

SAF VE BOR KARBÜR TAKVİYELİ ALÜMİNYUM TOZLARININ ULTRA YÜKSEK FREKANSLI İNDÜKSİYON JENERATÖRÜ İLE SİNERLENMESİ

Batuhan Karaca*

Celal Bayar Üniversitesi,
Makine Mühendisliği Bölümü, Manisa
karaca_batuhan@hotmail.com

Uğur Çavdar

Yrd. Doç.,
Celal Bayar Üniversitesi,
Turgutlu MYO, Makine Bölümü, Manisa
ugur.cavdar@cbu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, saf ve bor karbür takviyeli alüminyum tozlarının 900 kHz'lik indüksiyon jeneratörü kullanılarak 1,12 kW güç ile sinterlenmesi incelenmiştir. Alüminyum ve alüminyum esaslı toz metaller açık atmosferde 3 MPa basınç altında soğuk olarak preslenerek şekillendirilmiştir. Elde edilen numuneler, ultra yüksek frekanslı indüksiyon sistemi ile 600°C ve 630°C sıcaklıklarında, 30 saniye bekleme sürelerinde sinterlenmiştir. Elde edilen saf ve bor karbür takviyeli alüminyum parçaların mekanik özellikleri incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, alüminyum toz metal (TM) parçaların başarılı şekilde indüksiyon ile sinterlendiği görülmüştür. Mekanik özellikler, mikroyapı özellikleri ve sertlik değerleri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ultra yüksek frekanslı indüksiyon ile sinterleme, toz metalürjisi, alüminyum, bor karbür

ULTRA HIGH FREQUENCY INDUCTION HEATED SINTERING OF PURE AND BORON CARBIDE ADDED ALUMINIUM

ABSTRACT

In this study, the sintering of pure Al and boron carbide added Al powders was researched by using an induction generator which has 900 kHz frequency and 1.12 kW power. The Al and Al-based powder metals were shaped under open air and 3 MPa pressure conditions by using the cold pressing technique. The obtained specimens sintered with ultra high frequency induction system at 600-630°C during 30 seconds. The mechanical properties of obtained pure and boron carbide added Al particles was researched. According to the researches, Al powder metal particles can be sintering successfully with induction. Mechanical properties, micro structural properties and hardness values were investigated for all processes. The results were compared with each other.

Keywords: Ultra high frequency induction heated sintering, powder metallurgy, aluminium, boron carbide

* İletişim yazarı

Geliş tarihi : 11.08.2014
Kabul tarihi : 29.09.2014

Karaca, B., Çavdar, U. 2014. "Saf ve Bor Karbür Takviyeli Alüminyum Tozlarının Ultra Yüksek Frekanslı İndüksiyon Jeneratörü ile Sinterlenmesi," Mühendis ve Makina, cilt 55, sayı 657, s.59-64.

1. GİRİŞ

Metall malzemeler içinde alüminyum ve alaşımları, gerek saf, gerekse alaşım olarak en yaygın kullanılan malzeme gruplarından biridir. Saf alüminyumun oksijene ilgisinden dolayı döküm kabiliyetinin kötü oluşu ve düşük mekanik özellikler göstermesi gibi istenmeyen özellikleri vardır [1].

Alaşımlama yapılarak bu özelliklerde gelişme sağlanabilmektedir. Alüminyum alaşımlarının yaygın kullanılmasının sebebi;

- Dayanım/özgül ağırlık oranının yüksek olması,
- Elektrik iletkenliği/özgül ağırlık oranının yüksek olması,
- Atmosfere ve diğer ortamlara karşı korozyon direncinin iyi olması,
- Plastik deformasyon kabiliyetinin iyi olmasıdır [2].

Alüminyum oksit gibi dimanyetik malzemeler, dış bir manyetik alan tarafından uyarılan elektronlarının yörünge hareketinde değişimler meydana getirir. Fakat alüminyum gibi paramanyetik malzemelerde kalıcı atomal dipoller, uygulanan dış manyetik alan doğrultusunda tek tek yönelir. Her iki tip malzemede manyetik alan varlığında küçük manyetiklik kazandığı için, manyetik olmayan malzemeler olarak değerlendirilebilir; paramanyetik malzemeler zor da olsa indüksiyon akımından etkilenip ısıtılabilirler [3].

