



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Borlama işleminin T/M tekniği ile üretilmiş NiTi alaşımının mikroyapı ve mikrosertliğine etkilerinin incelenmesi

An investigation on the effects of boronizing process on microstructure and microhardness of NiTi alloy produced by P/M technique

Yazar(lar) (Author(s)): Sinan AKSÖZ¹, Bülent BOSTAN², Yavuz KAPLAN³

ORCID¹: 0000-0003-4324-5043

ORCID²: 0000-0002-6114-875X

ORCID³: 0000-0002-3144-9332

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Aksöz S., Bostan B. ve Kaplan Y., "Borlama işleminin T/M tekniği ile üretilmiş NiTi alaşımının mikroyapı ve mikrosertliğine etkilerinin incelenmesi", *Politeknik Dergisi*, 24(2): 539-544, (2021).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.717251

Borlama İşleminin T/M Tekniği ile Üretilmiş NiTi Alaşımının Mikroyapı ve Mikrosertliğine Etkilerinin İncelenmesi

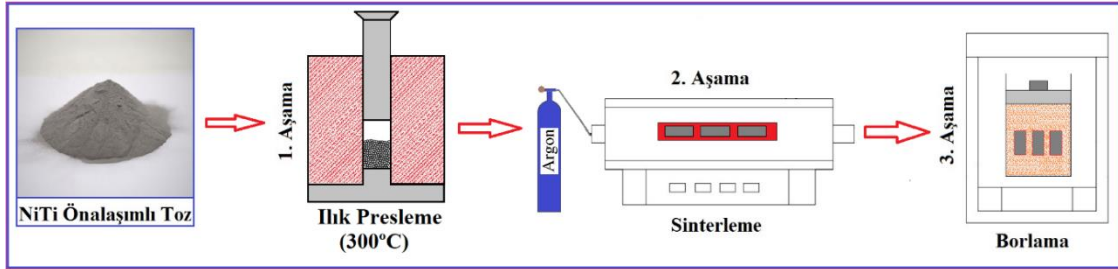
An Investigation on the Effects of Boronizing Process on Microstructure and Microhardness of NiTi Alloy Produced by P/M Technique

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ NiTi alaşımının borlanması / Boriding of NiTi alloy
- ❖ NiTi alaşımının toz metalürjisi yöntemiyle üretimi / Production of NiTi alloy by powder metallurgy
- ❖ Yüksek yüzey sertliği / High surface hardness

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Toz metalürjisi yöntemiyle önalaşımli NiTi tozlarından numuneler üretilmiş ve farklı parametrelerde borlanarak mikroyapı ve mikrosertlik değişimleri incelenmiştir.



Şekil. Deney sürecinin şematik gösterimi / Schematic illustration of experimental process

Amaç (Aim)

T/M ile üretilen NiTi numunelere uygulanan farklı sıcaklık ve sürelerdeki borlama işleminin mikroyapı ve sertlik özelliklerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. / It is aimed to investigate the effects of boronizing process on microstructure and hardness at different temperatures and times for NiTi samples produced by P/M method.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

NiTi numuneler T/M yöntemiyle üretilmiş ve farklı sıcaklık ve sürelerde borlama işlemi uygulanmıştır. / NiTi samples were produced by the P/M technique and solid boronizing process was applied at different temperatures and times.

Özgünlük (Originality)

NiTi alaşımları ile alakalı yapılan çalışmalar incelendiğinde üretim yöntemi olarak genellikle döküm yöntemi tercih edildiği görülmektedir. Fakat bu çalışmada yenilikçi yöntemlerden biri olan T/M yöntemi kullanılmış ve borlama işlemi sayesinde sert bir borür katmanı elde edilmiştir. / The casting method is generally preferred to product NiTi alloys in literature. However, P/M, one of the innovative method, was used to product samples and applied boronizing which provides to form hard boride layers on surface.

Bulgular (Findings)

Borlama sıcaklık ve süresinin bor difüzyonunu doğrudan etkilediği, sıcaklık ve sürenin artmasıyla sertlik derinliğinin arttığı belirlenmiştir. / It is determined that the boronizing temperature and time directly affect boron diffusion, and the hardness depth increases with increasing temperature and time.

Sonuç (Conclusion)

Borlama işleminin NiTi alaşımının sertliğini 3 kat arttırdığı belirlenmiştir. / It was determined that the boronizing process increased the hardness of the NiTi alloy by 3 times.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Borlama İşleminin T/M Tekniği ile Üretilmiş NiTi Alaşımının Mikroyapı ve Mikrosertliğine Etkilerinin İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Sinan AKSÖZ¹, Bülent BOSTAN², Yavuz KAPLAN^{3*}

¹Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Türkiye,

²Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

³Teknoloji Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Türkiye,

(Geliş/Received : 09.04.2020 ; Kabul/Accepted : 25.04.2020)

