur, bunlar:

2.3.1 Sertliğe Dayalı Kullanım Alanları

Bor karbür esas olarak endüstride aşındırıcı grit ve toz olarak kullanılmaktadır. Partikül büyüklüğü 1 µm'dan 10 mm.'ye kadar değişmekte olup çeşitli sement karbürlerin, teknik seramiklerin vs. parlatma, traşlama ve aşındırma ortamlarında kullanılır.

Bor karbürün diğer önemli bir kullanım alanı, aşınmaya dayanıklı makine parçalarının yani aşınmaya dirençli sıcak presleme sonrası sinterlenmiş parçalardan oluşan komponentlerin üretimidir. Bor karbürden imal kum püskürtme nozulları silisyum karbür veya korund gritlerine göre bile minimum aşınmayla karakterize edilir.

HIP (Hot Isostatic Press-Sıcak İzostatik Press) öncesi sinterlenmiş komponentler en iyi aşınma direncine sahiptir. Bor karbürden imal seramik nozullar su jetiyle kesme işleminde kullanılır.

Hafif zırhlı plakalar ise helikopterlerin veya göğüs sırt plakaları halinde personelin mermiden korunmasında kullanılmaktadır.

2.3.2 Kimyasal Olarak Kullanımı

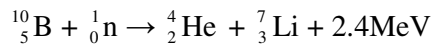
Bor karbür tozları florürle aktive edilerek çelik yüzeylerinde bor difüze etmede kullanılır. Böylece 10-200 µm kalınlığında Fe₂B elde edilir ve bu katman çok serttir (24GPaVickers Sertliği 1N) ve aşınmaya dayanıklıdır. Belirli bazı durumlarda kırılğan özellikteki iki fazlı demir borit (FeB-Fe₂B) katmanı da uygundur, burada amaç Fe₂B'i tek faz halinde üretebilmektir. (Thevenot 1990)

2.3.3 Elektriksel Uygulamaları-Bor Karbür/Grafit Termocouple'ı

Termocouple, grafit tüpten, B₄C çubuktan ve aralarında BN gömlekten oluşur. Asal gaz veya vakumlu atmosferde 2200°C gibi sıcaklıklarda kullanılır; burada 600-2200°C'de voltaj ve sıcaklık arasında bir doğrusal ilişki mevcuttur. (Thevenot 1990)

2.3.4 Nükleer Uygulamaları

Üretilen nükleer gücün büyük bir kısmı (%95) şu anda iki tür malzeme tarafından kontrol edilen reaktörlere dayanmaktadır: bor karbür veya bir üçlü alaşım olan Ag-In-Cd. Bir nötron tutucu olan bor karbür bu tür uygulamada içinde yüksek oranda bor içermesi, kimyasal olarak asallık ve yüksek refrakterlik göstermesi nedeniyle tercih edilmektedir. Bor karbürün nötron tutucu özellik göstermesi ¹⁰B izotopuna bağlıdır ve şu reaksiyona göre davranış gösterir:



¹⁰B izotopu bir nötron tutucu olarak hızlı nötronlara karşı en iyi davranış gösteren malzeme olarak bilinmektedir., Kullanılan diğer malzemelerin kesitleri yüksek nötron enerjisi değerlerinde çok ince kalmaktayken B¹⁰ malzemesinin kesiti monoton bir şekilde azalmaktadır. (Thevenot 1990, Roy and Subramanian 2006)

2.4. Bor Karbürün Şekillendirme Prosesleri

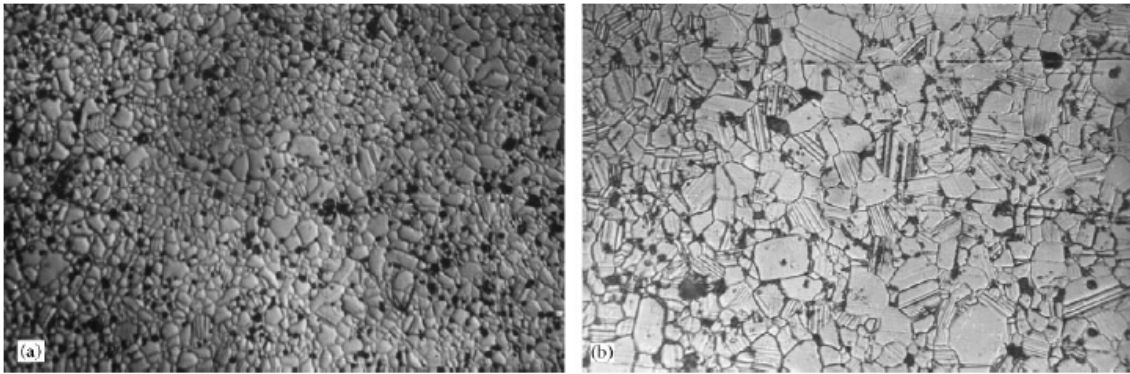
Bor karbürün sinterlenmesi çok güçlü kovalent bağlara sahip olmasından dolayı güç bir

prosestir. Ayrıca bu malzeme düşük difüzyon mobilitesine de sahiptir. Bu malzemenin, bordan ve diğer bileşiklerinden pelet oluşturulması ve sinterlenmesi birçok sempozyumun ilgi odağı haline gelmiştir.

Sinterleme hızının, nihai yoğunluk ve sinterlenen katıların yapılarının, partikül boyut dağılımına ve partikül morfolojisine bağlı olduğu bilinmektedir. İyi sinterlenmiş bir mamul için belli ölçü aralığında partikül yerine, küçüklü büyüklü, yani değişik ölçülerde partikül seçmek, küçük partiküllerin porların yerini doldurabilmesi nedeniyle her zaman daha iyi sonuç verecektir. Benzer şekilde çok eksenli yerine eş eksenli partikül seçmek, sinterleme esnasında porların daha az ortaya çıkmasını sağlayacağından daha iyi sonuç verecektir. (Kalandadze v.d. 2000, Messing 1996))

Resim 2.1 sıcak preslenmiş bor karbürün monodispers ve polidispers tozdan imal edilmiş homojen olan ve olmayan tane büyüklüğünü göstermektedir. Deney sonuçlarına göre, monodispers tozdan imal edilmiş parçaların daha yüksek yoğunluğa sahip oldukları görülmüştür. Bu durum sinterleme açısından çok önemlidir.

Ayrıca monodispers tozdan elde edilen peletlerin sinterleme işlemleri daha düşük sıcaklıkta gerçekleşmektedir. Yüksek sıcaklık ikiz oluşumuna ve tane büyümesine bağlı olarak tane boyutunda homojensizliğe yol açmaktadır. (Kalandadze v.d. 2000)



Resim 2.1: Sıcak preslenmiş bor karbürün mikroyapısı: (a) monodispers tozdan (x300)
(b) polidispers tozdan imal (x300) (Kalandadze v.d. 1990)

Enerji açısından sinterleme, malzemenin toplam yüzey alanını azaltır, yani sistemin ΔG değerini düşürür. Sinterlenmiş ürünlerde iki çeşit arayüz bulunur:

- (i) BET yüzey alanı ile ölçülen katı-gazdan arınmış yüzeyler ve
- (ii) Katı-katı arayüzler yani tanecik sınırları.

Her iki arayüzün beraber oluşması nedeniyle tane büyümesi ve por sıkışması eşzamanlı süreçlerdir. Tane büyümesi, taneler arasında sıkışmış porlar ve gazlar veya normal olmayan tane büyümesinden kaynaklanan homojensizlikler sinterlenmiş ürünlerin mekanik özelliklerinde istenmeyen sapmalara yol açabilir.(Brodhag and Thevenot 2002)

2.4.1 Bor Karbürün Sıcakta Preslenmesi

Yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı bor karbür tozlarının şekillendirilmesinde, HP-sıcak preslemeden (ayrıca benzer şekilde sıcak izostatik presleme, hot isostatic pressing-HIP'den) veya basınçsız sinterlemeden yararlanılır. (Geçkinli 1992, Thevenot 1990, Brodhag and Thevenot 2002)

2.4.1.1 Stoikiometrik B_{4,0}C'ün (at. %20 C) Sıcak Preslenmesi

Hot Press HP-Sıcak Pres endüstriyel olarak değişik türde, basit şekillerin oluşması için kullanılır. Sıcak preslemede 10 µm boyuta kadar bor karbür tozları kullanılabilir. Sinterlemede ise mikron altı boyutta toz gereklidir. Sinterleme 1800-2400°C'de koruyucu atmosfer altında gerçekleşir. Sinterleme sonrası yoğunluk, teorik yoğunluğun %96-98'i kadardır. Tamamen yoğun veya yoğunu yakın yapı ancak HIP'le sağlanır.

Sıcakta presleme endüstriyel ürünlerin şekillendirilmesinde kullanılır. Sinterlenmiş bor karbürün bundan sonraki şekillendirilmesi elmasla ya da kübik-BN ile yapılmak zorunda olduğundan pahalıdır.

Vakum veya asal gaz atmosferinde yoğun ürünlerin eldesi için gerekli koşullar şunlardır:

- a) 2 µm'un altında ince ve saf toz,
- b) 2100°-2200°C kadar yüksek sıcaklık,
- c) 30-40 MPa basınç
- d) 15-45 dakika kadar grafit kalıpta presleme

Bu işlemler sonrasında yoğunluk, porozite ve mikroyapı sinterleme parametrelerine bağlıdır. Sıcakta presleme ile densifikasyon birbirini takip eden üç mekanizma sonunda meydana gelmektedir. Bunlar;

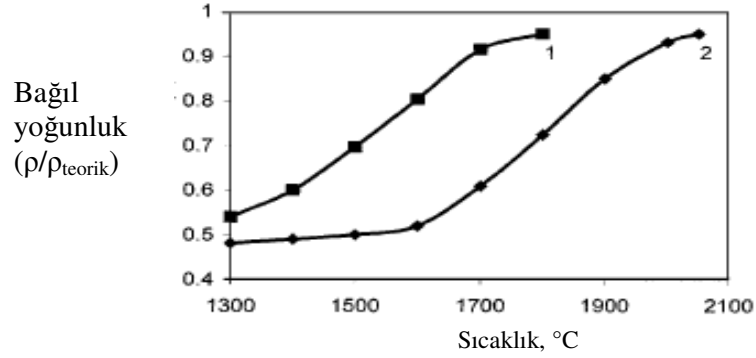
- (1) Tozların sistemde yeniden düzene girmesi ve böylelikle porozitenin sabitlenmesi ve düşük seviyeye gelmesi
- (2) Plastik deformasyonla açık porozitenin kapanmasının sağlanması
- (3) Sıcak presleme sonunda kapalı porozitenin hacim difüzyonu ile ortadan kalkması.(Geçkinli 1992, Thevenot 1990)

2.4.1.2 Bor Açısından Zengin Bor Karbürün Sıcak Preslenmesi

(2000°C-2100°C sıcaklıkta 20-40 MPa basınçta vakum veya asal gazlı atmosferde) Bu durumda rombohedral yapıda (Şekil 2.3) B_4C (at. %20 C) ve $B_{10.5}C$ (at. %8.8 C) arası bir limit sözkonusudur. Bu bileşiklerin HP-sıcak preslenmesi hassas bir işlem gerektirir. Kalıptan numuneye doğru tozda mevcut fazla miktardaki karbon saf haldeki borla birleşerek bor karbür oluşturur. Koruma amaçlı olarak refrakter özellikli metal folyolar (Ta, Mo, W vs.) kullanılabilir. HP-sıcak preslemede grafit kalıplar üzerinde bor nitrür bariyeri (Astar vazifesi gören BN katmanı) kullanmakla (Sıcak pres, grafit kalıp ve zımbalara sürülerek) yoğun ve saf bor ve bor açısından zengin $B_{10.5}C$ ile B_4C arası fazlar elde etmek mümkündür. Bu şekilde sinterlemede hem bor karbür tozu, hem de pelet halinde bor karbür kullanılabilir. (Geçkinli 1992, Thevenot 1990, Kalandadze v.d. 2000)

Karbonca zengin bor karbürlerin vizkositesi düşük olup diğer bor karbürlere kıyasla densifikasyon daha kolay sağlanır. Reaktif sinterleme, diğer bir deyişle sıcak presleme altında oluşumla sağlanan sinterleme, bor karbür pelet üretiminin geleneksel üretim yöntemlerinden birisidir. Bilindiği gibi bor ve karbon toz karışımlarının reaksiyonunda kütle transferi belli koşullara bağlıdır (Geçkinli 1992, Thevenot 1990). Bor-karbon reaksiyonu yöneltmiş kütle transferiyle ortaya çıkar, yani borun karbon içerisine transferi tercih edilir ve karbonun dağılımı sinterlenmiş peletlerin yapıları açısından önem taşır. Aynı proseste sentezleme (1250-1500°C) ve sinterlemenin (1800-2200°C) kombinasyonu sıcaklık açısından belli avantajlar sağlamaktadır. Kalandadze v.d. (2000) sinterleme esnasında saf kristal yapıda bor kullanmanın sıcaklık açısından avantajlı olacağını belirtmiştir. Karbonla sinterleme açısından malzeme olarak eş yapıda α -rombohedral bor kullanılması durumunda bağlı yoğunluk 1300°C'de kompaktlama ile başlar ve 1800°C'de malzeme en yoğun hale gelir. Buna karşılık

kıyaslama amacıyla amorf yapıda bor ile karbonun sinterlemesi karşılaştırılmış ve ilk sinterlemenin 1600°C’de başlayıp 2050-2100°C civarında malzemenin en yoğun hale geldiği anlaşılmıştır. (Şekil 2.4) (Kalandadze v.d. 2000)



Şekil 2.4: İki ayrı karışımın bağıl yoğunluğa karşılık sıcak presleme sıcaklıklarının karşılaştırılması (Kalandadze v.d. 2000) (1) B_α + C , (2) B_{amorf} + C

2.4.1.3 Katkı Maddeleriyle HP-Sıcak Presleme

Densifikasyon sıcaklığını düşürmek, oksidasyon ve termal şok direncini yükseltmek, tane büyümesini engellemek ve böylece mekanik özellikleri geliştirmek amacıyla bor karbürün sıcakta preslenmesinde, bazı katkı maddeleri kullanılmaktadır. Ancak katkı maddelerinin kullanılması halinde ürün artık saf halde olmayacağından nükleer uygulamalar için de uygun halde olmayacaktır.