Bor karbür, sert ametal grubunda özel bir yere sahip, oksit olmayan seramik bir malzemedir. Kimyasallara karşı yüksek kararlılığı, iyi mukavemet özellikleri, nötron emme kabiliyeti, düşük yoğunluğu gibi birçok üstün özelliği ile zırh uygulamaları, nükleer reaktörlerde kontrol çubuğu, kesici ve delici uçlar, aşındırıcılar gibi birçok kullanım alanına sahiptir. İleri teknolojik seramik malzemesi olan bor karbür, elmas ve kübik bor nitrürden (cBN) sonra en sert üçüncü malzemedir [4].

Seramik partiküllerin sıvı alaşım tarafından ıslatılmasındaki güçlük nedeniyle, ilk olarak geliştirilen kompozit üretim yöntemi toz metalürjisidir. Bu yöntemde whisker veya partikül şeklindeki takviye malzemesi ile metal veya alaşım tozları karıştırılır. Bu karışım daha sonra soğuk ya da sıcak presleme ile kalıplanır. Soğuk preslemeden sonra ürün, partikül veya matris ara yüzey mukavemetinin artırılması amacıyla sinterlenir.

Sinterleme sonrasında %75-85 yoğunluğa sahip ara ürün elde edilir [5].

Toz metalürjisi yöntemi, genelde takviyelenecek parçacıklara sahip matris alaşımının tozlarının karışımını, preslenmesini ve katı hal sinterlemesini içerir. Bu, takviye ile matris arasındaki az reaksiyonun olduğu, diğer yöntemlerden daha düşük sıcaklıkların kullanılması anlamını taşır. İyi bir mikroyapı elde edebilmek için karışımda bütün parçacıkların homojen dağılması önemlidir [5].

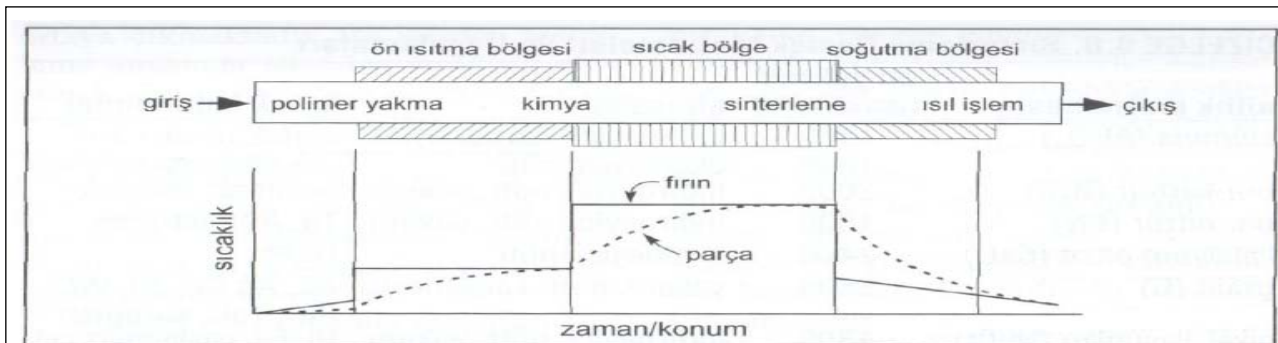
Toz metalürjisi, çeşitli metal işleme teknolojileri arasında en farklı üretim tekniğidir. Yüksek kaliteli ve karmaşık parçaların ekonomik olarak üretilebilmesi, toz metalürjisini cazip kılmaktadır. Toz metalürjisi, farklı boyut, şekil ve paketlenme özelliğine sahip tozları hassas, sağlam ve yüksek performanslı parçalara dönüştürür. Bu işlem; şekillendirme veya presleme ve daha sonra parçacıkların sinterleme yoluyla ısıl bağlanması basamaklarını içerir. Toz metalürjisi, nispeten düşük enerji tüketimine, yüksek malzeme kullanımına ve düşük maliyete sahip otomatikleşmiş işlemleri verimli kullanır [1].

Sinterleme, tozların yüzey alanının küçülmesi, partikül temas noktalarının büyümesi ve buna bağlı olarak gözenek şeklinin değişmesine ve gözenek hacminin küçülmesine neden olan ısıl olarak aktive edilmiş malzeme taşınımı olarak tanımlanabilir [6].

Sıkıştırılmış toz parçaları arasındaki bağlantı yapışma, mekanik kitlenme ve benzeri türden zayıf bağlar olup, kristal kafes içerisindeki bağ dayanımına kıyasla çok zayıf kalmaktadır. Bu sebeple; sıkıştırılmış ham yoğunluktaki (TM) parçalarına mukavemet ve yüksek yoğunluk kazandırmak amacıyla ergime noktasının altındaki sıcaklıkta ısıl işlem uygulanır [6].