ÖZ

Bu çalışmada, toz metalürjisi yöntemiyle önalaşım NiTi tozlarından numuneler üretilmiştir. Presleme işlemi yaklaşık 300°C sıcaklığa sahip kalıpta 700MPa basınçta gerçekleştirilmiştir. Preslenen numunelere, yüksek saflıktaki Argon atmosferinde ve yüksek sıcaklığa dayanıklı Quartz cam tüp içerisinde, 1200°C sıcaklıkta ve 120 dakika sürede sinterleme işlemi uygulanmıştır. Sinterlenen numunelere sırasıyla 900°C ve 1000°C'de 6 ve 12 saat borlama işlemlerine tabi tutulmuştur. Çalışmada mikroyapı incelemeleri için, FESEM, EDS, MAP, Optik Mikroskop analizleri yapılırken sertlik ölçümleri için mikrosertlik ölçümleri ve görüntüleri alınmıştır. Araştırmada uygulanan tüm borlama parametrelerinde numunelerin yüzey sertlikleri artmıştır. Ayrıca en büyük tabaka kalınlığı ve en yüksek sertlik değeri 1000°C'de 12 saat borlanan NiTi alaşımında sırasıyla yaklaşık 50 µm ve 2074,9 HV olarak ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Önalaşım NiTi, toz metalürjisi, borlama, mikrosertlik, mikroyapı.

An Investigation on the Effects of Boronizing Process on Microstructure and Microhardness of NiTi Alloy Produced by P/M Technique

ABSTRACT

In this study, samples were produced by the powder metallurgy method from pre-alloyed NiTi powders. The pressing process was carried out at 300°C temperature under 700MPa pressure. The pressed samples were sintered at 1200°C for 120 minutes in high temperature resistant Quartz glass tube under a high purity Argon atmosphere. Sintered samples were boronized at 900°C and 1000°C for 6 and 12 hours. FESEM, EDS, MAP and Optical Microscope analyzes were carried out for the microstructure analysis. In addition, microhardness measurements and microhardness images were taken for hardness measurements. The surface hardness of the samples increased in all applied boronizing parameters. The largest layer thickness and highest hardness value were obtained at 1000°C for 12 hours as 50 µm and 2074.9 HV respectively.

Keywords: Pre-alloyed NiTi, powder metallurgy, boronizing, microhardness, microstructure.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Şekil Bellekli Alaşımlar (ŞBA) grubundan olan NiTi alaşımlar, günümüzde birçok kullanım alanına sahiptir. Bu alanların başında ise; aktüatörler, titreşim sönümleme elemanları, tıbbi cihazlar ve cerrahi implantlar yer almaktadır. Bu alaşımlar sahip oldukları Şekil Bellek Etkisi (ŞBE) sayesinde geniş bir uygulama yelpazesine sahip, birçok amaca işlevsel olarak tanıyan malzemelerdir. Bu malzemelerin en bilindik özellikleri ilk şekillerini hatırlamalarıdır. Ayrıca bu malzemelerin özelliklerine ilave olarak NiTi alaşımlarının özellikle tıbbi uygulamalarda ve alışılmadık mekanik özelliklerin ihtiyacı durumunda kullanımı uygun olmaktadır [1-4].

NiTi alaşımları üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, görülmektedir ki üretim yöntemi olarak genellikle döküm yöntemi tercih edilmektedir. Geleneksel döküm yönteminin ise ergitme işlemi ve üretim aşamalarında oluşması muhtemel problemlerden dolayı, farklı üretim yöntemleri tercihi ve araştırmaları giderek artmaktadır. Özellikle döküm ile üretilen alaşımlarda aranan süneklik, iyi kırılma direnci ve süper elastikiyet özellikleri eldesi zor olmaktadır [5]. Yeni üretim yöntemlerinin başında ise Toz Metalürjisi yöntemi (T/M) yer almaktadır [6]. T/M Yöntemin kullanılmasında ise, özellikle ergitmede oluşması muhtemel problemlerin giderilebilmesi ve farklı üretim proseslerinin denenebilmesi yer almaktadır [7]. Bu prosesler sayesinde önalaşım NiTi içerisine farklı alaşım elementlerinin ilavesini kolaylaştırırken, istenilen metalürjik özellikleri de sağlanabilmektedir [8, 9].

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : ykaplan@pau.edu.tr

Borlama işlemi demir esaslı ve demir dışı metallere uygulanabilen, bor atomlarının malzeme yüzeyine difüzyonu temeline dayanan termokimyasal bir yüzey sertleştirme işlemidir [10-12].