Katkı maddesi olarak Mg, Al, V, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Si, Ti gibi saf metallere, cam, BN, MgO, Al₂O₃, sodyum silikat + Mg(NO₃)₂, Fe₂O₃, etil silikat, MgF₂ veya AlF₃ gibi farklı bileşikler kullanılmaktadır. (Geçkinli 1992, Thevenot 1990)

2.4.1.4 Bor Karbürün Sıcak İzostatik Preslenmesi

1700°C’de katkı maddesi ilave edilmeden HIP ile şekillendirmede yoğun malzemeler elde etmek mümkündür. B, C ve N’un fazlasının bulunması halinde, bor karbürün HIP’lenmesi 1200°C-1750°C’de 700-3000 bar basınç altında gerçekleşmektedir. İşlem esnasında grafitin difüzyonunu önlemek amacıyla Ti veya Zr kalıp kullanılmaktadır. Bunun nedeni kalıp ve bor karbür malzemesi arasında grafit kaynaklı daha yüksek sıcaklıkta ergime gösteren bileşik oluşmasını önlemektir.

Basınç uygulamadan, içerisinde %1-3 C içeren %93-97 yoğunluktaki bor karbür, 2000°C'de argon atmosferinde 200 MPa basınç altında 2 saat kadar HIP'lendiğinde yoğunluğu %99'dan fazla olmaktadır. HIP'le üretilen malzemelerin yapısında sıcak presle üretilen malzemelere kıyasla daha fazla ikizlenme görülmektedir. (Geçkinli 1992, Thevenot 1990)

2.4.2 Bor Karbürün Mikrodalga İle Sinterlenmesi

Katkısız bor karbür 2000°C'de 2.45 GHz mikrodalga radyasyon altında 12 dakika kadar sinterlendiğinde teorik yoğunluğun % 95'ine ulaşabilmektedir. Sinterleme sonunda tane boyutu 20 µm olup yapıda ikizler yer almaktadır. Mikrodalga ile sinterlemede sıcakta preslemeye göre %18 az enerji sarfedilmektedir. (Geçkinli 1992, Thevenot 1990)

2.4.3 Bor Karbürün Basınç Uygulanmadan Sinterlenmesi

Katkısız sinterlemede toz boyutu mümkün olduğu kadar ince (<3 µm) olmalıdır. 8 µm'dan iri tozların sinterlenmesi bu yolla mümkün değildir. Öte yandan, bor karbürün ergime sıcaklığına yakın 2250°-2350°C gibi yüksek sinterleme sıcaklığına ihtiyaç vardır. Sinterleme esnasında yeniden kristalleşme 1800°C'de başlar ve 2000 °C'de taneler hızlı büyür. Kalıntı içeren bor karbürde düşük ergime sıcaklığına sahip borürler oluşur ve bunlar sinterleme esnasında buharlaşarak yapıdan uzaklaşırlar.

Bor karbürün metalik ve inorganik katkı maddeleri ile basınç uygulanmadan sinterlenmesi de mümkündür. Bu amaçla bir çok inorganik katkı maddeleri ileri sürülmüştür. 1800°C'nin altındaki sinterleme için Cr, Co, Ni, cam ve alumina kullanılmaktadır. Elde edilen nihai yoğunluk %78'in altındadır. 2150-2250°C gibi daha yüksek sıcaklıklardaki sinterlemede Si, Al, Mg, Fe, Ni, Cu, TiB₂, CrB₂, Al, SiC, BeC ve son yıllarda SiC+Al, B+C, B+Si, (%20 at. Si kadar), W₂B₅, TiB₂+C, Al, TiB₂ veya AlF₃ maddeleri densifikasyonu arttırmak için kullanılmaktadır. Bu katkı maddelerinin kullanılmasıyla sinterleme sıcaklığının 1700-1900°C'ye düşmesi ve tane büyümesinin de önlenmesi mümkün olmaktadır. Ancak bu maddelerin kullanılması, tane büyümesi ve düşük mukavemete neden olmaktadır. Katkı maddelerinin ilavesi, saflık kaybının yanısıra genellikle tatmin edici özellikleri kazandırmamaktadır.

Roy T.K. v.d. (2006) bor karbür tozuna basınç uygulanmadan sinterlemede densifikasyon açısından partikül büyüklüğünün ve sinterleme sıcaklığının en önemli iki parametre olduğunu belirtmiştir. 2300°C altında sıcaklıklarda yapılan sinterleme çalışmalarında elde edilen yoğunluğun partikül büyüklük aralığı olarak 0.5-2.0 µm'a bağlı olmaksızın $\rho_{\text{teorik}} = \%85$ 'ten daha az olduğunu belirtmiştir. En yüksek sıcaklık olarak 2375°C'de daha ince partikül olarak 0.5-0.8 µm kullanılması durumunda $\rho_{\text{teorik}} = \%90$ 'ı geçmiştir. Karbon ilave edilmesi $\rho_{\text{teorik}} = \%90-91$ gibi yoğunluklara 2325°C gibi daha düşük sinterleme sıcaklığında erişmeyi, buna ilave olarak daha iyi, daha rafine tane oluşmasını mümkün kılmıştır. Ayrıca TiB₂ ilavesinin sinterleme açısından bir faydasının olmadığını, ancak katkı maddesi olarak ZrO₂ ilavesinin sinterleme sıcaklığının düşürülmesi açısından çok etkili olduğunu belirtmiştir. Nispeten daha düşük bir sıcaklık olarak 2275°C'de $\rho_{\text{teorik}} = \%93$ 'lük yoğun peletler ağırlıkça %5 ZrO₂ katılarak sinterlenebilmektedir.

Bor karbürün serbest amorf karbon ilavesi ile basınç uygulanmadan sinterlenmesi, teorik yoğunluğa yakın bileşiklerin eldesine imkan sağlayabilmektedir. Karbon ilavesinin Novolak tipi fenol formaldehit reçinenin (yaklaşık %9) in-situ pirolizi ile yapılması daha iyi netice vermektedir. Bu yöntemin endüstride uygulanması mümkün olup nihai üründe yer alan serbest karbon miktarı %2-2,5 kadardır. (Geçkinli 1992, Roy v.d. 2006)

Bor karbürün sinterlenmesinde kullanılan diğer yeni bir yöntem de az miktarda fenolik reçineli polikarbosilenin in-situ pirolizi ile SiC ve C oluşturarak sonuçta yoğunluğu %92'nin üzerinde bor karbür seramikler üretilmesidir. Bu proseste nihai üründe serbest karbon bulunmamakla beraber yapıda yaklaşık %5 kadar SiC yer almaktadır. (Geçkinli 1992, Thevenot 1990)

2.5. Seramik Zırh Plakaları

2.5.1 Seramik Zırh Plakalarının Geçmişi ve Savunma Amaçlı Uygulamaları

Seramik malzemeler zırh olarak 1. Dünya Savaşından bu yana kullanılmaktadır. Muhtemelen ilk kullanımı Alman tanklarında sert emaye kaplama olarak, hafif silahlardan korunma amacıyla gerçekleşmiştir. 2.Dünya Savaşı döneminde ise askeri hava taşıtlarında kullanılan ilk seramik zırh patentleri ortaya çıkmış, Kore Savaşında ise tankları topçu ateşinden koruyacak çelik ve silikattan imal edilmiş zırhlar kullanılmıştır.

Bor karbürün ilk kullanımı ise alumina ve kompozitlerle beraber Vietnam Savaşında görülmüştür. Bu ürün, hafif silahlara, zırh delici cephaneye karşı koruma amaçlı olarak helikopterler üzerinde ve personel taşıyıcı hava taşıtlarında kullanılmıştır.

1980'lerde ise kara taşıtlarını kurşun gibi, kimyasal ve kinetik enerji tehlikesi arz eden tehditlere karşı balistik koruma özellikli seramik korular geliştirilmiştir.

Seramik zırhlar özel kuvvetlerce antiterörist ve devrim karşıtı operasyonlar için de kullanılabilir. Böylece keskin nişancıların hedeflerine ulaşmaları mümkün olmamaktadır.

Balistik koruma özelliği taşıyan bu seramikler askeri kara, hava, deniz taşıtlarında veya asker koruma amaçlı kullanılırken, tipik olarak metal veya kompozit malzemeyle desteklenir. Böylece kurşunun hem ilk katmanda, yani seramik zırhta kırılması, hem de ikinci katmana geçmesi durumunda yön değiştirerek hızını kesmesi ve saplanıp kalması amaçlanır. Bu plaka kombinasyonunun diğer bir avantajı ise yaklaşık olarak, genel anlamda, çeliğin yarısı kadar ağırlığa sahip olmasıdır. (Bengisu 2001)

İleri seramikler pazarı özel uzmanlık isteyen ve yüksek maliyetler nedeniyle itici gücü "performans" olan bir pazardır. Bu performansın sağlanması ise, modern zırh karşıtı tehditlere karşılık daha hafif savaş araçlarının, kısa süreli hazırlık ile kullanılabilir düzeye gelebilmesi ile ölçülür. Bu hafiflik unsurunu sağlayacak malzemelerden en önemlisi aracın üzerinde pasif balistik korumayı sağlayacak yüksek etkinlikteki zırh sistemidir. Kara araçlarında metalik zırhların getirdiği ağırlık artışı aracın manevra yeteneğinin azalmasına, hızın düşmesine ve mekanik parçaların daha fazla aşınmasına neden olmaktadır. Zırhlı personel taşıyıcı gibi kara araçlarında "Add-on armor" olarak adlandırılan ve küçük ve orta kalibreli silahlara karşı etkin koruma ve ağırlık tasarrufu sağlayan seramik zırhlar son yıllarda yaygın kullanım alanı bulmaktadır.

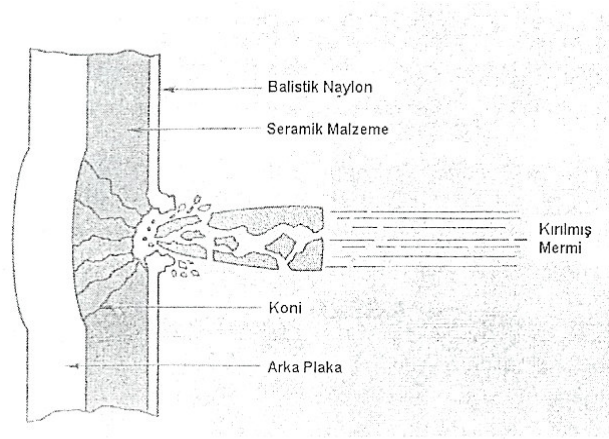
Zırh tasarımında en önemli üç etken olarak ağırlık, fiyat ve performans ortaya çıkmaktadır. Zırhlarda kullanılacak malzemelerin şu özelliklere sahip olması istenir:

- Düşük yoğunluk
- Yüksek elastisite ve kayma modülleri

- Yüksek akma dayanımı
- Yüksek dinamik çekme dayanımı

Seramikler yukarıdaki ilk üç şartı yerine getirirken metaller yüksek yoğunlukları nedeniyle ağır kalmaktadır. Günümüzde bütün şartları yerine getiren bir malzeme mevcut değildir. Bu durum tasarımcıları farklı arayışlara yöneltmiş ve bunun sonucunda seramik zırh olarak tanımlanan, önde seramik arkada metal veya kompozit iki tabakadan oluşan zırhlar geliştirilmiştir.

Seramik zırhlar çift dayanımlı zırhlar ailesine girmektedir. Burada ön plaka sert, arka plaka ise sünektir. Öndeki sert plaka darbeyle beraber delici nesneyi kırarken arkadaki sünek plaka geri kalan darbe enerjisini emer ve mermi ve seramik parçalarını muhafaza eder. (Şekil 2.5)



Şekil 2.5 : Bir merminin seramik zırh plakaya çarpması

Seramiğin görevi kırılma konisi aracılığı ile mermi enerjisini arka plaka üzerine dağıtmak ve delme süresince mermiyi aşındırmaktır. Bu şekilde, merminin arka plaka üzerinde küçük bir bölgeye temas ederek burada malzeme dayanımını aşan gerilmeler uygulaması ve plakada yerel bir hasar oluşturması önlenir. Delme süresince sert ve aşındırıcı seramik parçacıkları mermiyi aşındırır ve kütesini azaltır.

Arka plaka malzemesi olarak düşük yoğunluğa sahip olması nedeniyle alüminyum yaygın olarak kullanılmaktadır. Elyaf takviyeli plastik kompozitler de düşük yoğunlukları, yüksek dayanım ve yüksek kopma enerjileri nedeniyle tercih edilmektedir.

Bir merminin seramik zırhı delme mekanizması çok karışık olmasına karşın temel olarak üç bölüme ayrılabilir:

- Mermi ucunun çarpma ile kırılması ve seramik yüzeyinin çok küçük parçacıklar halinde kırılması. Seramiğin kırılması bu aşamada olur.
- Delme aşaması. Mermi, önündeki seramiğe yük uygulayarak seramik plakayı geçmeye çalışırken kırılma konisi aracılığı ile yük arka plakaya iletilir. Arka plaka kopan parçaları bir arada tutarak seramiğin bütünlüğünü korur. Bu arada seramiği geçmeye çalışan mermi aşınır.
- Seramik kırılma konisini geçen mermi arka plakaya ulaşır. Eğer merminin yeterli kinetik enerjisi varsa plakayı delip geçer.

Delip geçme olayının doğası gereği karmaşık olması ve birden fazla parametreye bağlı olması, delip geçmenin analitik yöntemlerle incelenmesini zorlaştırmaktadır. Deneysel çalışma ise oldukça pahalı ve zaman alan bir işlemdir. Bu tür karmaşık olayları çözümlenmek için kapsamlı sayısal çözümleme teknikleri kullanmak üçüncü bir yol olarak ortaya çıkmıştır. (Çakır v.d. 2004)

Seramik zırh teknolojisi gelecekteki balistik koruma ihtiyaçlarını karşılayabilecek olan, önemli avantajlar sağlayabilen bir teknolojidir. Hafif silah ve makineli tüfek tehditlerine karşılık personelin balistik korunma performans seviyesi hem yüksektir, hem de günümüzde bu konudaki tasarım parametreleri yeterince anlaşılmıştır. Buna karşılık yüksek kalibreli kinetik enerjiye dayalı zırh delici tehditler uzun zamandan bu yana sorunları yeterince çözülememiş bir konudur.

Ana koruma teknolojisi olarak seramiklerin uygulanması, ana gelişmesini son on yılda gerçekleştirmiştir ve bugünkü haliyle hafif silahlara ve ağır makineli tüfeklere karşı kullanılmakta olup esas olarak seramik laminat plaka üzerine metal yapısal zırh halinde, daha yeni olarak ise kompozit tabanlı sistemlerde kullanılmaktadır.