Sinterleme fırını, sinterleme döngüsünde sıcaklığı ve zamanı kontrol eder. Buna ek olarak, atmosferi tutar, yağlayıcı ve bağlayıcıların giderilmesini sağlayarak sinterleme sonrası parçaya ısıl işlem imkânı sunar [6].

Çoğunlukla fırın çıkışlarında atıkları yakmak için bir yakıcı bulunmaktadır. Fırın bu işlemleri parti veya sürekli sinterleme şeklinde yapar. Şekil 1’de sinterleme için tipik sıcaklık–zaman döngüsü gösterilmektedir. Parti ve sürekli fırınlar arasındaki fark, fırın sıcaklığı–zaman veya parça konumu–zaman ilişkilerinin kontrolüne bağlıdır [6].



Şekil 1. Bir Sinterleme Fırınındaki İşlemler Zincirinin Şematik Gösterimi [6]

İndüksiyon jeneratörü ile sinterleme, değişken akım taşıyan iletken bobin ile sağlanır. Bobinde oluşan akım, toz malzeme içinde girdap akımına neden olan manyetik alanı oluşturur. Bobin, genellikle bakırdan meydana gelir. İçerisinden soğutma suyu geçer. İletken olmayan malzemeler için, indüksiyon bobini içinde manyetik akıyı çekecek farklı bir iletken ihtiyacı vardır. İletken malzeme, manyetik akıyı çekerek ısıtır ve yalıtkan malzemeye ısıyı iletir [7].

İndüksiyon jeneratörü ile sinterlemenin en önemli özelliği, hızlı ısınma gerçekleştirmesidir. Genel olarak malzemelerin yüzeylerini ısıtmada kullanılır. İşlem görece malzemeyi bir seferde ısıtır. Isı transferi diğer ısıtma sistemlerinden 3000 kat daha iyidir. Genellikle indüksiyon bobininin boyu/çapı malzemenin boyundan/çapından biraz daha büyüktür. Kısmi ısıtma yapılacak malzemelerde ise bobin boyu, ısıtma yapılacak yüzeyin boyundan biraz kısa alınır [7].

Çavdar, demir esaslı TM numunelerin 30-50 kHz frekansta bir sinterleme işlemini doktora çalışmasında gerçekleştirmiştir [19]. Ayrıca Çavdar, Atik ile birlikte, metal malzemelerin orta frekanslı (30-50 kHz) indüksiyon ile sinterlenmesi [8, 9, 10] hakkında yaptıkları çalışmaları yayımlamışlardır. Shon ile arkadaşları [11] ve Khalil ile arkadaşları [12], yüksek frekanslı indüksiyon ile sinterleme hakkında çalışmışlardır. Kang ile arkadaşları [13], Alizadeh ile arkadaşları [14] ve Vintila ile arkadaşları [15], bor karbür takviyeli alüminyum malzemeleri farklı yöntemler ile sinterledikleri çalışmalarını yayına dönüştürmüşlerdir. Yoo ile arkadaşları [16], Kim ile arkadaşları [17] ve Shon ile arkadaşları [18], yüksek frekanslı indüksiyon (50kHz) jeneratörü ile farklı malzemelerin sinterlenmesi üzerine çalışmışlardır. Orta ve yüksek frekanslı indüksiyon ile sinterleme çalışmalarına alternatif olarak düşündüğümüz bu çalışmada, 900 kHz’lik ultra yüksek indüksiyon, yani diğer çalışmalarda kullanılan indüksiyondan yaklaşık 18 kat daha yüksek bir indüksiyon sistemi kullanılmıştır.

İndüksiyon frekansı ile indüksiyon sisteminin malzeme üstünde oluşturmuş olduğu manyetik alan ters orantılı olarak değişmektedir. Bu manyetik alanın incilmesi malzeme üstünde oluşan penetrasyon derinliğini de azaltmaktadır. Böylece ultra yüksek frekanslı indüksiyon jeneratörü ile numunemiz sinterlenirken dış yüzeydeki çok ince bir tabaka indüksiyon etkilenecektir. Eğer numunemizde indüksiyon akımından dolayı istenmeyen bir tabaka meydana gelecekse, ultra yüksek frekanslı indüksiyon sistemi ile bu tabaka çok ince bir seviyeye getirilecektir.