Alaşım elementlerinin borlama işlemi üzerinde etkili olduğu, dolayısıyla borür tabaka oluşumunu etkilediği yapılan çalışmalar göstermektedir [13-15]. Son zamanlarda borlama işlemi T/M ile parça üretim teknolojisinde kullanılarak, aşınma direnci yüksek yüzeyler elde edilebilmektedir [16-18]. T/M yöntemi diğer yöntemlerle alaşımlandırılması zor, ergime sıcaklıkları farklı elementlerin homojen şekilde bir araya getirilmesine veya alaşımlandırılmasına imkân sağlamaktadır [19]. NiTi alaşımının da T/M yöntemiyle üretilmesi diğer yöntemlere göre avantajlar barındırmaktadır [20-21]. Farklı oran ve sayıda alaşım elementleri içeren T/M malzemelerin borlanması alaşım elementlerinin borür tabakasına etkisini anlamak için önem arz etmektedir. NiTi alaşımlarının borlanması ile ilgili de literatürde kısıtlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

Bu çalışmada T/M yöntemiyle üretilen önalaşım NiTi numunelere 900°C ve 1000°C'de 6 ve 12 saat süreyle borlama işlemi uygulanmıştır. Çalışma ile NiTi alaşımlarına Borlama işleminin etkileri incelenmiş olup, incelemelerde Borlama işlemi sonrası; mikroyapı (Optik Mikroskop, FESEM, EDS, Haritalama) ve mikrosertlik analizleri gerçekleştirilmiştir.

2. MATERYAL ve METOD (MATERIAL and METHOD)

Numuneler mikroyapı analizleri için Optik Mikroskop, Alan Emisyon Taramalı Elektron Mikroskobu (FESEM) yöntemleri tercih edilmiştir. Kullanılan Optik Mikroskop NİKON marka (ECLIPSE-LV150NL model) ve FESEM cihazı ise ZEISS marka (SUPRA 40VP model) kullanılmıştır. Ayrıca yapıda yer alan elementlerin bölgesel dağılımlarını incelemek için Element Dağılım Spektrometresi (EDS) ve Haritalama (MAP) yöntemleri kullanılmıştır. EDS ve MAP analizleri FESEM görüntüleri üzerinde alınarak gerçekleştirilmiştir. Mikrosertlik Ölçümleri HARDWAY marka (DV-1AT-4.3 model) mikrosertlik cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Ölçümler için 0.1HV tercih edilmiştir. Sertlikler için 7'şer adet sertlik verisi alınmış olup, sertlik grafiğinde ortalama sertlik verileri kullanılmıştır.

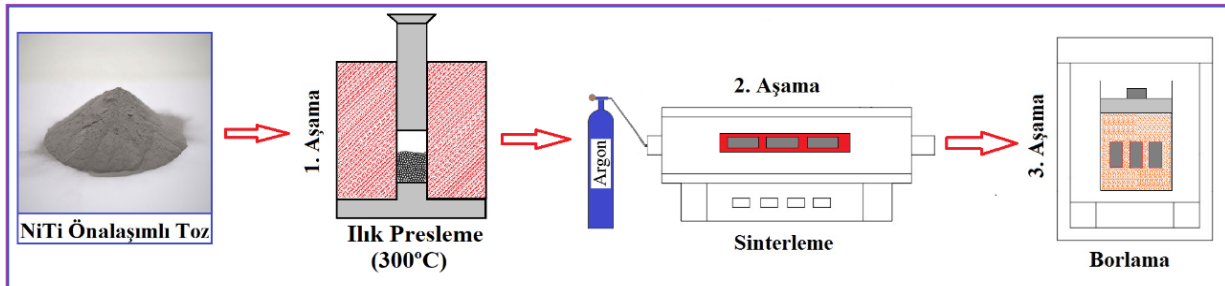
Çalışmada kullanılan önalaşım NiTi tozları yaklaşık olarak eşit Ni ve Ti oranlarından oluşmaktadır.

Kullanılan tozlar önalaşım olarak Nanoval firmasından (Nanoval GmbH&Co.KG Kienhorststraße 61-65 D-13403 Berlin) temin edilmiştir. Ham numunelerin üretimi, yaklaşık 300°C sıcaklığa sahip toz presleme kalıbı içinde 700MPa presleme basıncında gerçekleştirilmiştir. Ham numunelere, yüksek saflıktaki Argon gazı atmosferinde ve yüksek sıcaklığa dayanıklı Quartz cam tüp içerisinde, 1200°C sıcaklıkta ve 120 dakika sürede sinterleme işlemi uygulanmıştır. Sinterlenen numunelere sırasıyla 900°C ve 1000°C'de 6 ve 12 saat borlama işlemlerine tabi tutulmuştur. Deneysel numunelerin üretim prosesi Şekil 1.'de şematik olarak verilmiştir.