Bugün kullanılan veya gelişmekte olan bazı askeri zırh uygulamaları ise zırh seramik sanayi üreticileri bazında aşağıdaki şekilde verilmiştir:

Armorworks firması (Arizona, A.B.D.) geniş çapta seramik kompozit ürünleri imal etmekte olup helikopter tabanları için 7.62 mm. kalibre mermiden korumak amacıyla alüminyum oksit

bazlı zırh sistemi üretmektedir ve koruma namı için geçerlidir. Bu firmanın ürettiği plakalar helikopter içerisinde gerektiğinde monte edilecek şekilde kullanılmaktadır ve MIL-STD-810E çevre testini geçmiştir. (Yüksek ve düşük sıcaklık, güneş radyasyonu, kum ve toz vs.)

Ceradyne Incorporated (California, A.B.D) balistik sınıf dahil olmak üzere geniş çapta ileri seramik ürünler geliştirmekte ve üretmektedir. Bu ürünler sıcak preslenmiş bor karbür, silisyum karbür ve titanyum diborit yanısıra basınçsız sinterlenmiş silisyum karbür ve reaksiyonla bağlanmış ve sinterlenmiş silisyum nitrid malzemelerini içermektedir. Bu firma savaş helikopterlerinin korunması için 1960'lerde ilk bor karbür uygulamalarını gerçekleştiren firmadır. Bugün Ceradyne firması seramik zırh göğüs koruma yeleği ve Kobra helikopterleri için balistik korumalı oturma yerleri tasarlamakta, geliştirmekte ve üretmektedir.

Cercom Incorporated (California, A.B.D.) 1985 yılından bu yana geniş çapta ticari ve balistik sınıfta seramik zırh üretmektedir. Kendilerine ait PAD-Pressure Assisted Densification adındaki prosesi kullanarak Cercom firması Amerikan ordusuna büyük miktarda alüminyum nitrid, bor karbür, silisyum karbür, silisyum nitrid, titanyum diborit ve tungsten karbür balistik seramikleri üretmektedir. Cercom firmasının ürettiği sıcak preslenmiş bor karbürden imal parçalar, Tiger helikopterlerinde oturak olarak ve vücut koruma amaçlı küçük ve büyük parçalar olarak Amerikan ordusunda kullanılmaktadır.

German Ingenieurbüro Deisenroth firması (IBD) (Lohmar,Almanya) kendisine ait MEXAS-Modular, Expandable Armor Systems adı altında seramik/metal/kompozit tasarımına sahiptir. Bu tasarım benzerlerinden farklı olmamasına rağmen, daha önce çıktığından günümüzde yaklaşık olarak 39 çeşit araçta kullanılmaktadır. MEXAS mühendislik araçlarında, taktik kamyonlarda ve çeşitli tekerlekli ve paletli muharebe aracında, Avrupa'da çoğu ülkede, Kanada ve A.B.D.'de kullanılmaktadır.

Textron Marine and Land Systems (New Orleans-A.B.D.) firması iki ilginç seramik kompozit uygulamasının ana üreticisi durumundadır. Bunlardan birisi Amerikan Ordusunda kullanılan Army Armored Security Vehicle (ASV) adı altındaki araçta kullanılan seramik kompozit zırhı MEXAS'a dayanmaktadır. ASV aracı ön, arka ve yan taraflardan 12.70 mm. kalibre zırh delici mermiye karşı korumada başarılıdır. Diğer araç ise Landing Craft Air Cushion-LCAC adı altındaki yüksek hızda seyredabilen, sahil üzerinde tamamıyla amfibi, karaya da

oturabilen, 60-75 ton yükü başarılı bir şekilde taşıyabilen araçtır. Bu aracın türbin kutuları da dahil olmak üzere kritik yerleri alüminyum oksit kompozitinden imal edilmiş parçalar tarafından korunmaktadır. (Gooch 2001)

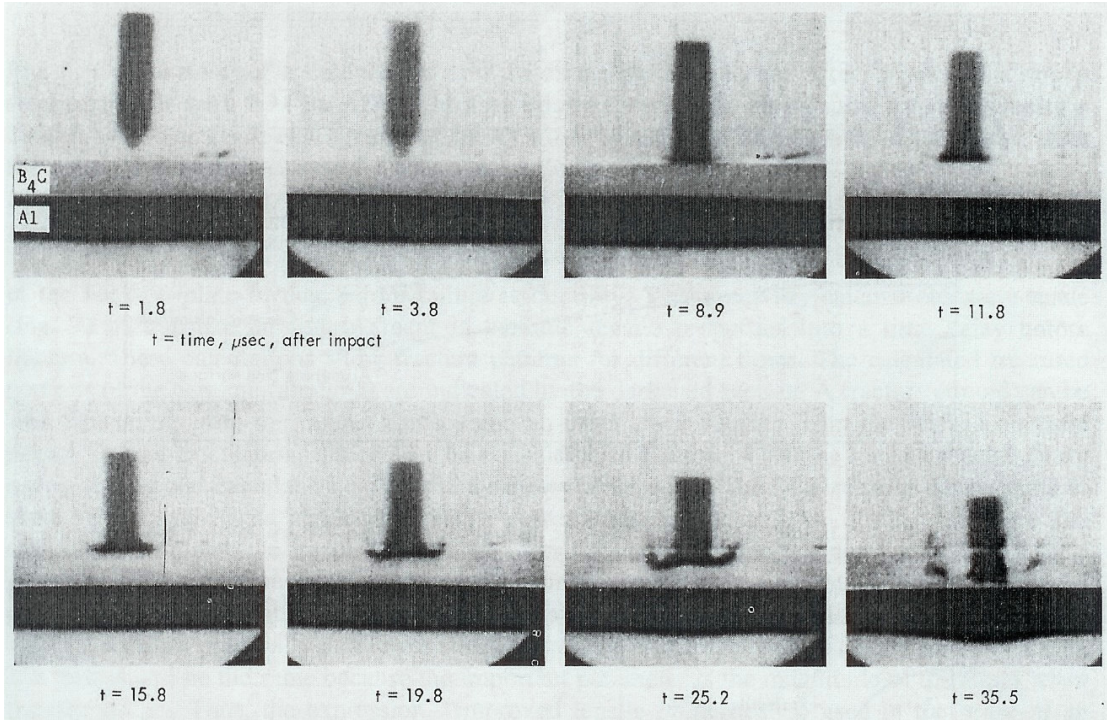
Yukarıda firma bazında verilen savunma amaçlı uygulama örneklerini daha da fazlaştırmak mümkündür. Ancak, burada kritik nokta, ileri zırh seramik malzeme uygulamalarında araçların rahat hareket edebilmesi için hafiflik, diğeri ise iyi nitelikte balistik korumadır. Bu iki faktör, yukarıda bahsedilen araçlara saldırı esnasında üstün nitelik kazandıran en önemli faktörlerdir.

2.5.2 Zırh Plaka Çeşitleri

Klasik zırh sistemleri çelik plaka (genelde 4140 cinsi)-alüminyum plaka (genelde 6061 cinsi) ikili sisteminden oluşmaktadır.

Modern uygulamaya dayanan deneysel veya üretilmiş seramik zırhlar genellikle Al_2O_3 -SiC gibi seramik matriks kompozitlerini, SiC ve B_4C partikülleriyle güçlendirilmiş borosilikat camlarını, LANXIDETM'i ve Al_2O_3 , B_4C , SiC, TiB_2 veya AlN gibi geliştirilmiş monolitik seramikleri içermektedir. İleri seramik malzemelerin zırh uygulamalarında kullanılmasının nedeni üstün balistik performans gösterebilmeleri ve düşük ağırlığa sahip olmalarına dayanmaktadır.

Resim 2.2 mermi çarpması esnasında seramikten imal edilmiş bir plakanın davranışını göstermektedir.



Resim 2.2: Seramik (B_4C) ve alüminyum katmanlı bir zırh sistemi

t= zaman, μ sn., çarpışma sonrası.

Yukarıdaki şekilde bor karbürden imal edilmiş plaka mermiyi kırmaya, alüminyumdan imal edilmiş plaka ise merminin seramik zırhı geçmesi durumunda durdurmaya yaramaktadır (Wilkins v.d. 1967). Bu durumun zırh seramik malzemelerde günümüzdeki başlıca uygulama prensibini oluşturduğu Gooch (2001) tarafından da açıklanmıştır.

Resim 2.2 'de görülen merminin B_4C plakasına çarpması, üç aşamadan oluşmaktadır:

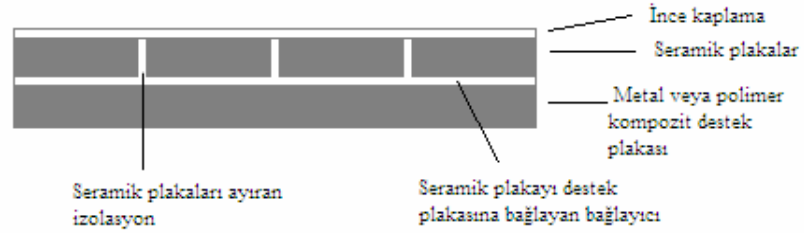
- 1) Kırılma
- 2) Erozyon
- 3) Yakalama

Kırılma aşamasında mermi seramik plaka üzerinde kırılmakta, seramik malzemenin sahip olduğu yüksek basma dayancı mermi tarafından yaratılan yüklemeyi karşılamakta, sonuçta mermi parçalanmaktadır.

Seramik zırh penetrasyonunun ikinci aşamasında seramik malzeme çatlamaktadır, ancak seramik malzeme hala mermi çekirdeğinin oluşturduğu tehdiye karşı erozyon mekanizmalarıyla karşı koyabilmektedir.

Üçüncü ve son aşama olan yakalamada ise seramik malzeme dayancını kaybetmiştir, ancak seramik ve destek malzemesi birleşerek mermi hızını momentum transfer mekanizmasıyla azaltmaktadır.

En iyi balistik sonucu veren seramik/destek plakası oranları uzun yıllardır 2/3 seramik plaka ağırlığı, 1/3 destek plakası ağırlığı olarak bilinmektedir.



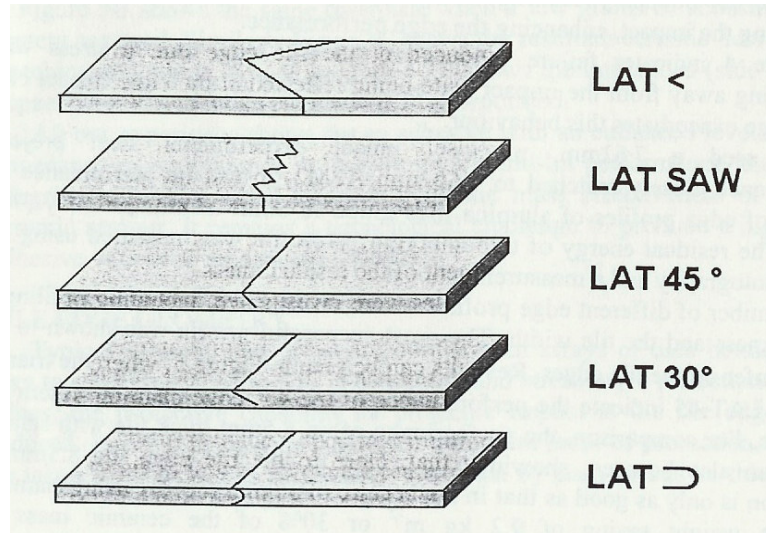
Şekil 2.6: İkili seramik plaka ve destek plakası zırh sistemi

Resim 2.2'deki fotoğraflarda ve şekil 2.6'da görülen ikili zırh plakası sistemlerinde en iyi sonucu veren seramik/destek plakası oranını James (2001);

$$T_{cer}/T_{met} (optimum) = \frac{v}{60000} \times (90 - \text{çarpma açısı}) \quad (2.1)$$

şeklinde ifade etmiştir. Burada;

V= hız m/sn., çarpma açısı iki seramik plaka arasında birleşme açısı olarak ele alınmaktadır.



Şekil 2.7: Kenar optimizasyon değerlendirilmesinde kullanılan konfigürasyonlar.

Seramik zırhın performansı, sistemin konfigürasyonu ile de yakından ilişkilidir. James B. (2001) şekil 2.7’de görülen seramik levhaların birbirine geçme noktalarının balistik yönden hassas noktalar olmaları nedeniyle çeşitli geçme türleri üzerinde 7.62 mm. kalibre mermi ile atışlar denemiştir. Bu atışlar sonunda kenar geçme konfigürasyonunda en başarılı sonucun şekil 2.7’de görülen LAT 45° olduğunu belirtmiştir. Bu konfigürasyonun önemi, seramik plakaya mermi çarpması sonrasında, merminin çarptığı bölge dışında, diğer plakalara geçme uygulanmaması durumunda (90° lik kenarlarla birleştirme durumu) mermiden kaynaklanan kesme gerilmesinin plakaların diğer bölgelerinde de kırılmaya yol açmasında yatmaktadır. 45° açılı geçme her zaman için daha iyi sonuç vermekte olup, bu sayede zırh seramiğinin kalınlığında azalma yapılarak tümleşik olarak daha iyi sonuç sağlandığı ve seramik zırh ağırlığında %30’a yakın tasarruf sağlandığı belirtilmiştir.

NIJ 0101.04 standardında (Kişisel Vücut Zırhının Balistik Direnci) balistik plaka çeşitleri koruma sağlayabildikleri mermi cinsine göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflama balistik performans seviyeleri gözönüne alınarak yedi sınıfta veya tipte gruplandırılmıştır. Balistik performans herşeyden önce merminin kompozisyonuna, şekline, kalibresine, kütlesine, çarpma açısına, ve çarpma hızına bağlıdır.