Bu çalışmada, saf alüminyum ve ağırlıkça %1, 5, 10, 30, 50

Tablo 3. Numunelerin Kimyasal Kompozisyonları ve Sinterleme Sıcaklıkları

Numune Numarası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
% Ağırlıkça Al	100	100	99	99	95	95	90	90	70	70	50	50
% Ağırlıkça B ₂ C	-	-	1	1	5	5	10	10	30	30	50	50
Sinterleme Sıcaklığı	600°C	630°C	600°C	630°C	600°C	630°C	600°C	630°C	600°C	630°C	600°C	630°C

bor karbür takviyeli alüminyum matrisli toz sermetlerin yüksek frekanslı indüksiyon jeneratörü ile sinterlenmesi incelenmiştir. Elde edilen numunelerin mikroyapı, sertlik ve yüzey pürüzlülüğü özellikleri karşılaştırıldı. Bu araştırmanın amacı; yüksek frekanslı indüksiyon jeneratörü ile gerçekleştirilen sinterleme işlemi sonucu bor karbür takviyesinin, alüminyum TM malzemelerin mekanik özelliklerinin nasıl etkilendiğinin deneysel olarak incelenmesidir.

2. MATERYAL VE METOTLAR

Tablo 1. Al Tozunun Kimyasal Kompozisyonu

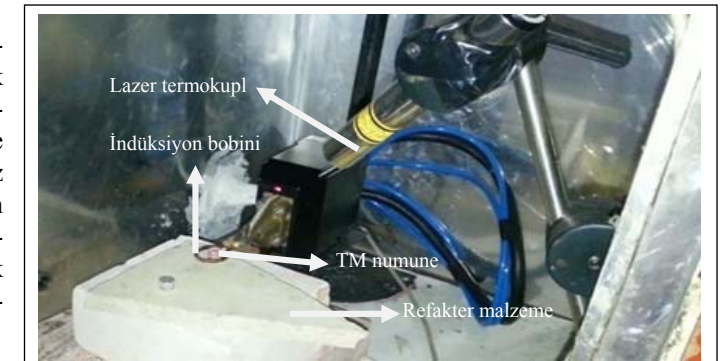
Bileşen	Al (min)	Fe (max)	Si (max)	Cu (max)	Zn (max)	Ti (max)
Ağırlıkça %	99,6	0,3	0,2	0,04	0,05	0,04

Tablo 2. B₂C Tozunun Kimyasal Kompozisyonu

Bileşen	B	C	Serbest B	Serbest C	Fe ₂ O ₃
Ağırlıkça %	78	20,13	0,1	0,92	0,17

Alüminyum tozlar, homojen bir karışım elde etmek için V tip karıştırıcılarda 30 dakika süre ile 35 devir/dakikada, ağırlıkça %1, 5, 10, 30 ve 50 oranlarda bor karbür eklenerek karıştırılmıştır. Elde edilen numuneleri, kimyasal kompozisyonları ve sinterleme sıcaklıkları Tablo 3’te verilmiştir.

Elde edilen alüminyum–bor karbür toz karışımlarına ve saf alüminyum toz metaline açık atmosferde 3 MPa basınç altında tek eksenli soğuk presleme uygulanmıştır. 1,12 kW güç ve 900 kHz yüksek frekanslı indüksiyon jeneratörü ile 30 saniye boyunca sinterleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Sinterleme işlemi süresince malzemelerin sıcaklığı infrared termometre ile ($\pm 5^\circ\text{C}$) kontrol edilmiştir. Bütün numuneler doğal ortam-



Şekil 2. Ultra Yüksek Frekanslı İndüksiyon Sinterleme Sisteminin Görüntüsü

da soğumaya bırakılmıştır. Her bir işlem için üçer adet farklı numune kullanılmış ve sonuçlar bunların ortalaması alınarak verilmiştir.

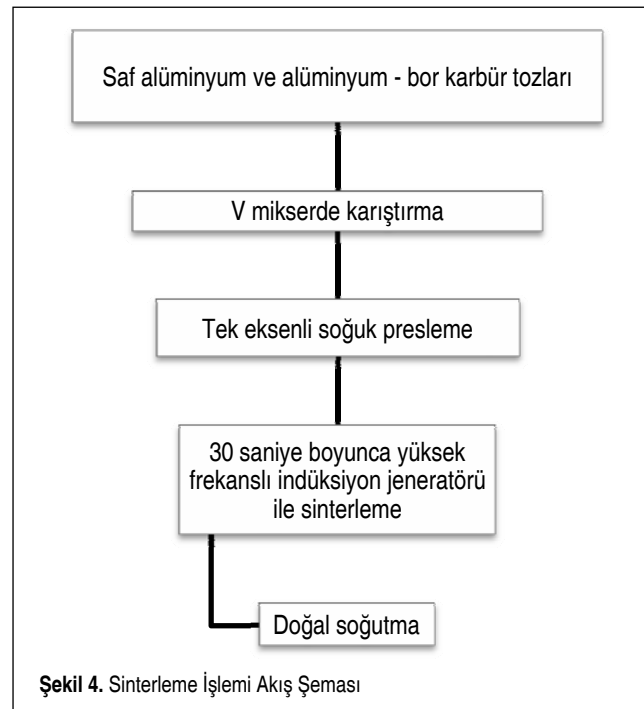
Sinterleme işlemi için yatay bir bobin tasarlanmıştır. Bu bobin, 4 mm çapa ve 0,5 mm et kalınlığına sahiptir. Bobin teli çapı 15 mm olacak şekilde tek sarımlı olarak tasarlanmıştır. Şekil 2’de sinterleme işlemi öncesi indüksiyon bobini ve içindeki bir numune görülmektedir. Bakalite alınan numuneler ise Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3. Bakalite Alınmış Numuneler