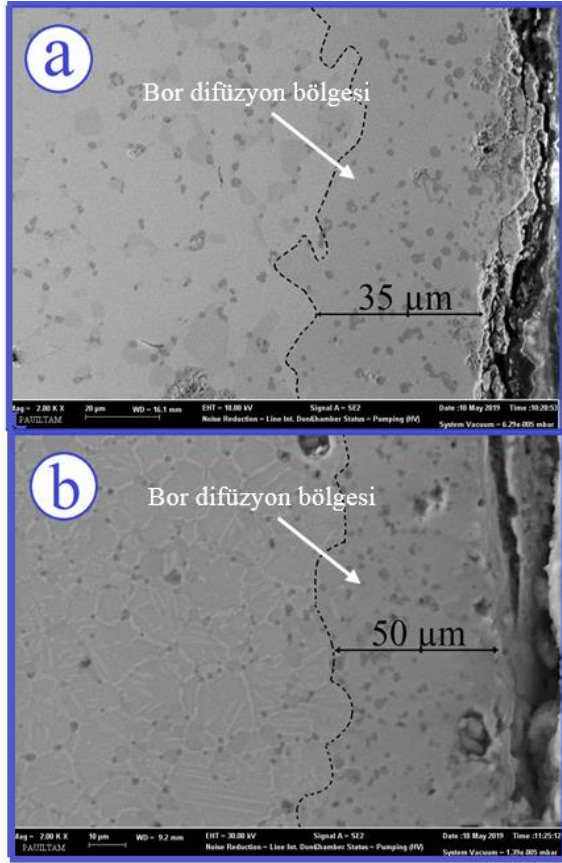
Borlama işlemi %40 B₄C (Bor Karbür), %40 SiC (Silisyum Karbür) ve %20 Al'dan (Alüminyum) oluşan toz karışımında gerçekleştirilmiştir. Borlama karışımındaki B₄C bor kaynağı, SiC aktivatör ve Al ise deoksidan olarak kullanılmıştır. Aktivatörler borür tabakasının düzenli büyümesini sağlarken deoksidanlar ise borlama sıcaklığındaki oksijeni tutarak oksitlenmeyi engeller [16]. Hazırlanan karışım sayesinde, ekstra koruyucu gaz atmosferi ya da vakum ortamına ihtiyaç duyulmamıştır. Çalışma daha önce denemeleri gerçekleştirilen ön çalışmanın [17], yeni parametreler ile genişletilerek gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

Şekil 2 (a)'da 1000°C'de 6 saat Borlama sonrası numunenin FESEM görüntüsü, (b)'de ise 1000°C'de 12 saat borlama sonrası FESEM görüntüsü yer almaktadır. 1000°C'de 6 saat borlama sonrası ortalama yaklaşık 35 µm kalınlığında bor difüzyon bölgesi oluşurken, 12 saat borlama ile bu bölgenin 50 µm'ye kadar ulaştığı belirlenmiştir. FESEM görüntülerinde 6 saat borlama sonrası oluşan bor tabakasının daha dişli bir yapıda olduğu, borlama süresinin arttırılmasıyla daha düzgün yapıda bir bor difüzyon bölgesi oluştuğu görülmektedir. Ayrıca Borlama süresinin ana metali de etkilediği ve 12 saat borlama sonrası faz sınırlarının belirginleştiği görülmektedir. Siyah kesikli çizgi ile gösterilen FESEM görüntüleri ile yapıda oluşması muhtemel borür tabakasının elde edildiği söylenebilir [22]. Borlama işleminde, bor atomlarının metal yüzeye difüzyonu ara yer atomu olarak gerçekleşir ve yüzeyde sert bir borür tabakası oluşur [23-26].

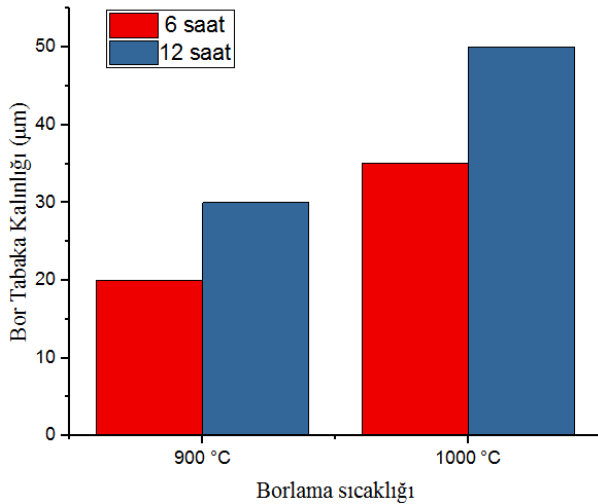


Şekil 1. Deneysel sürecin şematik gösterimi (Schematic illustration of experimental process)



Şekil 2. 1000°C’de (a) 6 saat (b) 12 saat borlama sonrası elde edilen FESEM görüntüleri (FESEM images after boronizing at 1000°C for (a) 6 hour (b) 12 hour)

Şekil 3’te farklı borlama sıcaklıkları ve süreleri sonucu elde edilen bor tabaka kalınlıkları yer almaktadır.

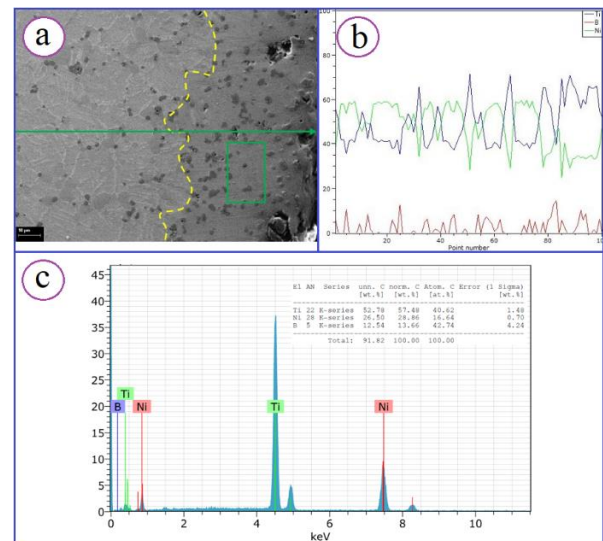


Şekil 3. Borlama sıcaklık ve süresine göre oluşan bor tabaka kalınlıkları (Boride layer thickness depend on Boronizing temperature and time)