Bu balistik sınıflama zırh çeşitleri şöyledir:

a) Tip I (22LR; 380 ACP)

Bu zırh çeşidi 0.22” (5,60 mm.) yuvarlak burunlu, 2.6 g., 320 m/sn. veya daha az hızla, LR LRN (Long Rifle Lead Round Nose) mermi tipine veya 380 ACP Tüm gömleklili yuvarlak burunlu (FMJ RN-Full Metal Jacketed Round Nose) mermilerine 6,2 g. nominal ağırlıkla 312 m/s hızla çarpmaya dayanan cinstedir.

b) Tip IIA (9 mm, 40 S&W)

Bu zırh çeşidi 9 mm tüm gömleklili yuvarlak burunlu (FMJ RN-Full Metal Jacketed Round Nose) mermilerine 8.0 g. nominal ağırlıkla 332 m/s veya daha az hızla çarpmaya dayanan cinstedir. Ayrıca 40 S&W kalibre tüm metal gömleklili (FMJ-Full Metal Jacketed), 11.7 g nominal ağırlıkta, 312 m/s hızda veya daha az hızda çarpmaya karşı korumalı özelliği olmalıdır. Yukarıda (a) kısmında bahsedilen tehditlere de koruma sağlamalıdır.

c) Tip II (9mm, 357 Magnum)

Bu zırh çeşidi 9 mm tüm gömlekli yuvarlak burunlu (FMJ RN-Full Metal Jacketed Round Nose) mermilerine 8.0 g. nominal ağırlıkla 358 m/s veya daha az hızla çarpmaya dayanan cinstedir. Ayrıca 357 Magnum gömlekli yumuşak burunlu (JSP-Jacketed Soft Point), 10.2 g nominal ağırlıkta, 427 m/s hızda veya daha az hızda çarpmaya karşı korumalı özelliği olmalıdır. Yukarıda (a)ve (b) kısımlarında bahsedilen tehditlere de koruma sağlamalıdır.

d) Tip IIIA (Yüksek Hızda 9 mm; 44 Magnum)

Bu zırh çeşidi 9 mm tüm gömlekli yuvarlak burunlu (FMJ RN-Full Metal Jacketed Round Nose) mermilerine 8.0 g. nominal ağırlıkla 427 m/s veya daha az hızla çarpmaya dayanan cinstedir. Ayrıca 44 Magnum yarı gömlekli boşluk burunlu (SJHP-Semi Jacketed Hollow Point) 15.6 g nominal ağırlıkta, 427 m/s hızda veya daha az hızda çarpmaya karşı korumalı özelliği olmalıdır. Yukarıda (a), (b) ve (c) kısımlarında bahsedilen tehditlere ve çoğu el tipi tabancalara karşı da koruma sağlamalıdır.

e) Tip III (Tüfekler)

Bu zırh çeşidi 7.62 mm tüm metal gömlekli (FMJ-Full Metal Jacketed) mermilerine (A.B.D. askeri tarif olarak M80 geçmektedir) 9.6 g kütleyle 838 m/s veya daha az hızda çarpmaya karşı korumalıdır. Aynı zamanda yukarıdaki (a), (b), (c) ve (d) kısımlarında geçen tehditlerine karşı da koruma sağlamalıdır.

f) Tip IV (Zırh Delici Tüfekler)

Bu zırh çeşidi 7.62 kalibreli zırh delici (AP-Armor Piercing) mermilere (A.B.D. askeri tarifiyle M2 AP), 10.8 g nominal kütle ağırlığında, 869 m/s veya daha az hızda çarpmaya karşı korumalı olmalıdır. Ayrıca yukarıda bahsedilen (a), (b), (c), (d) ve (e) kısımlarında geçen tehditlere karşı da koruma sağlamalıdır.

g) Özel Tip

Yukarıda adı geçen zırh standart tipleri dışında, tehditlere karşı belli seviyede koruma istenmesi durumunda, kullanıcı kesin kalibreleri ve referans alınacak minimum çarpma

hızlarını belirler ve bu standardın da bütün yönleriyle yeterli olduğunu beyan eder. (NIJ 0101.04 2001)

2.5.3 Zırh Plakalarına Uygulanan Balistik Testler

Seramik zırh plakalarına uygulanan on türde balistik test yöntemi mevcuttur:

a) NDP (Deforme Etmeyen Penetrasyon-Non Deforming Penetration)

Tipik Olarak yumuşak metaller ve sert hedefler için kullanılır. Betona, kireçtaşına ve diğer jeolojik malzemelere uygulanır. Bu penetrasyon modunda hedef direncinin izole edilmesi amacıyla birçok araştırma yapılmaktadır.

b) PEN (Penetrasyon Derinliği, Doğrudan ya da Ters Çarpma-Penetration Depth Direct or Reverse Impact)

Penetrasyon-hız eğrileri, penetrasyon direnci, penetrasyon hızı, penetrasyon tükenme hızı ile ilgilidir.

c) DOP (Modifiye Edilmiş Penetrasyon Derinliği-Modified Depth of Penetration)

Performans hedeflerinin seramik kalınlığına karşılık fonksiyonunun belirlenmesiyle ilgilidir. TAD'ye benzer, tek farkı yarı sonlu konfigürasyona sahip olmasıdır.

d) DWE (Çarpma Testleri-Dwell Tests)

Toplam arayüz yenme durumları. Burada yüzey üzerinde merminin hasara uğratılması ve yapının buna verdiği karşılık ölçümlenir.

e) DPT (Çarpma/Penetrasyon Geçişi-Dwell/Penetration Transition)

Burada hız, seramiğin başarısız olacağı kesme dayancını veya geçiş gerinimini tanımlayacak bir yük oluşturur.

f) FTG (Sabit Hedef Geometrisi-Fixed Target Geometry)

Genel zırh tipi konfigürasyonlarda malzeme karşılaştırma deneyine dayanmaktadır. Özellikle eğimli olarak kullanılır.

g) TCA (Tandem Kompzit Zırhı-Tandem Composite Armor)

Hasarlı malzemenin kullanılmasını en aza indirecek konfigürasyon.

h) VBL (Balistik Limit Hızı (V_{50}) veya Artık Veri-Ballistic Limit Velocity (V_{50}) or Residual Data)

Kabul edilebilir zırh için tipik gereksinimler, ayrı ayrı testlerle artık penetratör karakteristikleri ölçülebilmektedir.

i) BAD (Zırh Arkası Kırıntıları- Behind Armor Debris)

Bir penetratörün öldürücülüğünü veya bir hedefin hassasiyetini aynı düzeydeki bir tehditle ölçümler.

j) TAD (Hedef Yüzey Yoğunluğu Performans Haritaları-Target Areal Density Performance Maps)

Optimuma yakın zırh konfigürasyonlarının belirlenmesine yardım eder. Bu konudaki teoriler, ortaya çıkan verilerle, değişik tehditlerin varlığına karşılık birtakım öngörülerde bulunmayı içerir. (Normandia and Gooch 2001)

2.6. Darbe Ve Balistik

2.6.1 Balistik Koruma

Balistik, yerçekimi ve atmosferik şartlar altında ateşlenen veya geri tepmeyle itilen cisimlerin, özellikle de parçacık (şarapnel), mermi ve roketlerin hareketlerini inceleyen bilim dalıdır.

Balistik genelde dört bölüme ayrılır: iç, orta, dış, terminal balistik.

İç balistik, tozların yanmasıyla ve silah veya roketteki gaz yayılmasının yerini tutan olaylardaki termodinamik proseslerle ilgilenir.

Orta balistik, parçacık veya roketin tüp veya fırlatma düzeneğini terk edişi sırasındaki davranışlarıyla ve oluşabilecek bozukluklarla ilgilenir.

Dış balistik, roket, mermi veya parçacığın fırlatma platformunu veya namlu ağzını terkettikten sonra gerçekleşen, parçacığın genelde 6 boyutlu bir yolu tanımladığı varsayılan hareketleriyle ilgilenir. Burada pratikte önemli olan uçuş performansının (menzilin) ve de vuruş modelinin belirlenmesidir. Düşük menzillerde, yer çekiminin etkileri, atmosferik şartlar ve itici kuvvet eşit öneme sahiptir. Eğer ateşli silahlar kullanılıyorsa, yüksek irtifalarda hava direncinin etkisi azalır ve böylece parçacığa gök mekaniği hükmetmeye başlar.

Terminal balistik, hedeflerine ulaşan parçacıkların etkilerini açıklar. (Çalık 2004)

2.6.1.1 İç Balistik

Silahlarda, ateşlemenin yani sevk barutunun yanmaya başlamasından, merminin namluyu terk edişine kadar meydana gelen olaylar iç balistik adı altında incelenir. İç balistikte, barutun hızı, mermi hareketi ve bunlar arasındaki enerji denkleminin çözümü gereklidir. İç balistikte üç ana problem mevcuttur:

- a. Karakteristikleri belli bir namluda, verilen ağırlıktaki barut ile ağırlığı belli bir merminin namlu çıkış hızı ile namluda meydana gelecek maksimum basıncın hesabı,
- b. Karakteristikleri belli bir namluda belirli bir mermi ve namlu önü ilk hızı ve müsaade edilebilir maksimum namlu içi basıncı için gerekli barut cinsi ile barutun hesabı,
- c. Belirli bir mermi ile barut tipi için, müsaade edilebilir maksimum basınç gözönüne alınarak namlu boyu ile barutun miktarının hesabıdır.

Yukarıdaki üç halde de, yanan barut miktarı, merminin namlu içindeki durumu, hızı ve namlu içi basınç ile zaman arasında sürekli bir ilişki kurulması gerekmektedir. (Çalık 2004)

2.6.1.2 Dış Balistik

Eksenel simetrik narin cisimler normal olarak mermi, bomba, roket ve uçak yakıt deposu gibi cisimlerdir. Bu cisimlerin, bağlı oldukları ilk noktadan ayrıldıktan sonra hedef olarak tespit edilen bir diğer noktaya ulaşmaya kadar yapmış olduğu hareket dış balistik adı altında incelenir. Eksenel simetrik narin cisimlerin bu hareketleri sırasında izledikleri yörüngeye “Mermi Yolu” denmektedir. Normal olarak cisimlerin uçuşları uzayda ve atmosferde olmaktadır. (Çalık 2004)

2.6.1.3 Hedef Balistiği

Hedef balistiği, mermilerin hedef üzerinde meydana getirdiği etkileri incelemektedir. Mermilerin hedef üzerinde meydana getirdiği etkiler, altı ana grup altında toplanır.

- a. Zırhlı hedeflerin delinmesi
- b. Hedefte parça tesiri
- c. Hedefte blast etkisi
- d. Hedefte yangın tesiri
- e. Hedefin aydınlatılması
- f. Sis, zehirli gaz, radyoaktif ve mikrop etkisi

Bu etkilerin tümünü içeren bir mermi mevcut değildir. Bu nedenle hedef üzerinde amaçlanan tesire göre değişik tipte mermiler geliştirilmiştir. (Çalık 2004)

2.6.1.4 Mermiler

Sevk barutu, mermiyi namludan dışarı fırlatmaya ve otomatik tabancalarda da geriye doğru basınç yaparak tabancanın yeniden doldurulmasını sağlar.

Merminin ilk hızı ve sahip olduğu enerji kullanılan barutun cinsine ve miktarına bağlıdır.

Sevk barutu, yanma ısı ve hızının kontrolü için bir takım kimyasal maddeler ilave edilmiş Nitroselülöz'den oluşur.

Sadece Nitroselülöz'den oluşan barutlara tek baz barut denir. Çift baz barutlarda ise %70-80 Nitrogliserin bulunmaktadır. Çift baz barutların ilk hızı ve enerjisi tek baz barutlara nazaran çok daha fazladır.

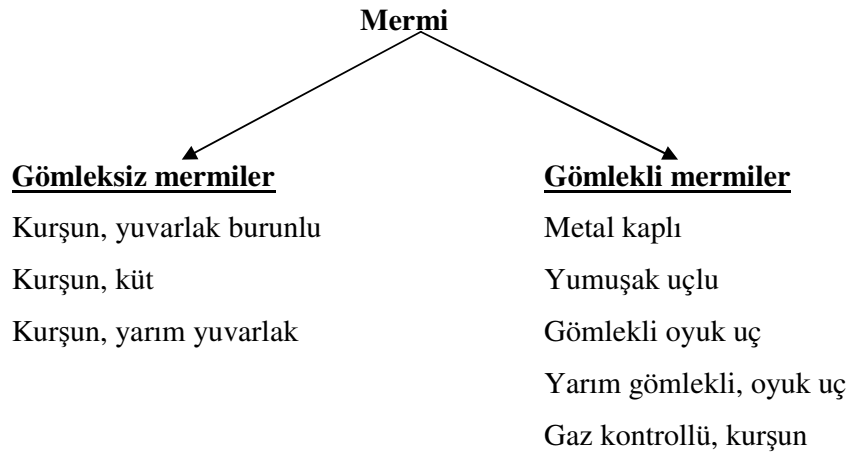
Tabanca üretim amacını yerine getiren asıl parça mermidir. İki cins mermi vardır:

- a. Gömleksiz mermi: sadece kurşun çekirdekten oluşur.
- b. Gömleklili mermi: kurşun çekirdeğin üzeri gömlekle kaplanmıştır.

Bu kaplama;

1. Tombak (Tombak: %90 bakır + %10 çinko)
2. Tombak kaplı çelik,
3. Bakır kaplı çelik,
4. Pirinç
5. Nikel'den oluşabilir.

Ayrıca, bu iki tür mermi aşağıdaki gibi kendi aralarında sınıflara ayrılmıştır:



Gömleksiz kurşun mermi genel amaçlı bir mermdir. Mermi giriş hızı düşüktür. Gömleksiz kurşun mermilerin üzeri yağlı bir madde ile sıvanarak kurşunun namlu iç yüzeyine sıvanmasına engel olur.

Gömlekli mermilerde gömlek namlu aşınmasını azaltır, mermi depolanmasında paslanmayı engeller ve hedefte delme gücünü artırır. (Resim 2.3)

Metal gömlekli mermilerde kurşunun namluya zarar vermesinin azaltıldığı, giriş hızının yüksek tutulduğu bir mermdir.

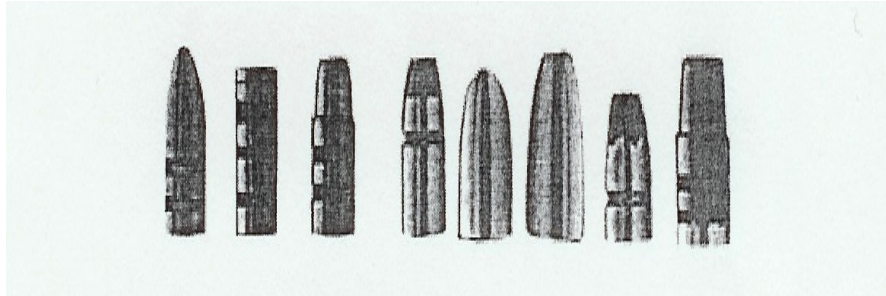
Yarım gömlekli mermi, yumuşak çarpmanın etkisi ile açılarak gerideki gömleğin üzerine sıvanır. Mermi genişleyerek giriş deliğinin büyümesine ve tahribatın artmasına neden olur.

Oyuk uçlu mermide mermi havada hareket halinde iken oyuğun içine hava dolar ve bu hava mermi hedefe çarpınca serbest kalır. Merminin takviye bir etki yapmasını sağlar.

Yarık uçlu mermi çarpma anında mermi ucu açılarak genişler ve parçalara ayrılır. Bu mermide tahribatın artması hedeflenmiştir.

Gömlekli mermilerde delme hızı yüksek, tahribat az, gömleksiz mermilerde ise hız alçak, tahribat fazla olur.