Tablo 4. Toz Metallerin Ultra Yüksek Frekanslı İndüksiyon Jeneratörü ile Sinterlenmesi İşleminin Parametreleri

Parametre	Sinterleme için Uygulanan Değerler
Maksimum sıcaklık	600 ve 630°C
Güç kapasitesi	1,2 kW
Frekans	900 kHz
Sinterleme süresi	30 saniye
Isınma hızı	~20 °C/s
Soğuma hızı	Doğal soğuma
Sinterleme ortamı	Atmosfer



Şekil 4. Sinterleme İşlemi Akış Şeması

Numunelerin ultra yüksek frekanslı indüksiyon jeneratörü ile sinterlenmesine ait işlem parametreleri Tablo 4’te verilmiştir. Sinterleme işleminin basamakları da akış şeması olarak Şekil 4’te gösterilmiştir.

Oluşan tüm numunelerin ortalama yüzey pürüzlülükleri Mitutoyo Surf Test SJ-301 Profilometre Cihazı’nda ölçülmüştür. Brinell sertlik ölçümleri DuraVision 20 Sertlik Ölçüm Cihazı’nda 31,25 kg yük altında, 12 saniye boyunca ve 1,67 mm aralıklarla yapılmıştır. Numunelerin mikroyapıları Meiji Metal Mikroskobu’nda incelenerek fotoğraflanmıştır.

3. ARA DEĞERLENDİRME

Ana malzeme yapısındaki takviye elemanlarının (B_4C) yapı içerisinde homojen bir şekilde dağıldığı görülürken, matris olan α -Alüminyum dendritlerinin tane sınırlarının net bir şekilde görüldüğü belirlenmiştir.

Takviye elemanlarının ısı tesiriyle yerlerinden çıkarak boşluklar oluşturduğu, sinterleme işleminin bitmesi sonucu ısının etkisini yitirmesiyle katılaşma meydana geldiği ve katılaşmanın bu boşlukların neredeyse tamamını kapamasına neden olduğu düşünülmektedir (Şekil 5).

Malzeme içerisinde ağırlıkça bor karbür yüzdesi arttıkça takviye malzemesinin matris içerisinde düzgünce dağıldığı görülmektedir. Bu durum, malzemenin mukavemetine pozitif bir etki yapmaktadır (Şekil 6).

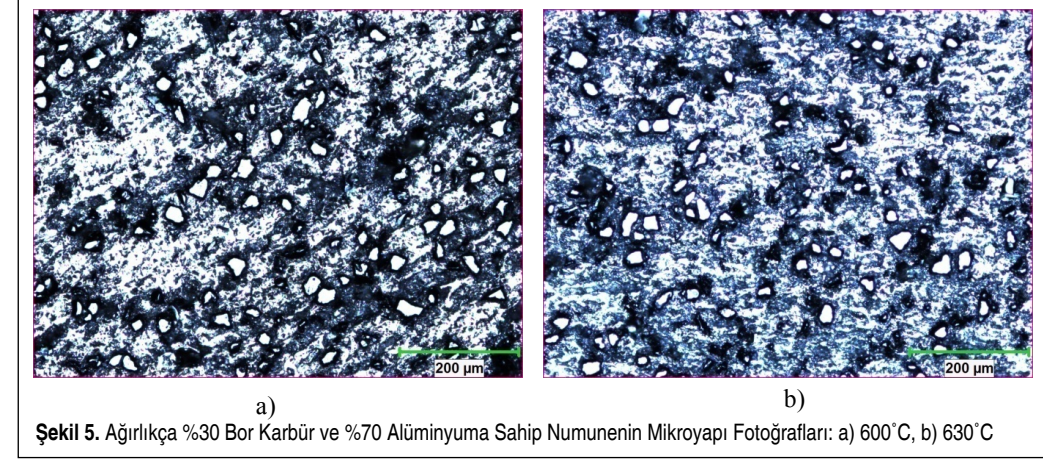
Takviye malzemesi ile matris arasındaki bağ, 630°C’de 600°C’dekine göre daha sağlamdır ve poroziteler kısmen azalmıştır (Şekil 7).