Şekil 3 incelendiğinde borlama sıcaklık ve süresinin artmasıyla bor tabaka kalınlığının arttığı görülmektedir. 900°C sıcaklıkta 6 saat borlama ile NiTi T/M numunenin yüzeyinde yaklaşık 20 µm kalınlığında bor tabakası

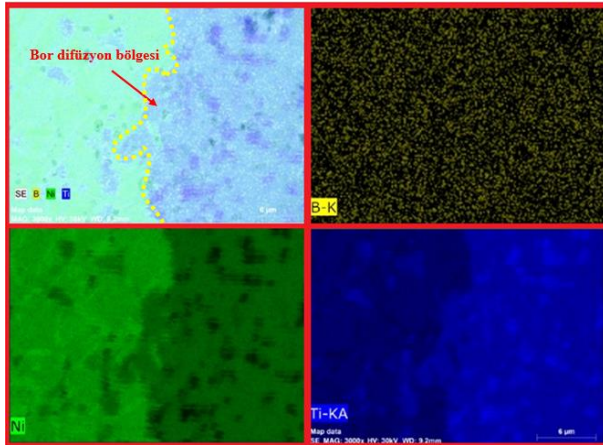
oluşurken, borlama süresi %100 artırılarak 12 saat borlama yapıldığında tabaka kalınlığı %50 artarak yaklaşık 30 µm olmuştur. 900°C ve 6 saat borlama için, borlama sıcaklığı %11,1 artırılarak 1000°C’ye çıkarıldığında elde edilen bor tabakası %75 büyüyerek yaklaşık 35 µm olmuştur. Ayrıca 900°C’de 12 saat borlama işlemi ile NiTi T/M numunenin yüzeyinde elde edilen 30 µm kalınlığındaki tabaka, borlama sıcaklığı 1000°C’ye çıkarıldığında %66,6 artarak yaklaşık 50 µm olmuştur. Bu sonuçlar ışığında borlama işleminde T/M NiTi için sıcaklığın süreden daha etken bir parametre olduğu söylenebilir. Ancak Borlama işleminde daha yüksek sıcaklıklarda oluşması muhtemel oksit yapısından dolayı [10] ve T/M ile üretilen numunelerin borlanması işleminde 1000°C’nin yeterli olması sebebi ile [16, 17] bu sıcaklığın üzerinde işlem gerçekleştirilmemiştir.

NiTi numune yüzeyinde oluşan bor tabakasının karakterizasyonu için gerçekleştirilen EDS ve MAP analizleri Şekil 4-7’de verilmiştir. Şekil 4 (a)’da 1000°C 12 saat borlama işlemi sonrası numunenin FESEM görüntüsü ve bu görüntü üzerinden alınan (b) çizgisel (c) alan EDS analiz sonuçları verilmiştir. Şekil 4 (a)’da kesikli sarı çizgi ile ayrılmış bölgenin sağ kısmı Borlanmış bölgeyi gösterirken, sol kısmı ana faz bölgesini göstermektedir. Şekil 4 (b)’deki pik şiddetleri incelendiğinde ana faz yapısında da B elementinin yer alması, bor difüzyonunun gerçekleştiğini göstermektedir. Ancak bölgesel olarak B pik şiddetinin düşük seviyelerde olduğu görülmektedir. Ayrıca Şekil 4 (c) EDS analizi incelendiğinde yapıda atomsal olarak %40,62 Ti, %16,64 Ni ve %42,74 B elementlerinin yer aldığı görülmektedir. EDS analizlerinde O içerik tespiti için denemeler yapılmış ve herhangi bir oksit içeriğine rastlanılmamıştır. Çalışma ile oluşturulan borlama tozun içeriği ve Borlama süreçlerinin NiTi alaşımları için kullanılabilirliğini göstermektedir.



Şekil 4. 1000°C 12 saat Borlanmış NiTi numunenin (a) FESEM görüntüsü, (b) Çizgisel EDS (c) Alan EDS analiz sonuçları ((a) FESEM image (b) Line EDS (c) Area EDS analysis of borided NiTi sample at 1000°C for 12 hour)