Mermilerin en etkili yarım gömlekli, oyuk uçlu mermilerdir. Bunlar hem yeterince hızlı, hem de fazla tahribat yapan mermilerdir.



Resim 2.3: Mermi çeşitleri

2.6.1.5 Zırhlı Hedefin Delinmesi

Zırhlı hedefin delinmesi üzerinde en fazla çalışılan konulardan biridir. Parça tesirli ve blast tesirli mermilerde bir miktar delme kabiliyetine sahiptir. Ancak hedeflerin en etkin şekilde delinerek taribi, zırh delici kinetik enerjili mermiler ve çukur imlali mermiler ile sağlanır.

-Kinetik enerjili mermiler ile hedefin delinmesi: Kinetik enerjili mermiler içinde patlayıcı madde bulunmaz. Merminin ucu sivriltilir, tungsten veya uranyum malzemeden sinterleme yöntemi ile imal edilirler. Kinetik enerjili bir merminin hedefteki delme etkisi;

- a. Mermi çapına
- b. Merminin enerjisine
- c. Merminin zırha vuruş açısına
- d. Mermi ve zırh malzemesinin metalurjik yapısına bağlıdır.

Mermi çapı (D);

$$D = q \frac{E}{A} \quad (2.2)$$

ile hesaplanır. Burada E merminin kinetik enerjisi, A merminin kesit alanı ve q sabit bir ampirik katsayıdır. Q sabiti değişik tipte zırh delici mermiler ile yapılan deneyler sonucu;

$$q = \frac{d \times 10^6}{D \left(\frac{V}{1000} \right)^2} \quad (2.3)$$

şeklinde elde edilmiştir. Burada V merminin hedefe vuruş hızı, d delme mesafesidir. d/D oranı zırh delici merminin etki faktörü olarak kabul edilir.

Merminin hedefe vuruş açısı 90° nin altında ve üstünde olması halinde, delme miktarı azalarak sifira doğru yaklaşmaktadır.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Deney Programı

Bu çalışma kapsamında önce deneysel çalışmalarda kullanılan bor karbür tozunun tane boyut dağılımı ve faz analizleri yapılmıştır.

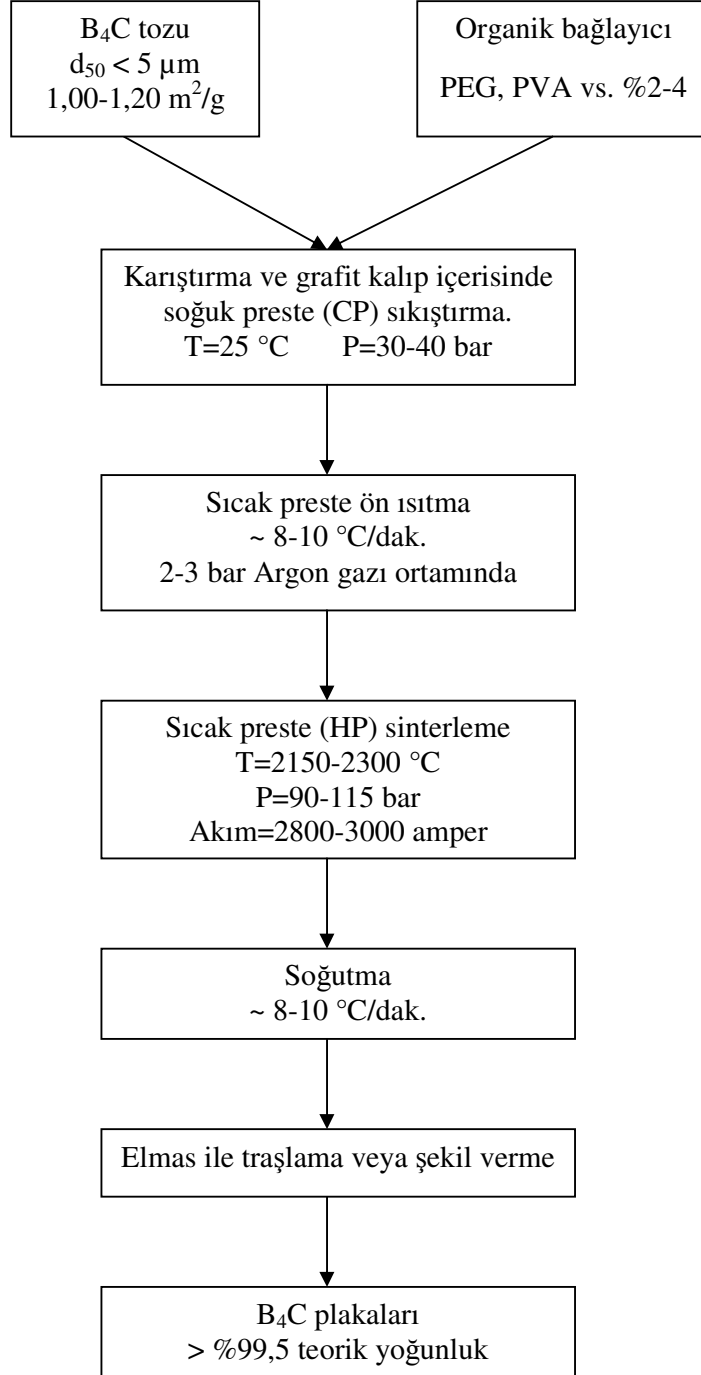
Dökümle şekillendirme çalışmalarını yapabilmek için bor karbür tozlarının pH-zeta potansiyel değişimini belirlemek için tüp deneyleri yapılmıştır. Burada dispersiyonun sağlandığı $pH > 6$ da koyu süspansiyon hazırlanarak alçı kalıba döküm yapılmış ve plakalar elde edilmiştir. Plakalar kurutma işleminden sonra sıcak preste sinterlenmiştir.

Enjeksiyon kalıplama çalışmalarında önce optimum toz-wax karışımını belirlemek için denemeler yapılmıştır. Bu denemeler sonucunda çelik kalıp içerisine enjekte edilen 60x60x12 mm. boyutundaki plakalar önce wax uzaklaştırma işlemine tabi tutulmuş daha sonra sıcak preste sinterlenmiştir.

Sinterlenmiş numunelere fiziksel testler uygulanmış daha sonra Büyük Mıhçı Bor Teknolojileri firmasında balistik test yapılmıştır.

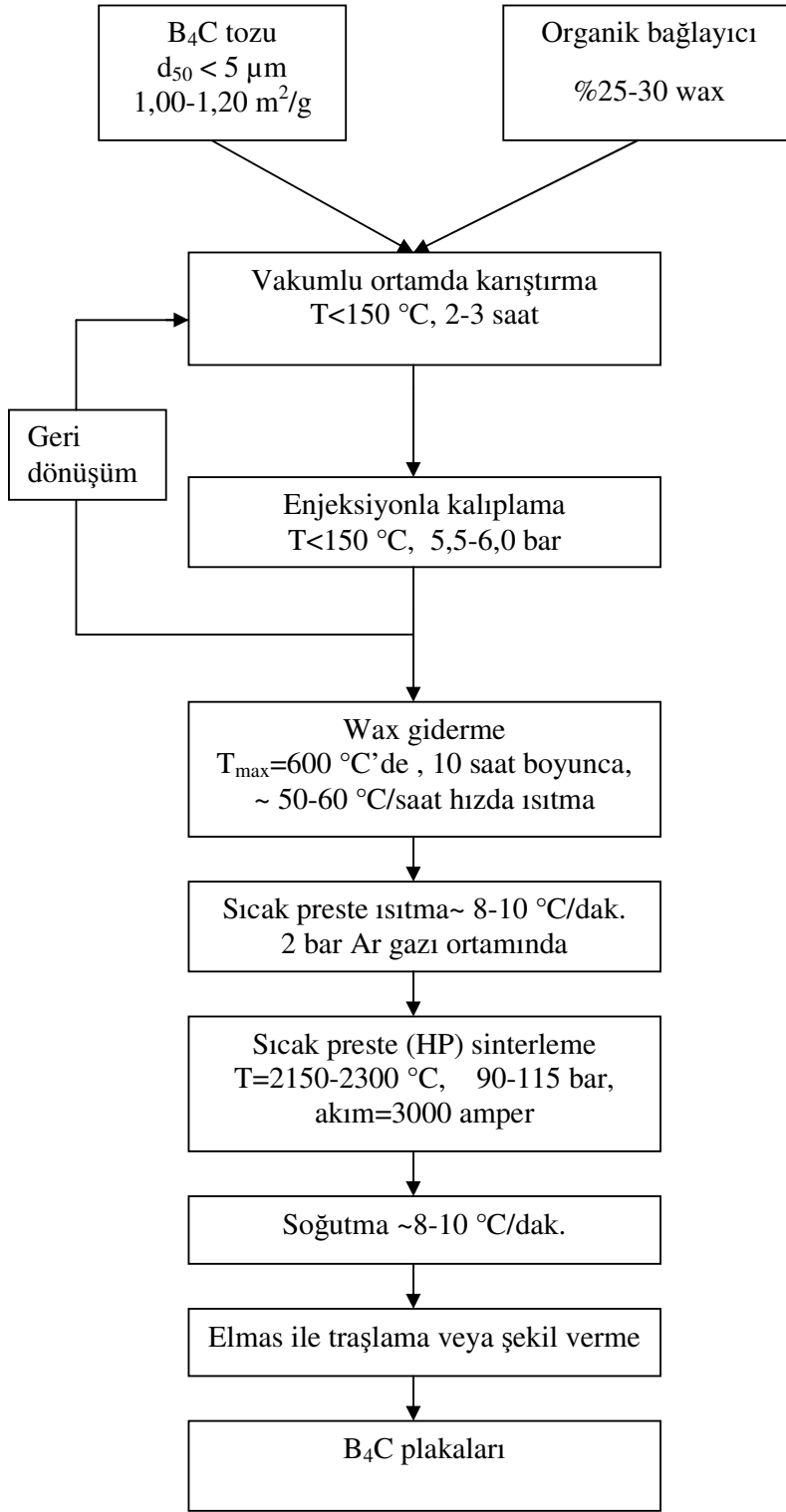
3.2 İş Akış Şemaları

3.2.1 Sıcak Presle Üretim İş Akış Şeması (Üretici Firma: BM Bor Teknolojileri)



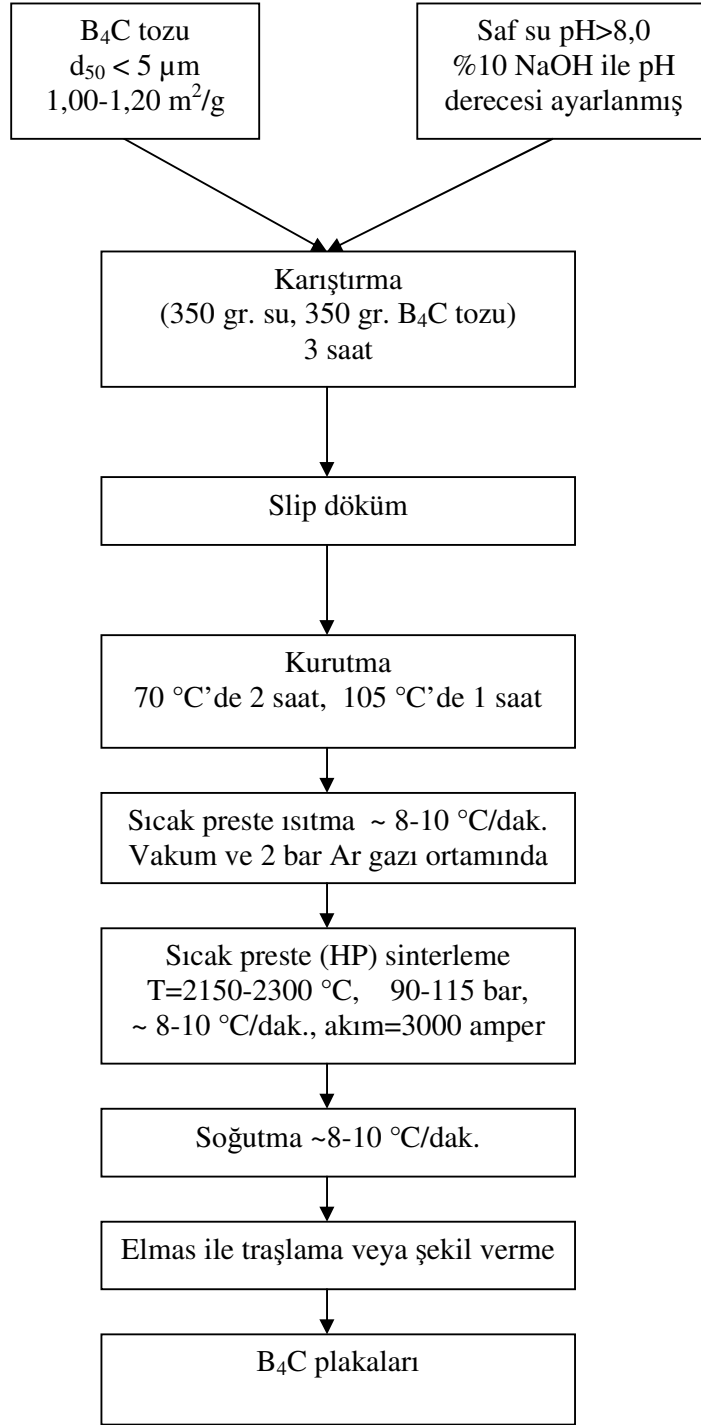
Şekil 3.1 : Sıcak presle B₄C komponentleri üretim yöntemi akış şeması

3.2.2 Enjeksiyonla Kalıplama İş Akım Şeması (AKÜ'de yapılmıştır)



Şekil 3.2: Enjeksiyonlu kalıplama yöntemiyle B₄C bileşenleri üretim akış şeması

3.2.3 Slip Dökümle Üretim İş Akış Şeması (AKÜ'de yapılmıştır)



Şekil 3.3: Slip döküm yöntemiyle B₄C komponentleri üretim akış şeması

3.3 Deneylerde Kullanılan Hammaddeler

3.3.1 Bor Karbür

Bu çalışmada kullanılan bor karbür tozu Kayseri’de faaliyet gösteren BMBT-Bor Teknolojileri adlı firmadan temin edilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan bor karbür tozunun laser sistemli cihazda yapılan tane boyut analizi Çizelge 3.1 ve 3.2’de, XRD analizi de Şekil 3.4 ve 3.5 ‘de sunulmuştur.