Kang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, [13] mikroyapı fotoğraflarını incelediklerinde tozların öğütülmesi ve karıştırılması sırasında oksitlendiğini ve karışım içerisinde eser miktarda bor oksit (B_2O_3) ve alüminyum oksit (Al_2O_3) oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Aynı zamanda sinterleme işlemi süresince B_2O_3 ’ün Al ile tepkimeye girmesinin sinterleme sıcaklığı düşürmeye olumlu etkisi olduğunu düşünmüşlerdir.

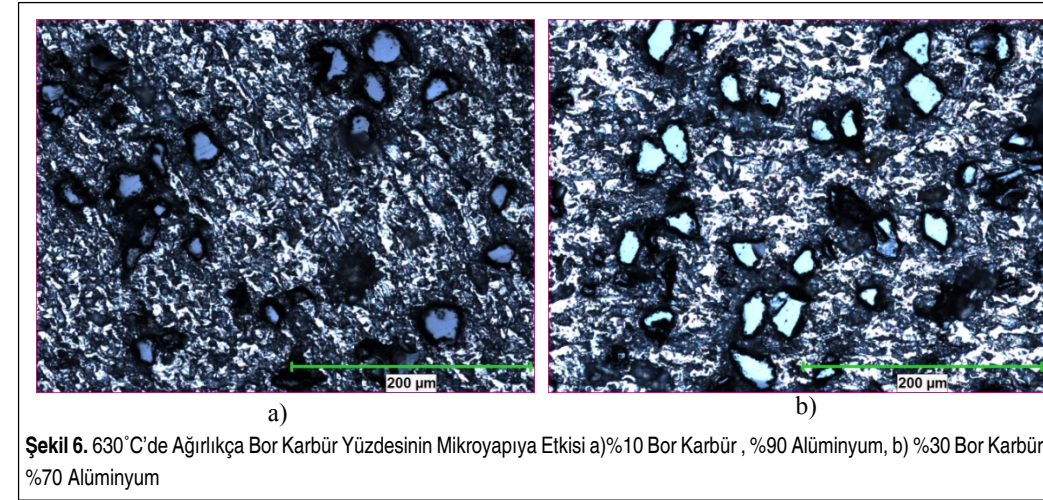
Elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri ile varılan sonuç, aynı kimyasal kompozisyona sahip numunelerde sinterleme sıcaklığı 600°C’den 630°C’ye çıkarıldığında ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığıdır. Aynı zamanda numunenin yapısında bulunan bor karbür oranı arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığı görülmüştür. %50 alüminyum ve %50 bor karbürden oluşan malzemenin ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin, saf alüminyumdan oluşan malzemeninkinden yaklaşık 5 kat fazla olduğu belirlenmiştir. Tablo 5’te numunelere ait ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmiştir.

Makro sertlik ölçümünden elde edilen değerlerle varılan sonuç ise aynı kimyasal kompozisyona sahip numunelerde sinterleme sıcaklığı 600°C’den 630°C’ye çıkarıldığında sertlik değerinin azaldığıdır. Aynı zamanda numunenin yapısında bulunan bor karbür oranı arttıkça sertlik değerinin arttığı görülmüştür.

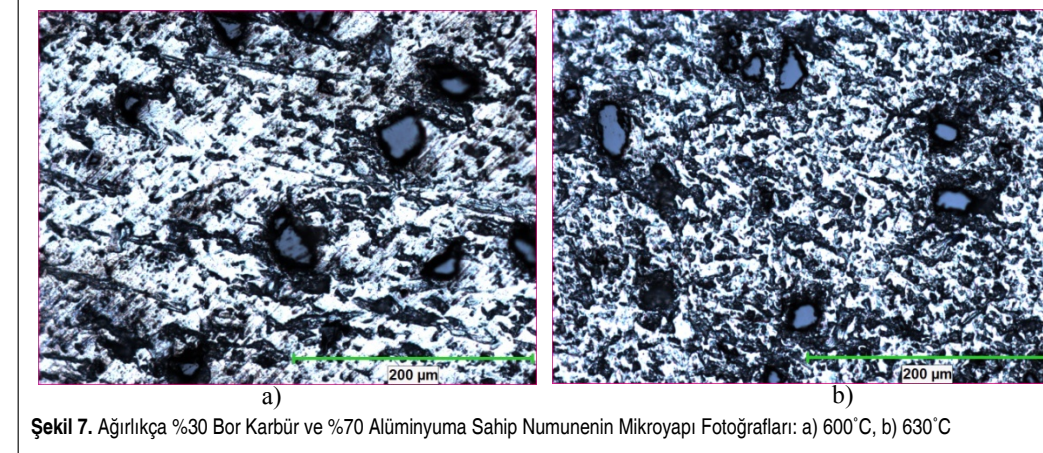
Alizadeh ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada da takviye mal-