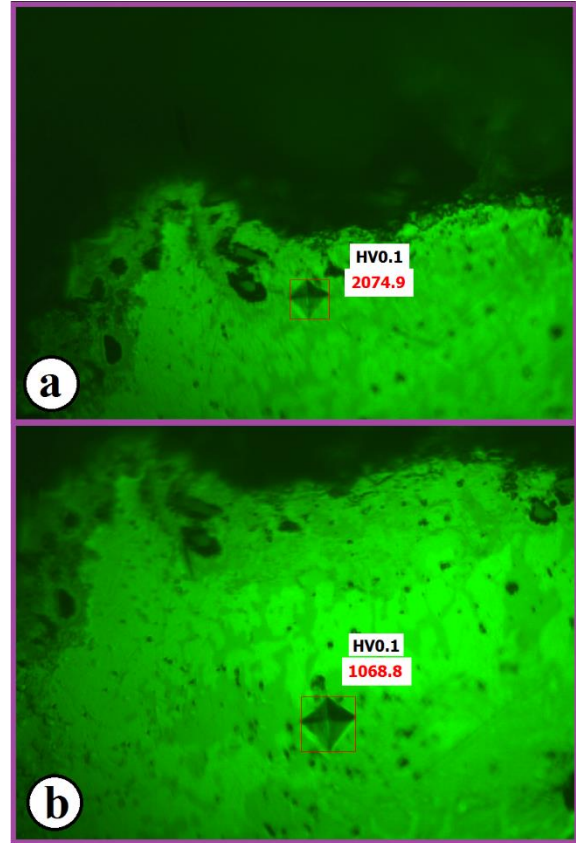
Şekil 5’de 1000°C’de 12 saat Borlama sonrası elde edilen numunenin tüm elementlerin MAP görüntüsü (B, Ni, Ti) ve ayrıca B, Ni ve Ti elementlerine ait MAP görüntüleri yer almaktadır. MAP görüntüleri incelendiğinde, elementlerin yapıda homojen bir şekilde dağıldığı görülebilmektedir. Bu sonuç, yapıda oluşması muhtemel fazların homojen olarak dağıtılabilirdiği anlamına gelmektedir. Böylece mikro yapıda homojen dağılımı sağlanabilir. Ayrıca dışta oluşturulan bor katmanının sahip olduğu homojen element dağılımı sayesinde, dışta istenilen sertlik elde edilmiş olacaktır. Böylece aşınma özellikleri iyileştirilebilecek [27, 28] ve oluşması muhtemel dış etkenlerden korunabilecektir [29].



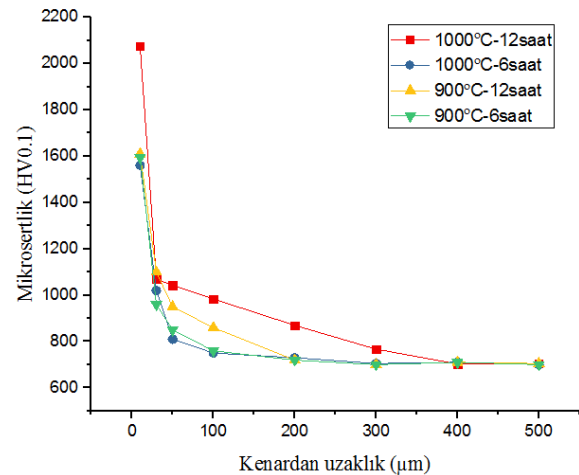
Şekil 5. 1000°C’de 12 saat borlama sonrası B, Ni ve Ti elementlerinin MAP görüntüleri (MAP images of B, N, and Ti elements after boronizing at 1000°C for 12 hour)

Şekil 6’da 1000°C’de 12 saat borlanmış numuneden alınmış sertlik izleri görülmektedir. Dış kenara daha yakın bölgede (Şekil 6 (a)) sertlik değeri 2074,9 HV olarak ölçülmüşken daha iç kısımlardan alınan sertlik değeri 1068,8 HV olarak ölçülmüştür. Borlama ile malzemenin dış kısmında daha sert bir katman oluştuğu ve iç kısımlara doğru bu sertliğin kademeli olarak düştüğü belirlenmiştir. Farklı süre ve sıcaklıkla NiTi alaşımının yüzeyinde oluşan sertlik değişimini daha ayrıntılı incelemek için Şekil 7’de tüm numunelerin ortalama sertlik değerleri verilmiştir. Grafik incelendiğinde tüm borlama parametrelerinde NiTi alaşımının yüzey sertliğinin arttığı görülmektedir. Bununla birlikte en yüksek sertlik değerinin 1000°C’de 12 saat borlama sonrası ortalama 2050 HV olduğu görülmüştür. Çalışmada bor tabakasının sertliğe etkisini incelemek için alınan mikrosertlik verileri ile orta kısımdan kenar bölgelere doğru gidildikçe, sertlikte artış olduğu belirlenmiştir. Merkezde sertlik değeri (ana malzeme) yaklaşık 700 HV elde edilirken, kenar bölgelere yaklaşıldıkça sertliğin arttığı görülmüştür. Ayrıca farklı borlama sıcaklık ve süreleriyle bor difüzyon bölgesinin değiştiği, borlama sıcaklığının ve süresinin artmasıyla sertlik artışının 300 µm’ye (1000°C-12 saat) kadar uzandığı Şekil 7’de görülmektedir. Bu sonuçlarla

borlama işleminin NiTi alaşımının yüzey sertliğinin yaklaşık 3 kat arttığı belirlenmiştir. Bu sertlik artışının sebebinin bor elementinin ana metalde bulunan Ni ve Ti ile yüzeyde oluşturduğu borür fazlarından kaynaklandığı bilinmektedir [11-12]. Oluşması muhtemel bu fazlar sayesinde oluşan bası gerilmesi malzemenin mekanik ve aşınma özelliklerinin iyileştirilmesinde etken rol oynamaktadır [30].