Çizelge 3.1 ‘de ve 3.2’de verilen tane boyut analizi sonuçlarına göre deneylerde kullanılan bor karbür tozunun d_{50} boyutunun 4.42 ve 4.61 mikron ve , özgül yüzey alanının ise 1.013 m²/gr ve 1.135 m²/gr olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 3.4 ve 3.5 ‘de verilen XRD paternleri incelendiğinde deneylerde kullanılan tozun büyük bir bölümünün B₄C’den oluştuğu, az miktarda da grafitik karbon içerdiği anlaşılmıştır.

Çizelge 3.1: Deneyleerde kullanılan bor karbür tozunun tane boyut analizi

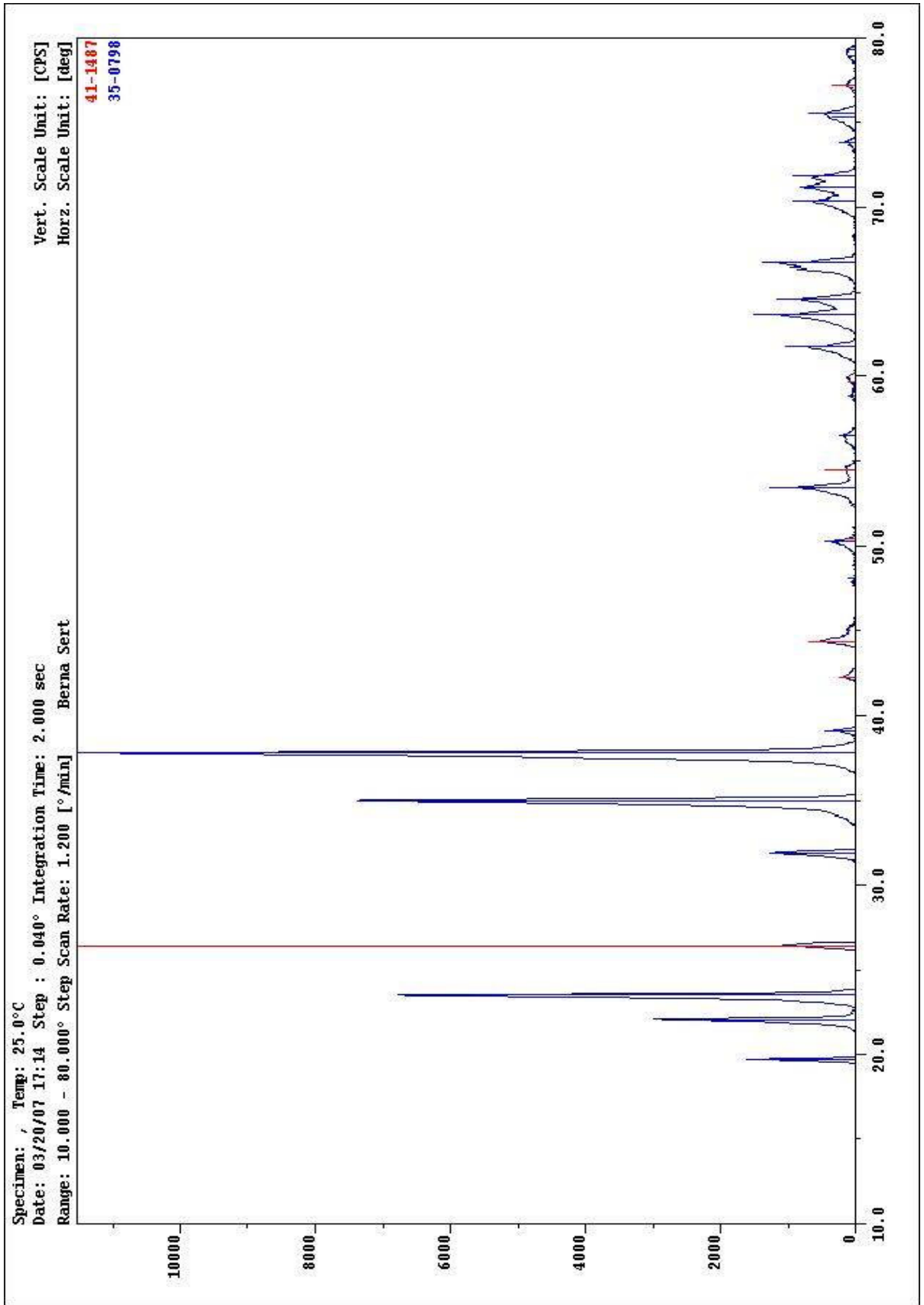
PARTICLE SIZE ANALYSIS BY BT-9300H SYSTEM

SampleName BM0062200307		SampleOwner: BM Boron Technologies									
MediumName Water		MeasureDept: BM Boron Technologies									
Operator: Serife Zor		AnalyDate: 2007-03-20									
Remark:		AnalyTime: 14:44:25									
D(v,0.5)=	4.42 um	D[3,2]=	2.35 um	Obscuration:	22.66						
SSA:	1013.27 m ² /Kg	Sample Ref.Re:	1.900	Sample Ref.Im:	0.000						
D(v,0.03)=	0.50 um	D(v,0.06)=	0.79 um	D(v,0.1)=	1.14 um						
D(v,0.75)=	7.35 um	D(v,0.84)=	9.02 um	D(v,0.16)=	1.62 um						
				D(v,0.97)=	14.61 um						
				D(v,0.98)=	15.79 um						
Diam um	Diff %	Cumu %	Diam um	Diff %	Cumu %	Diam um	Diff %	Cumu %	Diam um	Diff %	Cumu %
0.10 - 0.11	0.00	0.00	0.76 - 0.85	0.96	6.63	5.25 - 5.51	5.34	68.14	44.69 - 49.74	0.00	100.00
0.11 - 0.12	0.00	0.00	0.85 - 0.96	1.05	7.72	5.51 - 7.24	5.20	74.34	49.74 - 55.35	0.00	100.00
0.12 - 0.14	0.00	0.00	0.96 - 1.05	1.24	8.96	7.24 - 8.06	4.92	79.26	55.35 - 61.62	0.00	100.00
0.14 - 0.15	0.00	0.00	1.05 - 1.17	1.42	10.38	8.06 - 8.97	4.53	83.79	61.62 - 68.58	0.00	100.00
0.15 - 0.17	0.14	0.14	1.17 - 1.31	1.61	11.99	8.97 - 9.96	4.01	87.80	68.58 - 76.33	0.00	100.00
0.17 - 0.19	0.15	0.29	1.31 - 1.45	1.82	13.81	9.96 - 11.11	3.42	91.22	76.33 - 84.95	0.00	100.00
0.19 - 0.21	0.16	0.45	1.45 - 1.62	2.05	15.87	11.11 - 12.37	2.78	94.00	84.95 - 94.95	0.00	100.00
0.21 - 0.24	0.18	0.63	1.62 - 1.80	2.32	18.19	12.37 - 13.77	2.15	96.15	94.95 - 105.24	0.00	100.00
0.24 - 0.26	0.21	0.84	1.80 - 2.00	2.61	20.80	13.77 - 15.32	1.95	97.71	105.24 - 117.13	0.00	100.00
0.26 - 0.29	0.24	1.08	2.00 - 2.23	2.91	23.71	15.32 - 17.05	1.05	98.76	117.13 - 130.37	0.00	100.00
0.29 - 0.32	0.28	1.36	2.23 - 2.48	3.23	26.94	17.05 - 18.96	0.96	99.42	130.37 - 145.10	0.00	100.00
0.32 - 0.36	0.31	1.67	2.48 - 2.76	3.56	30.50	18.96 - 21.12	0.38	99.80	145.10 - 161.50	0.00	100.00
0.36 - 0.40	0.37	2.04	2.76 - 3.08	3.91	34.41	21.12 - 23.51	0.20	100.00	161.50 - 179.75	0.00	100.00
0.40 - 0.45	0.42	2.46	3.08 - 3.42	4.24	38.65	23.51 - 26.17	0.00	100.00	179.75 - 200.06	0.00	100.00
0.45 - 0.50	0.48	2.94	3.42 - 3.81	4.57	43.22	26.17 - 29.12	0.00	100.00	200.06 - 222.66	0.00	100.00
0.50 - 0.56	0.56	3.49	3.81 - 4.24	4.85	48.07	29.12 - 32.41	0.00	100.00	222.66 - 247.53	0.00	100.00
0.56 - 0.62	0.63	4.12	4.24 - 4.72	5.10	53.17	32.41 - 36.08	0.00	100.00	247.53 - 275.53	0.00	100.00
0.62 - 0.69	0.73	4.85	4.72 - 5.25	5.27	58.44	36.08 - 40.15	0.00	100.00	275.53 - 307.00	0.00	100.00
0.69 - 0.76	0.83	5.68	5.25 - 5.85	5.35	63.80	40.15 - 44.69	0.00	100.00	307.00 - 344.69	0.00	100.00

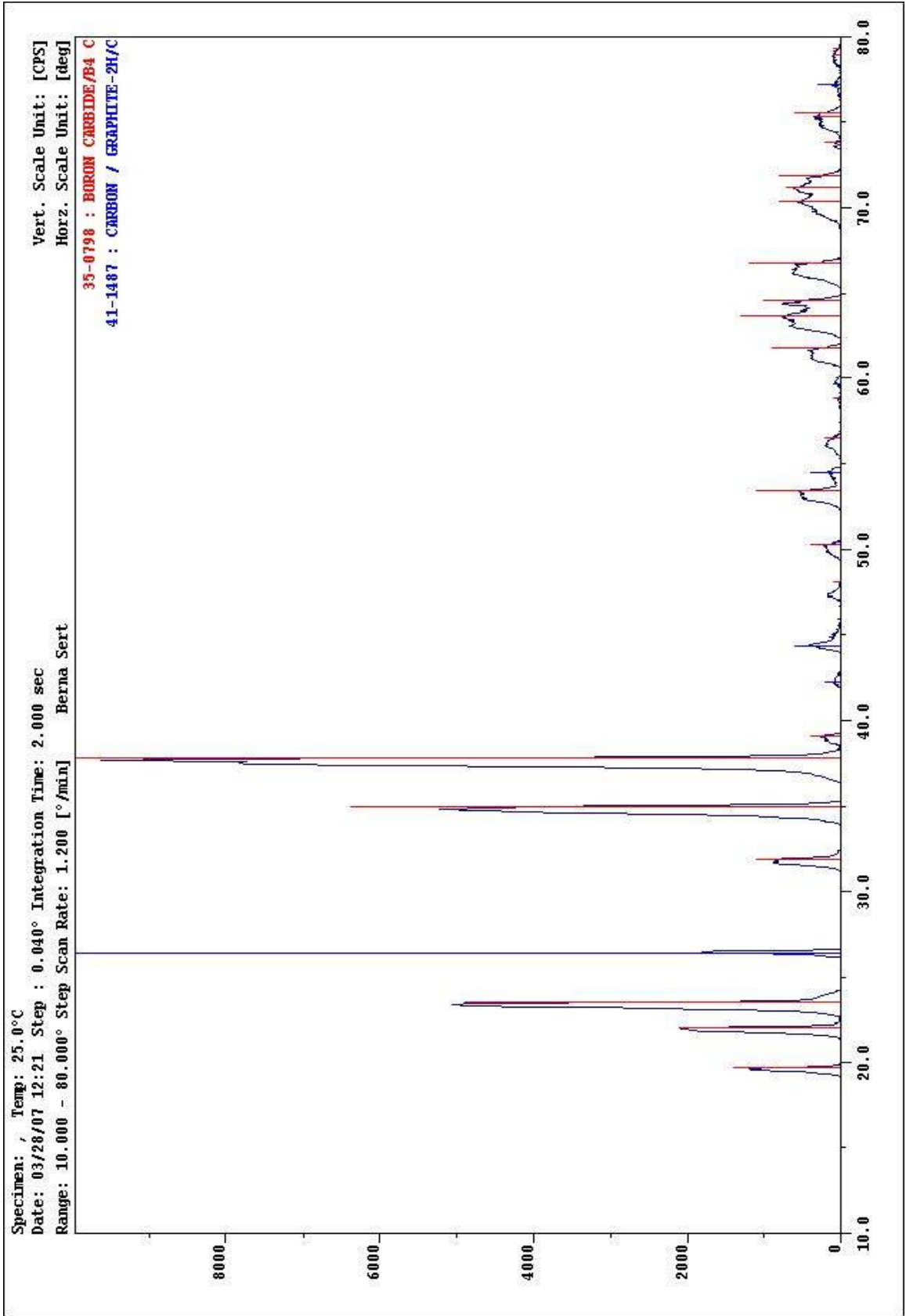
Çizelge 3.2: Deneyleerde kullanılan bor karbür tozunun tane boyut analizi

PARTICLE SIZE ANALYSIS BY BT-9300H SYSTEM

SampleName BM00741230307		SampleOwner: BM Boron Technologies									
MediumName Water		MeasureDept: BM Boron Technologies									
Operator: Serife Zor		AnalyDate: 2007-03-23									
Remark: 30 RPM		AnalyTime: 10:49:44									
D(v,0.5):	4.61 um	D[4,3]:	5.89 um								
		D[3,2]:	2.10 um								
			Obscuration: 30.66								
SSA:	1135.29 m ² /Kg	Sample Ref.Re:	1.900								
		Sample Ref.Im:	0.000								
D(v,0.03):	0.40 um	D(v,0.06):	0.66 um								
		D(v,0.1):	0.99 um								
		D(v,0.16):	1.48 um								
D(v,0.75):	8.22 um	D(v,0.84):	10.40 um								
		D(v,0.9):	12.57 um								
		D(v,0.97):	17.92 um								
		D(v,0.98):	19.60 um								
Diamm um	Diff %	Cumu %	Diamm um	Diff %	Cumu %	Diamm um	Diff %	Cumu %	Diamm um	Diff %	Cumu %
0.10 - 0.11	0.00	0.00	0.76 - 0.86	1.03	8.24	5.86 - 6.51	4.73	64.92	44.89 - 49.74	0.00	100.00
0.11 - 0.12	0.12	0.12	0.86 - 0.96	1.16	9.40	6.51 - 7.24	4.70	89.62	49.74 - 56.36	0.00	100.00
0.12 - 0.14	0.13	0.25	0.96 - 1.06	1.30	10.70	7.24 - 8.06	4.57	74.19	56.36 - 61.62	0.00	100.00
0.14 - 0.15	0.15	0.40	1.06 - 1.17	1.45	12.15	8.06 - 8.97	4.37	78.56	61.62 - 68.58	0.00	100.00
0.15 - 0.17	0.18	0.58	1.17 - 1.31	1.63	13.78	8.97 - 9.96	4.07	82.63	68.58 - 76.33	0.00	100.00
0.17 - 0.19	0.19	0.77	1.31 - 1.45	1.81	15.59	9.96 - 11.11	3.70	86.33	76.33 - 84.96	0.00	100.00
0.19 - 0.21	0.22	0.99	1.45 - 1.62	2.01	17.60	11.11 - 12.37	3.26	89.58	84.96 - 94.56	0.00	100.00
0.21 - 0.24	0.24	1.23	1.62 - 1.80	2.21	19.81	12.37 - 13.77	2.78	92.36	94.56 - 106.24	0.00	100.00
0.24 - 0.26	0.28	1.51	1.80 - 2.00	2.45	22.26	13.77 - 15.32	2.26	94.62	106.24 - 117.13	0.00	100.00
0.26 - 0.29	0.31	1.82	2.00 - 2.23	2.68	24.94	15.32 - 17.06	1.78	96.40	117.13 - 130.37	0.00	100.00
0.29 - 0.32	0.35	2.17	2.23 - 2.48	2.96	27.89	17.06 - 18.96	1.33	97.73	130.37 - 145.10	0.00	100.00
0.32 - 0.36	0.40	2.57	2.48 - 2.76	3.21	31.10	18.96 - 21.12	0.93	98.66	145.10 - 161.50	0.00	100.00
0.36 - 0.40	0.45	3.02	2.76 - 3.08	3.47	34.57	21.12 - 23.51	0.62	99.28	161.50 - 179.75	0.00	100.00
0.40 - 0.45	0.50	3.52	3.08 - 3.42	3.73	38.30	23.51 - 26.17	0.39	99.67	179.75 - 200.06	0.00	100.00
0.45 - 0.50	0.58	4.10	3.42 - 3.81	3.99	42.29	26.17 - 29.12	0.21	99.88	200.06 - 222.66	0.00	100.00
0.50 - 0.56	0.64	4.74	3.81 - 4.24	4.21	46.50	29.12 - 32.41	0.12	100.00	222.66 - 247.83	0.00	100.00
0.56 - 0.62	0.73	5.47	4.24 - 4.72	4.42	50.92	32.41 - 36.08	0.00	100.00	247.83 - 275.83	0.00	100.00
0.62 - 0.69	0.82	6.29	4.72 - 5.26	4.58	55.50	36.08 - 40.15	0.00	100.00	275.83 - 307.00	0.00	100.00
0.69 - 0.76	0.92	7.21	5.26 - 5.86	4.69	60.19	40.15 - 44.69	0.00	100.00	307.00 - 341.69	0.00	100.00



Şekil 3.4: Deneylerde kullanılan bor karbür tozunun XRD paternleri



Şekil 3.5: Deneyslerde kullanılan bor karbür tozunun XRD paternleri

3.3.2. Wax (Parafin)

Moleküler tip bağlayıcılardan organik grupta bulunur. Film bağlayıcı olarak genellikle petrolden elde edilen parafin kullanılır. Parafin tabakalar halinde kristallenmeye meyilli düz zincirli bir hidrokarbon karışımıdır. Bu çalışmada kullanılan parafin, Öztel Kimya Sanayi (İzmir)' den temin edilmiştir.



Resim 3.1: Enjeksiyon kalıplama deneylerinde kullanılan parafin

3.4 Şekillendirme

Şekillendirme yöntemi olarak alçı kalıba döküm ve enjeksiyon kalıplama yöntemleri denenmiştir.

3.4.1. Dökümle Şekillendirme

Dökümle şekillendirme yönteminde disperse halde süspansiyon hazırlanması gerekmektedir. Bu çamurun hazırlanabilmesi için de bor karbürün zpc (zero point of charge- sıfır yük noktası) noktasının belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada zpc noktasının belirlenmesinde tüp yöntemi uygulanmıştır. Zpc noktası tanelerin floküle olduğu noktadır. Bu nokta dışında taneler disperse haldedirler.

3.4.1.1. Bor Karbürün pH-Zetapotansiyel İlişkisinin Belirlenmesi

Bu çalışmada 2 gr borkarbür tozu alınmış, pH=1 olan 15 cc. saf su ile 4 saat süre ile karıştırılmıştır. Bu sırada pH =1 olarak sabit tutulmuştur. Bu süre sonunda süspansiyon 25 cc.'lik tüp'e aktarılmış ve yaklaşık 15 gün bekletilmiştir.

Yukarıda anlatıldığı şekilde pH=2, 3, 4.....ve 10 olan süspansiyonlar da hazırlanarak tüplere aktarılmış ve çökmeye bırakılmıştır. 15 gün sonunda tüplerde oluşan çökelti yükseklikleri Resim 3.2'de verilmiştir.



Süspansiyon pH'ları									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Resim 3.2: Deneylerde kullanılan bor karbür tozunun pH-çökelti yüksekliği değişimi

3.4.1.2 Döküm Çamurunun Hazırlanması

350 ml. saf suya 350 gr. bor karbür tozu yaklaşık olarak 2-3 gr/dak. hızla katılmış, ve pH seviyesi 7'den yukarıda olacak şekilde ölçülmüştür. Çamur içerisinde topaklaşma olmaması ve toplam karıştırma süresinin de yaklaşık 6-7 saat olmasına dikkat edilmiştir.

3.4.1.3 Döküm İşleminin Yapılması

Hazırlanan çamur elle hazırlanan ve resim 3.3'de görülen naylona sarılmış 63x63 mm. ölçülerindeki ahşap kalıplara dökülmüştür. Slip dökülen parçaların kalınlıklarının sinterleme sonrasında düşük gelmesi nedeniyle ahşap kalıp ölçüsü 63x63x35 mm. olan kalıplar tercih edilmiş ve aynı şekilde döküm yapılmıştır.



Resim 3.3: Slip döküm kalıpları

3.4.2 Enjeksiyon Kalıplama

Enjeksiyonla kalıplama AKÜ'de mevcut Teknoser firması tarafından imal edilmiş enjeksiyon makinesinde yapılmıştır.

3.4.2.1 Karışım Hazırlama

650 gram wax ile 1650 gram toz 120 °C ortamda 2-3 saat karıştırılmıştır. Bor karbür tozu içerisine wax azar azar ilave edilmiştir.

3.4.2.2 Şekillendirme

Karışım hazırlama bittikten sonra 60x60x12 mm. kalıp içerisine 5-6 bar basınçta 110-120°C sıcaklıkta enjeksiyon uygulanmıştır. Kalıpta tam doluluk gerçekleşmesine dikkat edilmiştir. Daha sonra parçalar kalıptan soğuma sonrasında çıkarılmıştır.

3.4.2.3 Wax Uzaklaştırma

Parçalar alumina tozu içerisine gömülmüştür. 40°C'den başlamak üzere 150°C'ye kadar saatte 15°C sıcaklık arttırılmış, 150°C'de parçalar 12 saat bekletilmiştir. Daha sonra 600°C'ye kadar saatte 100°C hızda sıcaklık arttırılmış, 300-400°C sıcaklık aralığında waxın uçmasına dikkat edilmiştir. 600°C'de fırında 4 saat bekletilmiş ve oda sıcaklığına soğuyuncaya kadar fırında tutulmuştur.



Resim 3.4: Enjeksiyonla kalıplanan parçaların fırından çıkarılması

3.5 Sinterleme ve Karakterizasyon Çalışmaları

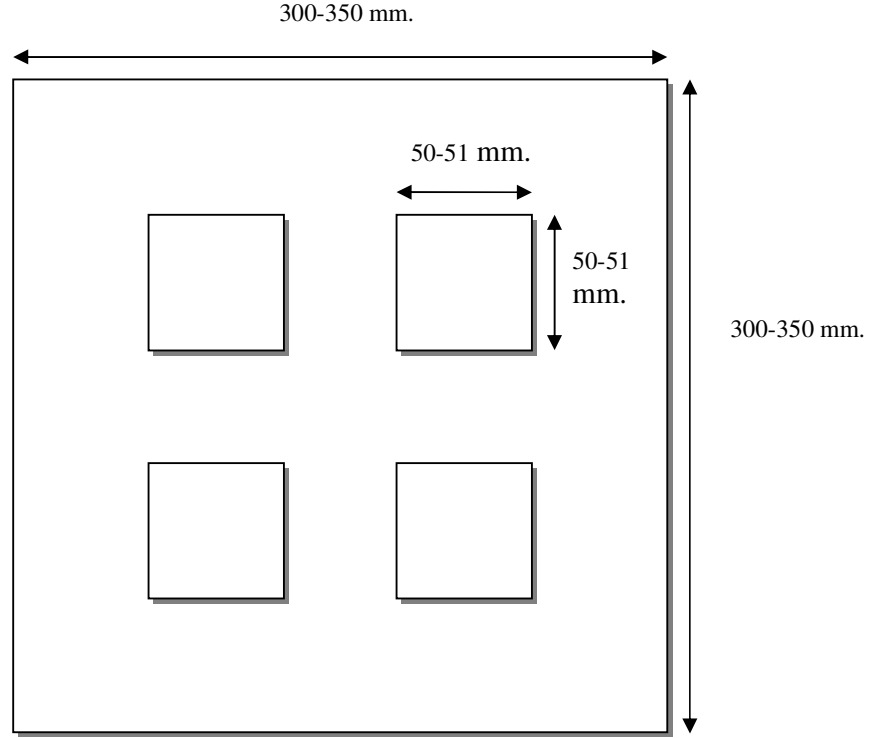
Sinterleme işlemleri Kayseri’de yerleşik Büyük Mihçı Bor Teknolojileri firmasında eş eksenli sıcak preste, 2800-3000 amper akım, 2200°C sıcaklık, vakumlamanın ardından 2-3 bar Argon gazı uygulanarak yapılmıştır. Sıcak presin ısıtılıp soğutulması, hazırlık süreleri de dahil olmak üzere 18-20 saati bulmaktadır. Isıtma hızı yaklaşık olarak 10°C/dak., sinterleme basıncı ise yaklaşık 100 bar olarak hesaplanmıştır. Parçaların sinterlenme süresi ise 100 bar basınç altında yaklaşık 20 dakika kadardır. Bu pres fırında refrakter astar, kalıp malzemesi ve rezistans olarak grafit kullanılmaktadır.



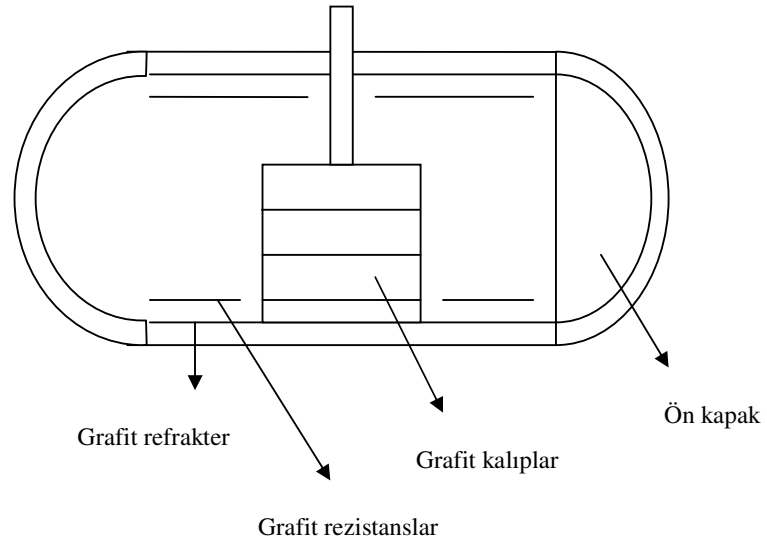
Resim 3.5: HP-Sıcak pres (BM Bor Teknolojileri firması)

Kalıp malzemesi olarak kullanılan grafit kütüklerin içine 50 x 50 mm. (+1mm. toleransla) ebatta her katmanda dört adet olmak üzere plaka yuvaları açılmıştır. Bu yuvalara hem enjeksiyonla hem de slip dökümlerle elde edilen parçalar yerleştirilmiş ve sıcak preste sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. Grafit kalıp teknik resmi şekil 3.6’da gösterilmiştir. Sıcak pres içerisine üstüste bir seferde 4 kalıp yerleştirilebilmektedir.

Sıcak presin ana gövdesi silindirik, ön kapak ve arka gövdesi ise küreseldir. Orta kısımda basınç kolu grafit kalıplara basınç uygulamak üzere tasarlanmıştır ve eş eksenli çalışmaktadır. Sıcak presin direnci ve refrakter sistemi grafitten imal edilmiştir.



Şekil 3.6 : Grafit kalıp taslak çizimi



Şekil 3.7: Sıcak pres taslak çizimi

3.5.1 Enjeksiyonla Kalıplanan Parçaların Sinterlenmesi

Enjeksiyonla kalıplanan parçalarda sinterleme işlemi gerek parçaların ölçülen yoğunluğu, gerekse parçaların ölçülen sertlik değerleri açısından başarısız olmuş, Sıcak prese giren 8 parçadan sadece bir adedi sağlam çıkmıştır. Sıcak prese giren, enjeksiyondan çıkmış parçaların grafit kalıplara, yüksek sıcaklıklarda yapışmayı önleyici bor nitrür tozu sürülmesine rağmen yapıştığı ve parçaların oldukça zor ayrıldıkları gözlenmiştir. Bu nedenle grafit kalıplar hasar görmüş ve kullanılamaz hale gelmiştir. Bu durumun nedeni wax giderme işleminde ve sıcak presleme esnasında wax'ın bor karbür tozundan yeterince ayrılmamış olmasına dayanmaktadır. Enjeksiyonla kalıplanan parçalarda yaklaşık %29 wax varken, 2200°C sıcaklık ve 100 bar basınçta sinterleme işlemi sonrasında bu oranın yaklaşık olarak %20 civarında kaldığı hesaplanmıştır. Wax giderme işleminde daha yüksek sıcaklıklara çıkılması, bor ve karbon atomlarının 750-800 °C sıcaklıktan sonrasında normal atmosferde ayrışması ve borun oksitlenmeye başlaması nedeniyle yürütülememiştir. Bu işlemin yapılabilmesi için vakumlu ortama veya asal gaz içeren ortama ihtiyaç vardır ve bu ortam AKÜ'de mevcut değildir.

Enjeksiyonla kalıplama ile elde edilen parçaların sinterlenmesi sonucunda sadece bir parça sağlam çıkmıştır. Bu konuda detaylı araştırmaya ihtiyaç vardır.



Resim 3.6 : Enjeksiyonla kalıplanan parçaların sıcak preste sinterleme sonrası görünümü

3.5.2 Slip Dökülen Parçaların Sinterlenmesi

Slip dökülen parçalarda bor karbür ve su haricinde başka bir malzeme kullanılmamıştır. Ancak çamurun yoğun olması nedeniyle karıştırma esnasında oluşan kabarcıklar döküm sonrasında çamur içerisinde kalmıştır. 2200°C’de 100 bar basınçta parçalar sinterlenmiştir. Sinterleme esnasında bu kabarcıkların tam olarak giderilememiş olması parçalardan bir miktarının kırılmasına yol açmıştır. Ancak sinterleme sonrasında sağlam çıkan parçalarda sertlik ve teorik yoğunluk değerleri yüksek çıkmıştır. Bu durumun katkı maddesi olarak hiçbir maddenin kullanılmamasına, ayrıca döküm esnasında grafit tozunun yüzmeye başlamasıyla çamurdan uzaklaşmasına bağlı olduğu düşünülmektedir.

Slip dökülen parçalardan uygun görülenlere balistik test uygulanmıştır.

3.5.3 Sinterlenen Parçaların Yoğunluk ve Sertlik Ölçümleri

Sinterleme sonrasında sıcak preste üretim, enjeksiyonla kalıplama ve slip döküm parçalarının sertlik, porozite ve yoğunluk ölçümleri yapılmış ve çizelge 3.3’de kuru ağırlık, su emmiş ağırlık ve su içinde ağırlık ölçümleri ile ilgili aşağıdaki tablo oluşturulmuştur. Sertlik ölçümleri Vickers 2 kg/mm² uca göre, porozite ve yoğunluk ölçümleri ise kuru ağırlık, suda ağırlık ve su emme deneylerine göre oluşturulmuştur.

Çizelge 3.3: Sıcak preste üretim, enjeksiyonla kalıplama ve slip dökülen parça üretimi ile ilgili porozite, yoğunluk, su emme ve sertlik değerleri.

ÜRETİM ŞEKLİ	Kuru ağırlık (gr.)	Su emmiş ağı. (gr.)	Su içinde ağı. (gr.)
Sıcak preste üretim	44.503	44.694	25.911
Enjeksiyonla üretim	32.143	35.568	17.772
Slip döküm (1.parça)	43.940	44.005	25.670
Slip döküm (2.parça)	31.450	31.493	18.262
Slip döküm (3.parça)	32.654	32.699	19.038

ÜRETİM ŞEKLİ	Görünür porozite(%)	Görünür Yoğunluk	Bulk yoğunluk	Kapalı porozite(%)	Toplam porozite	Su emme (%)
Sıcak preste üretim	1.02	2.394	2.369	4.21	5.23	0.43
Enjeksiyonla üretim	19.25	2.237	1.806	8.51	27.75	10.66
Slip döküm (1.parça)	0.35	2.405	2.397	3.79	4.14	0.15
Slip döküm (2.parça)	0.32	2.385	2.377	4.60	4.92	0.14
Slip döküm (3.parça)	0.33	2.398	2.390	4.06	4.39	0.14

Bu sonuçlara göre slip dökümle elde edilen parça, sadece sıcak preste üretilen parçaya göre daha yoğun özgül ağırlığa sahiptir.

Sertlik değerleri ise şöyledir: (Sertlik ölçümleri her parçadan beş sertlik ölçümünün ortalama değerleridir).

ÜRETİM ŞEKLİ	Vickers sertlik (2 kg/mm ²)
Sıcak preste üretim	2790
Enjeksiyonla üretim	485
Slip döküm	3060

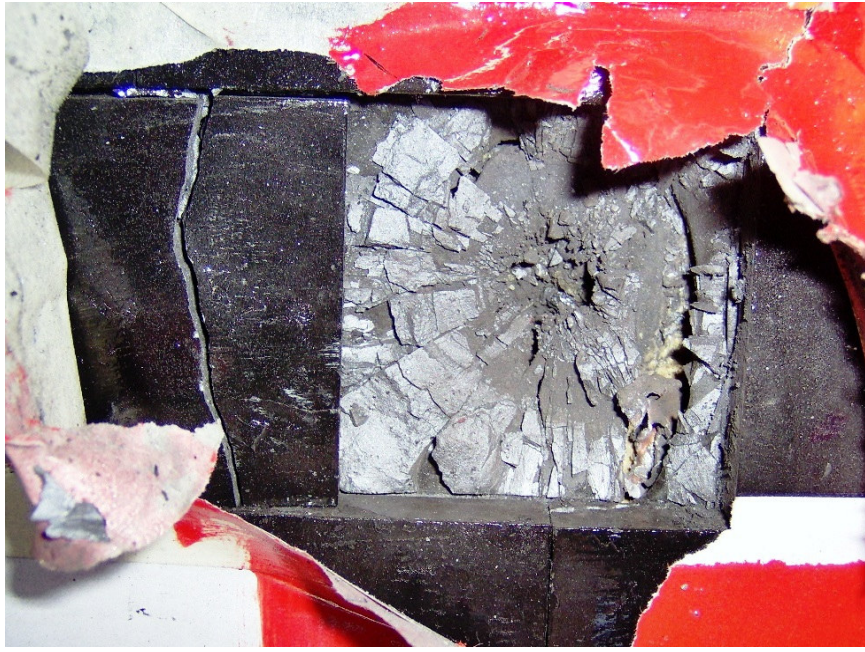


Resim 3.7 : Slip dökümle kalıplanan parçaların sıcak preste sinterleme sonrası görünümü

3.5.4 Balistik Test

Balistik test işlemi Büyük Mıhçı Bor Teknolojileri firmasının atış poligonunda yapılmıştır.

Yalnız slip dökülen parçalara balistik test uygulanabilmiştir. Bu uygulama esnasında 7.62 AP-zırh delici mermi, yaklaşık 50x50x10 mm. ölçülerinde plakalara ~850 m./sn. hızla atılmıştır. Bu atış sonrasında seramik plakaların kırıldığı, ancak mermiyi geçirmediği gözlenmiştir. Balistik test sonucu ve kullanılan mermi resim 3.8 ve 3.9'da verilmiştir.



Resim 3.8 : Balistik test uygulama sonucu



Resim 3.9: 7,62 kalibre mermi

4.TARTIŞMA VE SONUÇLAR:

Önümüzdeki yıllarda malzeme bazlı mühendislik olarak nitelendirilen Ar-Ge faaliyetleri, ürün geliştirme, imalat tasarım gibi etkinliklerin aynı anda müşteri ile birlikte oluşturulması konusu önem kazanacaktır. Buna karşılık maliyetlerin daha düşük, kalitenin daha yüksek olması, ürünlerin daha kısa zamanda pazara sürülebilmesi önem kazanacaktır. Bor karbürün ileri seramik malzemeler içerisinde sahip olduğu üstün özellikler ve bu malzeme ile ilgili araştırmaların günümüze kadar, işin doğası gereği nispeten kısıtlı kalmış olması, bundan sonra bu ileri malzeme ile ilgili yapılabilecek araştırmaların ve çalışmaların bir göstergesidir. Bor karbürün savunma sanayiinde insan hayatını koruyabilecek, insan üzerinde olduğu kadar hava taşıtlarında da kullanılacak önemli bir ileri malzeme olduğu, bu nedenle de Ar-Ge ile açığa çıkarılan önemli miktarda bilginin gizli kaldığı unutulmamalıdır.

AKÜ’de ilk defa yapılan bu tez çalışmasının ana amacı mevcut seramik zırh plaka üretim yöntemlerine değişik bir boyut katabilmek, bu amaçla daha düşük maliyetli, daha basit ve seri üretimi de mümkün olan yöntemleri bor karbüre uyarlayabilmektir.

Bor karbürün enjeksiyonla kalıplanması yönteminde wax’ın uygun düzeye düşürülebilmesi durumunda, bu yöntemle istenilen boyuta çok yakın boyutlarda, plaka haricinde daha ayrıntılı şekle sahip parçalar üretmek mümkün olabilir. Böyle bir durumda pahalı bir işlem olan elmasla traşlama işlemi giderilmiş olabilir. Aynı durum kısmen de olsa slip dökümle kalıplama işlemi için de geçerlidir.

Slip döküm yönteminde, döküm esnasında serbest karbon yüzmüş olduğundan ve bu durum çıplak gözle de görülebildiğinden, sinterleme öncesinde parçaların yüzeyinden bir miktar malzeme traşlanmıştır. Bu durumdan dolayı parçalarda sertlik derecesinin sıcak preste üretim yöntemine kıyasla biraz daha yüksek çıkmasına neden olduğu düşünülmektedir. Öte yandan sıcak preste üretim yönteminde soğuk pres öncesi kompaktlama için yardımcı olmak üzere %2-4 oranında bağlayıcı ilave edilmektedir, bu da yoğunluğu biraz düşürmektedir.

Slip döküm yöntemi oldukça basittir. Bu yöntem için gerekli çamur 2-3 saatte rahatlıkla hazırlanabilmektedir. Diğer bir avantaj ise geleneksel üretim yönteminde, sinterleme öncesi ön sıkıştırma işleminde kullanılan soğuk prese gerek duyulmamasıdır. Böylelikle yatırım maliyeti açısından tasarruf sağlanabilecektir. Aynı durum enjeksiyonla kalıplama için de kısmen geçerlidir. Slip döküm yönteminde yoğunluğun daha yüksek çıkması amacıyla, çamur

içerisindeki kabarcıklar azaltılacak şekilde daha değişik yoğunluklarda çamur hazırlanabilir ve en iyi sonucu sağlayacak toz/su oranı tespit edilebilir.

Ancak enjeksiyonla kalıplanan parçaların sinterlenmesi esnasında karşılaşılan zorlukları aşabilmek ayrı bir araştırma konusu olmalıdır. Enjeksiyon sonrasında waxın tamamıyla giderilmesi gerekmekte, öte yandan SiC, Al₂O₃ gibi tozlarla yapılan wax giderme çalışmalarında edinilen bilgiler ve alışkanlıklar B₄C tozunda başarılı sonuç vermemektedir. Bu konuda Schwetz K. v.d. (1997) yaptıkları çalışmada wax yerine Novolac tipi reçine ve karbon siyahı kullanımı üzerine ve çıkan parçaların mekanik özelliklerine değinmişlerdir. Söz konusu çalışma Sıcak İzostatik Pres'de (HIP-Hot Isostatic Press) yürütülmüştür.

Bu çalışma sonrasında elde edilen en önemli sonuçlardan birisi, gerek enjeksiyonla kalıplama, gerekse slip döküm yöntemlerinde yoğunluk değerlerinin sertlik değerleriyle doğru orantılı olmasıdır. Bu nedenle yapılan tüm basınç altındaki sinterleme çalışmaları, sıcak izostatik pres temin edilebilmesi durumunda hem parça yoğunlukları, hem de sertlik değerleri, dolayısıyla balistik koruyucu özellik açısından çok daha iyi netice vereceği muhakkaktır.

Bu tez çalışması esnasında Büyük Mıhçı Bor Teknolojileri firmasının bir özel sektör firması olması ve bu tez çalışması sırasında üretimlerinin yoğun olması, firmanın bu üretim alanında hem bor karbür tozunu, hem de bor karbür parçalarını kendi bünyesinde üreten, Türkiye'de tek firma olmaları ve kendi üretim bilgilerini gizli tutmak gereği nedeniyle bazı sonuçlara oldukça geç erişilmiştir.

5. KAYNAKÇA:

Bengisu M., 2001, Engineering Ceramics, Springer Verlag.

Brodhag C., Thevenot F., 2002, "Progress in Hot Pressing: Transitory Phenomena During Temperature Changes", Ceramic Powder Science II B, vol.1, Ceramic Transactions.

Columbus Laboratories, August 1979, Engineering Property Data on Selected Ceramics, Vol.II (Carbides), Metals and Ceramics Information Center, Battelle, Ohio.

Çakır T., Yıldırım O., Ögel B., 2004, "Zırhlı Araçlarda 7.62 AP Mermilerine Karşı Seramik Ön Yüzlü Zırhların Kullanımı", OTEKON '04, Otomotiv Teknolojileri Kongresi, 21-23 Haziran 2004 Bursa.

Çalık M., 2004, "Zırh Tasarımında Kullanılan Farklı Geometriye Sahip Kompozit Kabukların Balistik Özellikleri", Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.

Geçkinli E., 1992, İleri Teknoloji Malzemeleri, İTÜ Matbaası, Sayı:1454.

Gooch W.A. Jr., 2001, "An Overview of Ceramic Armor Applications", U.S. Army Research Laboratory, Ceramic Armor Materials by Design, The American Ceramic Society.

James B., 2001, "Practical Issues in Ceramic Armor Design", Defence Science and Technology Laboratories, Ceramic Armor Materials by Design, The American Ceramic Society.

Kalandadze G.I., Shalamberidze S.O., Peikrishvili A.B., 2000, "Sintering of Boron and Boron Carbide", J.of Solid State Chemistry 154, 194-198.

Messing G.L., 1996, Ceramic Processing Class Notes, Pennsylvania State University Press.

Munz D., Fett T., 1999, Ceramics- Mechanical Properties, Failure Behaviour, Materials Selection, Springer Series in Materials Science.

NIJ-National Institute of Justice Standard 0101.04, 2001, "Ballistic Resistance of Personal Body Armor".

Normandia M., Gooch W., 2001, "An Overview of Ballistic Test Methods of Ceramic Materials", U.S. Army Research Laboratory, Ceramic Armor Materials by Design, The American Ceramic Society.

Roy T.K., Subramanian C., Suri A.K., 2006 , "Pressureless Sintering of Boron Carbide", Ceramics International 32, (2006) 227-233

Schwetz K., Sigl L., Pfau L., 1997, "Mechanical Properties of Injection Molded B₄C-C Ceramics", J. of Solid State Chemistry 133, 68-76 (1997)

Thevenot F., 1990, "Boron Carbide-A Comprehensive Review", J. of the European Ceramic Society 6 (1990) 205-225.

Wilkins M.L., Honodel C., Sawle D., 1967, "Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA Report No: UCRL-50284", Part VIII-Use of Boron Compounds in Lightweight Armor.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı Şeref K. TELLİOĞLU
Doğum Yeri Ankara
Doğum Tarihi 14 Ekim 1962
Medeni Hali Evli
Yabancı Dili İngilizce-Almanca

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise 1981 TED Ankara Koleji
Lisans 1989 ODTÜ, Mühendislik Fakültesi,
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl aralığı

1988-1989 Inca-Injecta A.G.-İsviçre, Üretim Mühendisi
1989-1992 Erkunt Sanayi A.Ş., Üretim Mühendisi
1992-1994 Demisaş A.Ş., Üretim Mühendisi
1994-2000 Aselsan A.Ş., Malzeme Tedarik Mühendisi
2000-2001 Noksel Çelik Boru Sanayi A.Ş.,
Yurtdışı Pazarlama Mühendisi
2002-Halen Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi,
Afyon Meslek Yüksek Okulu Öğretim Görevlisi

Yayınları (SCI ve diğer)

Diğer konular