Şekil 5. Ağırlıkça %30 Bor Karbür ve %70 Alüminyuma Sahip Numunenin Mikroyapı Fotoğrafları: a) 600°C, b) 630°C



Şekil 6. 630°C’de Ağırlıkça Bor Karbür Yüzdesinin Mikroyapıya Etkisi a) %10 Bor Karbür, %90 Alüminyum, b) %30 Bor Karbür, %70 Alüminyum



Şekil 7. Ağırlıkça %30 Bor Karbür ve %70 Alüminyuma Sahip Numunenin Mikroyapı Fotoğrafları: a) 600°C, b) 630°C

zemesinin malzeme içerisindeki ağırlıkça yüzdesi arttıkça, sertlik değerinin arttığı belirtilmiştir [14].

Her bir numune için eşit aralıklarla (1,67 mm - 8,33 mm) sertlik ölçümleri alınmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde, en

yüksek sertlik değerine numunelerin merkezlerinde (5mm’de) ulaşılmıştır. %50 alüminyum ve %50 bor karbürden oluşan malzemenin sertlik değerinin, saf alüminyumdan oluşan malzemeninkinden yaklaşık 1,5 kat fazla olduğu saptanmıştır.

Tablo 5. Numunelerin Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri

Numune Numarası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	0,46	0,56	0,54	0,67	0,65	0,72	0,84	1,11	0,93	1,19	1,64	2,24

Tablo 6. Numunelerin Sertlik Değerleri

Numune Numarası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sertlik (HB)	26,5	26,2	30,3	29,2	29,4	30,0	33,8	31,2	41,3	37,5	41,5	41,0

Tablo 6’da numunelerin merkezinde ölçülen sertlik değerleri verilmiştir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, saf alüminyum toz metal ve Al-B₄C sermentlerine ait mekanik özellikler ve mikroyapılar incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- En yüksek yüzey pürüzlülüğü değerinin 630°C’de 900 kHz frekansla sinterlenen Al-B₄C sermentine ait olduğu görülmüştür. Buna karşı sertlik değerlerinin ise 630°C’ye göre 600°C’de sinterlenen Al-B₄C sermentlerde daha fazla olduğu belirlenmiştir.
- Alüminyum matrise bor karbür takviye edildikçe mekanik özelliklerin iyileştiği görülmüştür.
- Sertlik değerinin, bor karbür yüzdesi arttıkça arttığı anlaşılmıştır. Ayrıca beklenmedik bir şekilde aynı kimyasal kompozisyona sahip malzemelerde sıcaklık 600°C’den 630°C’ye çıkarıldığında sertliğin düştüğü saptanmıştır.
- Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin, aynı kimyasal kompozisyona sahip malzemelerde sıcaklık 600°C’den 630°C’ye çıkarıldığında arttığı belirlenmiştir. Aynı zamanda ağırlıkça bor karbür yüzdesi arttıkça da ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığı görülmüştür.
- %50 alüminyum ve %50 bor karbürden oluşan serment malzemenin ortalama yüzey pürüzlülük değerinin, saf alüminyumdan oluşan malzemeninkinden yaklaşık 5 kat fazla olduğu anlaşılmıştır.
- Mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde, ağırlıkça bor karbür yüzdesi arttıkça takviye malzemesinin, matris içerisinde daha düzenli yayıldığı ve bunun mukavemete olumlu etki yapacağı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu araştırma, Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Komisyonu’nun 2014-100 numaralı proje desteği kullanılarak yapılmıştır. Deneysel çalışmalarındaki katkılarından dolayı Prof. Dr. Hakan ÇETİNEL’e, Arş. Gör. Dr. Simge GENÇALP İRİZALP’e ve Arş. Gör. Mehmet AYVAZ’a teşekkürü bir borç bilirim.