Şekil 6. 1000°C’de 12 saat borlanmış numunelerden alınmış sertlik iz görüntüleri (a) Kenardan 10 µm uzaklıkta (b) Kenardan 50 µm uzaklıkta (The images of hardness indentation boronized at 1000°C for 12 hour (a) 10 µm distance to outside (b) 50 µm distance to outside)



Şekil 7. Borlanmış NiTi numunelerin mikrosertlik profili (Microhardness profile of boronized NiTi samples)

4. SONUÇ ve ÖNERİLER (CONCLUSION and SUGGESTIONS)

Çalışmada Önalışimli NiTi tozları ile üretilen numunelere uygulanan farklı sıcaklık ve sürelerdeki borlama işleminin mikroyapı ve sertlik özelliklerine etkilerinin sonuçları aşağıda verilmiştir;

- Önalışimli NiTi tozlarına uygulanan ılık presleme ve sonrasında 1200°C sıcaklıkta 2 saat sinterleme ile istenilen başlangıç numuneleri elde edilmiştir.
- Üretilen numunelere 1000°C 6 ve 12 saat borlama işlemleri uygulanmış, en büyük tabaka kalınlığı ve en yüksek sertlik değeri 1000°C'de 12 saat borlama sonrası elde edilmiştir.
- Tüm Borlama parametrelerinde NiTi alaşımının yüzey sertliğini arttığı belirlenmiştir.
- Borlama sıcaklık ve süresinin bor difüzyonunu doğrudan etkilediği, sıcaklık ve sürenin artmasıyla sertlik derinliğinin arttığı belirlenmiştir.
- Mikroyapı analizlerinde de 1000°C 12 saat borlama sonrası elementlerin yapı içerisinde homojen olarak dağıtılabildiği görülmüştür. Böylece yapıda homojen faz dengesi oluşturabilmiştir.
- Dış katmanda oluşturulan bor tabakası sayesinde dışarıda oluşan bası gerilmesi malzemenin mekanik ve aşınma özelliklerinin iyileştirilmesinde etken rol oynayacaktır.
- Borlama sonrası yapılan incelemelerde yapıda Oksit içeriğine rastlanılmamıştır. Bu sonuç bize uygulanan Borlama işlemi ve sürecinin NiTi alaşımlarının Borlanmasıyla kullanılabilirliğini gösterir niteliktedir.
- Çalışmaya öneri olarak, uygulanan bor katmanının aşınma davranışına etkileri incelenebilir. Böylece tribolojik değerlendirmelerde bulunulabilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, Pamukkale Üniversitesi BAP birimi tarafından "2019HZDP019" numaralı ve "Önalışimli NiTi Şekil Bellek Alaşım Tozları İle Üretilen Parçalara Uygulanan Borlama Isıl İşleminin Mekanik (Sertlik) ve Metalurjik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi" isimli araştırma projesi ile desteklenmektedir. Yazarlar PAÜ BAP birimine teşekkürlerini sunar.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Sinan AKSÖZ: NiTi numuelerin üretimi gerçekleştirmiştir.

Bülent BOSTAN: Deney planını oluşturmuş ve tüm süreci denetlemiştir

Yavuz KAPLAN: Borlama deneylerini yapmış ve analiz etmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Es-Souni M., Wassel E., Dietze M., Laghrissi A., Klöhna F., Weyrich T. and Es-Souni M., "Processing of nanotubes on NiTi-shape memory alloys and their modification with photografted anti-adhesive polymer brushes. Towards smart implant surfaces", *Materials and Design*, 182: 1-11, (2019).
- [2] Es-Souni, M., Es-Souni, M. and Fischer B. H., "Assessing the biocompatibility of NiTi shape memory alloys used for medical applications", *Analytical and bioanalytical chemistry*, 381: 557-567, (2005).
- [3] Kapoor D., "Nitinol for medical applications: A brief introduction to the properties and processing of nickel titanium shape memory alloys and their use in stents", *Johnson Matthey Technology Review*, 61: 66-76, (2017).
- [4] Bose A., Hartmann M., Henkes H., Liu H. M., Teng M. M., Szikora I. and Lui M., "A novel, self-expanding, nitinol stent in medically refractory intracranial atherosclerotic stenoses: the Wingspan study", *Stroke*, 38: 1531-1537, (2007).
- [5] Ogawa T., Yokoyama K., Asaoka K., Sakai J., "Hydrogen embrittlement of Ni-Ti superelastic alloy in ethanolsolution containing hydrochloric acid", *Materials Science and Engineering A*, 393: 239-246, (2005).
- [6] Aksöz S., Demir Ü., Bostan B., "NiTi SMA Parts Production with Different Porosity Ratios", *Acta Physica Polonica A*, 135: 980-983, (2019).
- [7] Aksöz S., Bostan B., "Characteristic properties of NiTi shape memory alloy powders with powder injection molding", *International Multidisciplinary Microscopy Congress, Springer International Publishing*, Switzerland, (2014).
- [8] Aksöz S. and Bostan B., "Mekanik olarak sentezlenen NiTi + Zn tozlarının karakterizasyonu ve sinterlenebilirliğinin araştırılması", *Politeknik Dergisi*, 21: 437-443, (2018).
- [9] Aksöz S., Altınışık G., Elverişli E. E., Bostan B., "Investigation of the Synthesizing Effects of Prealloyed NiTi + Pure Al (2, 4, 6, 8 wt. %) Powders by MA and Sintering", *Biological and Chemical Research, Science Signpost Publishing*, USA, (2019).
- [10] Kaplan Y., Can C. A., and Ulukoy A., "A new medium for boriding of Ti6Al4V alloy for biomedical applications", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 233:109-119 (2019).
- [11] Mathuschka A. G., "Boronizing", *Carl Hanser Verlag*, Munchen, (1980).
- [12] Sinha A. K., "Heat Treating: Boriding (Boronizing)", *ASM Metal Handbook, ASM International*, USA, (1991).
- [13] Litoria A. K., Figueroa C. A., Bim L. T., Pruncu C. I., Joshi A. A. and Hosmani S. S., "Pack-boriding of low alloy steel: microstructure evolution and migration

- behaviour of alloying elements”, *Philosophical Magazine*, 100: 353-378, (2020).
- [14] Azakli Y., Cengiz S., Tarakci M. and Gencer, Y., “Characterisation of boride layer formed on Fe–Mo binary alloys”, *Surface Engineering*, 32: 589-595, (2016).
- [15] Muhammad Y. K., Abdullah B., Idham M. F. and Saad N. H., “The effects on microstructure and hardness of 0.28% vanadium and 0.87% nickel alloyed ductile iron after boronizing process”, Key Engineering Materials, *Trans Tech Publications Ltd*, Switzerland, (2017).
- [16] Aksöz S., Kaplan Y., Tan E., “Boro-sinterleme işleminin ham T/M parçaların mikroyapı ve sertlik özelliklerine etkilerinin incelenmesi”, *BORON* 4: 77 - 84, (2019).
- [17] Aksöz S., Bostan B., Kaplan Y., “Boriding of Prealloyed NiTi Alloy Produced By P/M Method”, *IMSTEC'19*, 871-873, (2019).
- [18] Yıldız İ. and Güneş İ., “Borlanmış % 5 Mg katkılı Ni-Mg alaşımının yüzey özelliklerinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 23: 97-104, (2020).
- [19] Gökçe A., Fındık F. and Kurt A. O., “Alüminyum ve Alaşımlarının Toz Metalurjisi İşlemleri”, *Mühendis ve Makina*, 58: 21-47, (2017).
- [20] Sharma N., Raj T. and Kumar K., “Physical and tribological characteristics of porous NiTi SMA fabricated by powder metallurgy”, *Particulate Science and Technology*, 35: 541-546, (2017).
- [21] Dawood N. M., Ali A. R. K. A. and Atiyah, A. A., “Fabrication of porous NiTi shape memory alloy objects by powder metallurgy for biomedical applications”, Materials Science and Engineering, *IOP Publishing*, UK, (2019).
- [22] Palonbarini G., Carbuicchio M., “On the morphology of thermochemically produced FeB/Fe interfaces”, *Journal of Materials Science Letters*, 3: 791-794, (1984).
- [23] Fichtl W., “Boronizing and its practical applications”, *Materials in Engineering*, 2, 276-286, (1981).
- [24] Dearnley P. and Bell T., “Engineering the surface with boron based materials”, *Surface Engineering*, 1:203-217, (1985).
- [25] Fichtl W. J. G., “Saving Energy and money by Boronizing”, *In meeting of the Japan Heat Treating Association*, Tokyo, 25, (1988).
- [26] Galibois A., Boutenko O., Voyzelle B., “Mécanisme de formation des couches borurees sur les aciers a haut carbone technique des pates”, *Acta Metallurgica*, 28:1753, (1980).
- [27] He J. L., Miyake S., Setsuhara Y., Shimizu I., Suzuki M., Numata K., Saito H., “Improved anti-wear performance of nanostructured titanium boron nitride coatings”, *Wear*, 249:498-502, (2001).
- [28] La P., Xue Q. and Liu, W. “Effects of boron doping on tribological properties of Ni₃Al–Cr₇C₃ coatings under dry sliding”, *Wear*, 249: 93-99. (2001).
- [29] Yi M., Shen Z., Zhao X., Liang S. and Liu L., “Boron nitride nanosheets as oxygen-atom corrosion protective coatings”, *Applied Physics Letters*, 104: 143101 (2014).
- [30] Vogli E., Tillmannb W., Selvadurai-Lassl U. Fischer G. and Herper J., “Influence of Ti/TiAlN-multilayer designs on their residual stresses and mechanical properties”, *Applied Surface Science*, 257: 8550-8557, (2011).