KAYNAKÇA

1. Akdoğan, E. A. 2008. “Metal Matrisli Kompozit Malzemeler ve Üretim Yöntemleri Ders Notları,” Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
2. Jeffus, L. 2012. Welding: Principles and Applications, ISBN-13: 978-1-1110-3917-2, Delmar Cengage Learning, ABD.
3. Callister, W. D., Rethwisch, D. G. 2013. Material Science and Engineering: An Introduction, ISBN-13: 978-1118324578, John Wiley & Sons, Inc, ABD.
4. Alp, E., Karacay, E., Cabbar, H. C. 2013. “Düşük Sıcaklıkta Bor Karbür Üretimi ve Karakterizasyonu,” Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., cilt 28, sayı 2, s. 293-302.
5. Kumdalı, F. 2008. “Alüminyum Matrisli B₄C Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretimi,” Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
6. Randall, M. G. 2007. Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri, Editörler: Sarıtaş, S., Türker, M., Durlu, N., ISBN: 0-9762057-1-8, Türk Toz Metalurjisi Derneği, Ankara.
7. Çavdar, U., Atik, E. 2011. “Geleneksel ve Hızlı Sinterleme Yöntemleri,” Celal Bayar Üniversitesi, Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi, cilt 1, sayı 15, s. 1-10.
8. Çavdar, U., Atik, E. 2008. “Sintering with Induction,” Euro PM2008 Proceedings, vol. 3, 29 Sep.-1 Oct. 2008, Rosengarten Congress Center, Mannheim, Germany.
9. Çavdar, U., Atik, E. 2008. “Toz Metal Burçların İndüksiyonla sinterlenmesi,” 5th International Powder Metallurgy Conference, 8-10 Oct. 2008, TOBB Conference Center, Ankara.
10. Çavdar, U., Atik, E. 2008. “Induction Sintering of 3% Cu Contented Iron Based Powder Metal Parts,” 5th International Powder Metallurgy Conference, 8-10 Oct. 2008, TOBB Conference Center, Ankara/Türkiye.
11. Shon, I. J., Jeong, I. K., Ko, I. Y., Doh, J. M., Woo, K. D. 2009. “Sintering Behavior and Mechanical Properties of WC-10Co, WC-10Ni and WC-10Fe Hard Materials Produced by High-Frequency Induction Heated Sintering,” Elsevier, vol. 35, no. 1, p. 339-344.
12. Khalil, K. A., Kim, S. W., Dharmaraj, N., Kim, K. W., Kim, H. Y. 2007. “Novel Mechanism to Improve Toughness of the Hydroxyapatite Bioceramics Using High-Frequency Induction Heat Sintering,” Elsevier, vol. 187-188, p. 417-420.
13. Kang, P. C., Cao, Z. W., Wu, G. H., Zhang, J. H., Wei, D. J., Lin, L. T. 2010. “Phase Identification of Al-B₄C Ceramic Composites Synthesized by Reaction Hot-Press Sintering,” Elsevier, vol. 28, no. 2, p. 297-300.
14. Alizadeh, M., Beni, H. A., Ghaffari, M., Amini, R. 2013. “Properties of High Specific Strength Al-4 wt.% Al₂O₃/B₄C Nano-Composite Produced by Accumulative Roll Bonding Process,” Elsevier, vol. 50, p. 427-432.
15. Vintila, R., Charest, A., Drew, R. A. L., Brochu, M. 2011. “Synthesis and Consolidation Via Spark Plasma Sintering of Nanostructured Al-5356/B₄C Composite,” Elsevier, vol. 528, p. 4395-4407.
16. Yoo, J. Y., Shon, I. J., Choi, B. H., Lee, K. T. 2011. “Fabrication and Characterization of a Ni-YSZ Anode Support Using High-Frequency Induction Heated Sintering (HFIHS),” Elsevier, vol. 37, p. 2569-2574.
17. Kim, S. W., Cockcroft, S. L., Khalil, K. A., Ogi, K. 2010. “Sintering Behavior of Ultra-Fine Al₂O₃-(ZrO₂+X mol% Y₂O₃) Ceramics by High-Frequency Induction Heating,” Elsevier, vol. 527, p. 4926-4931.
18. Shon, I. J., Ko, I. Y., Kang, H. S., Hong, K. T., Doh, J. M., Yoon, J. K. 2011. “Properties and Rapid Consolidation of Nanostructured Al₂O₃-Al₂SiO₅ Composites by High Frequency Induction Heated Sintering,” Elsevier, vol. 37, p. 2159-2164.
19. Çavdar, U. 2009. “Demir Esaslı Toz Metal Parçaların İndüksiyonla Sinterlenmesinde Parametrelerin Belirlenmesi,” Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa.