

Borlama İşleminde Kullanılan Bor Tozu Tane Boyutunun Kaplama Tabakası Üzerine Etkisi

Ali Güven^{1*}, Cemal Çarboğa², Bülent Kurt², Nuri Orhan³

¹Barbaros Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi, Çayeli-Rize

²Nevşehir Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Malzeme Mühendisliği, Nevşehir

³Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, Elazığ

Özet

Bu çalışmada, paslanmaz çelikler içerisinde endüstride yaygın olarak kullanılan AISI304 östenitik paslanmaz çeliğin yüzeyi 900°C'de 3 saat süre ile, 10-50 nm boyuta sahip elementel nanobor tozu, 50-100 nm boyutuna sahip hegzagonal bor nitrid tozu ve 1400 µm boyutuna sahip EKabor 3 tozu ile borlanmıştır. Borlama işlemi sonrası numuneler optik mikroskobive SEM analizi ile birlikte mikro sertlik testine tabi tutulmuştur. Böylece toz boyutlarındaki farklılığın kaplama tabakasına etkileri araştırılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda borür tabakasının; kalınlık, sertlik ve kırılma tokluğu değerlerinin borlama tozunun tane yapısının küçülmesi ile arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Borlama, AISI304, mikroyapı, nanobor

The Effect of Boron Powder Particle Size Used in Boriding Process on the Coating Layer

Abstract

In this study, AISI 304 austenitic stainless steel widely used in industry boronized with elemental nano boron powder of 10 to 50 nm in size, hexagonal boron nitride powder of 50 to 100 nm in size and EKabor3 powder of 1400 µm in size at 900 °C for a period of 3 hours. After boronizing of the samples, specimens were tested with optical microscopy and SEM analysis. Thus, the effects of powder size differences on coating layer were investigated. As a result of the examinations, it has been identified that thickness, hardness and fracture toughness values increased with the decrease of boriding powder grain structure.

Keywords: Boriding, AISI-304, microstructure, nanoboron

*e-mail:gunen_ali@hotmail.com

1. Giriş

Borlama, termokimyasal bir yüzey sertleştirme işlemi olup bor elementinin yüksek sıcaklıkta metal yüzeyine yayılması ile yüzeyde borür tabakası elde etme işlemidir. Bor verici olarak herhangi bir bor bileşiği kullanılabilir[1,2]. Demir, demir dışı metaller ve sermetler gibi malzemelerin çoğuna borlama işlemi uygulanmaktadır[3]. Termo kimyasal yüzey iyileştirme işlemi için, sıcaklık genellikle 700-1050 °C ve süre 1-12 saat aralığındadır. Yöntem katı, sıvı ve gaz ortamında uygulanabilir. En kullanışlı yöntem kutu borlama tekniği olup karbürizasyona benzemektedir[4,5]. Kutu borlama tekniği diğer borlama yöntemleri ile karşılaştırıldığında dahateknolojik, basit ve ekonomiktir.

Borlama ile metal yüzeyinde çok sert, iyi sürtünme ve aşınma dayanımına sahip bir borür tabakası elde edilmektedir. Bundan dolayı borlanmış tabakanın özelliklerine ait çalışmalar daha çok sertlik, aşınma ve korozyon özellikleri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Borlamanın büyük etkisi sertlik üzerine olup, sertlik ana malzeme cinsine ve yüzeyde oluşacak FeB ve Fe₂B fazlarına bağlıdır[6]. FeBfazı, Fe₂B fazından daha sert ve gevrekler. Borlama ile elde edilen sertlik değerleri östenitik paslanmaz çeliklerde 1700-2150 HV, titanyumda ise yaklaşık 3000 HV' dir [7-9].

Borlama esnasında uygulanan yöntem, kullanılan bor tozu, borlanan malzemenin cinsi ve işlem parametreleri oluşan borür tabakasının şekline ve mekanik özelliklerine etki eden faktörlerdir. Metal yüzeyinde borlama işlemi ile oluşturulan borür tabaka kalınlığını borlayıcı ortamın bileşimi ve saflık derecesi, işlem sıcaklığı ve süresi, borlama işlemine tabi tutulan metal bileşimi etkilemektedir[10].

Yüzey sertleştirme alanında literatürde µm boyutuna sahip Ekabor tozları ile birçok çalışma yapılmış fakat nano boyutlu bor tozları ile yapılan herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmada mikro ve nano boyutlara sahip bor tozları kullanılarak oluşturulan bor tabakalarının mikroyapı ve mekanik özelliklerinin araştırılması amaçlanmıştır.

2. Deneysel Çalışmalar

2.1 Malzeme ve metot

Bu çalışmada, AISI 304 kalite 3 mm kalınlıktaki yassı ürün paslanmaz çelikten, 20x20x3deney numuneleri satıh taşlama tezgâhında taşlanarak borlama işlemi için hazır hale getirilmiştir.Borlama malzemesi olarak ticari EKabor 3 tozu, nano hegzagonal bor nitrür tozu ve elementel nanobor tozları kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi Tablo 1'de, borlama tozlarının özellikleri ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo1.Deneyselçalışmalarda kullanılanAISI304 östenitikpaslanmazçeliğinkimyasal bileşimi

Malzeme	Kimyasal Bileşim(% Ağırlıkça)									
	C	Ni	Cr	Mn	P	S	Si	Cu	Mo	N
AISI 304	0,058	8,07	18,17	1,0	0,032	0,0005	0,41	0,24	0,1	0,043

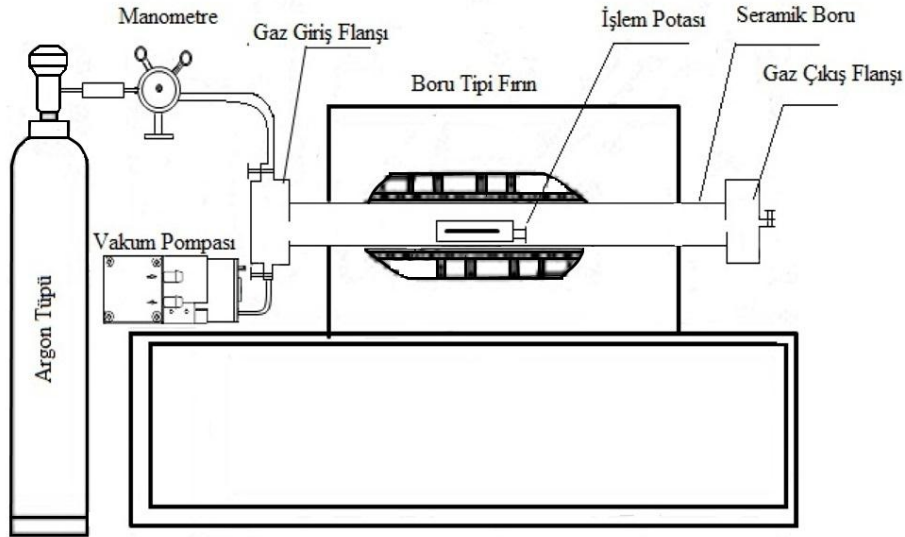
Borun oksijene karşı affinitesi yüksek olduğundan oksitlenmeyi engellemek için numuneler paslanmaz çelikten imal edilmiş potalar içerisine argon gazı altında yerleştirildi. Daha sonra potaların ağızları sıkıca kapatılıp 900 °C'de borlama işlemi için hazır halde bekletilen fırın içerisine yerleştirildi.

Borlama işlemi argon gazı altında 3 saat süre ile Şekil 1’de gösterilen sistemde gerçekleştirildi. Borlama süresi bitiminde numuneler fırından alınarak açık havada soğutuldu.

Tablo 2. Borlama işleminde kullanılan bor tozlarının özellikleri

Borlama Maddesi	Tane Boyutu	İçeriği	Sertliği (Mohs)	Bileşimi
Elementel Nanobor	10-50 nm	%99,7 saflık derecesine sahip	9,3	%95 Nanobor +%5 NaBF ₄
Hegzagonal Bor Nitrür	50-100 nm	Bor ve Azot	2	%75HBN+%20SiC+%5NaBF ₄
EKabor 3	<1400 µm	Boroksit Ferro silisyum Ekrit	-	-

Borlanan numunelerden metalografik inceleme için uygun ölçülerde kesilen numuneler dikdörtgen kesit yüzeyleri görünecek şekilde soğuk bakalite alınmıştır. Bakalite alınan numunelerin kesit yüzeylerine zımparalama ve parlatma işlemi yapılmıştır. Parlatma işlemi sonrası %50 HNO₃ - %50 H₂O çözeltisi ile dağlanarak mikroyapılar elde edilmiştir. Dağlanan numuneler optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) muayenelerine tabi tutulmuştur. Borlama işlemi sonrasında yapıda meydana gelen borür tabakasının kalınlıklarının ölçülmesi Nikon MA-100 mikroskobunda yapılmıştır. Numunelerin mikrosertlik ölçümleri Future Tech FM-700 mikrosertlik cihazı ile 10 sn süre ve 50 gf yük uygulanarak yapılmıştır.



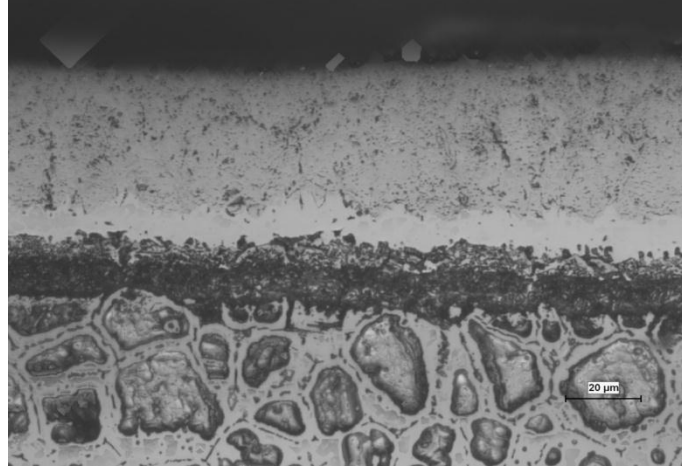
Şekil 1. Borlama işleminde kullanılan sistem

3. Tartışma ve Sonuç

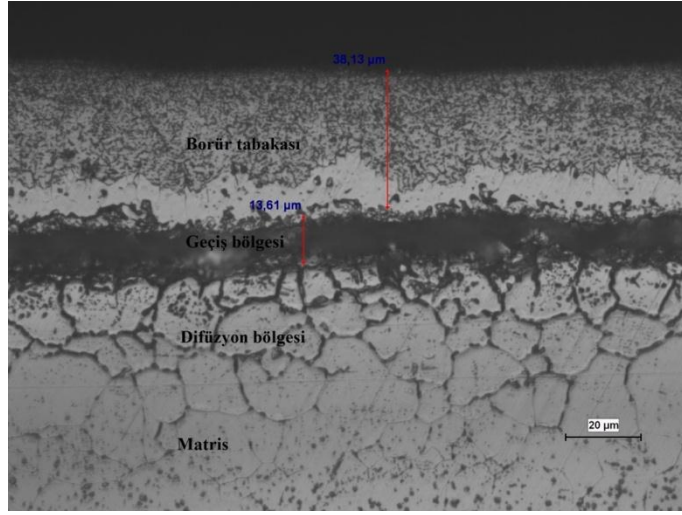
3.1 Mikroyapı

900 °C’de 3 saat sürede nanobor, hegzagonal nano bornitrür ve EKabor 3 tozu ile borlanan numunelerin optik ve SEM mikroyapıları Şekil 2 ve Şekil 3’de görülmektedir. Optik mikro yapı fotoğraflarından 900 °C’de farklı her üç tozda da kaplama tabakası açık bir şekilde meydana geldiği görülmektedir. Yine optik mikro yapı fotoğraflarından matris fazdan farklı olarak yüzeyden matris faza doğru ikisi borür tabakası, geçiş bölgesi ve difüzyon bölgesi olmak üzere dört farklı bölgenin meydana geldiği görülmektedir. Borür tabakalarından geçiş bölgesi üzerinde meydana gelen tabaka yüzeyde meydana gelen tabakadan farklı olarak daha açık ve pürüzsüzdür. Yüzeyde meydana gelen borür tabakası içerisinde

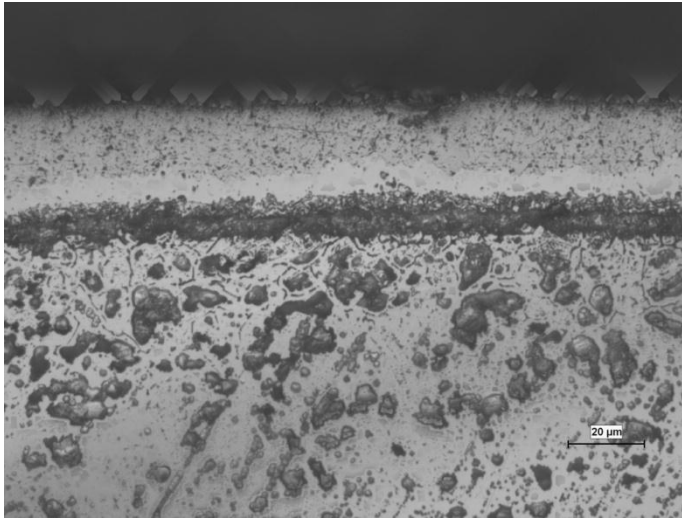
ise nano bor ile yapılanda daha az olmakla birlikte çökelti fazlar tespit edilmiştir. Bu oluşumlar farklı her üç toz tipinde de gözlemlenmiştir. Hegzagonal bor



(a)

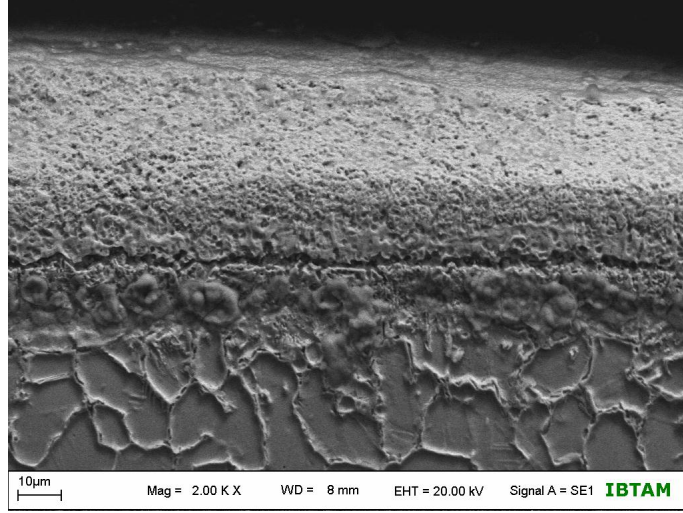


(b)

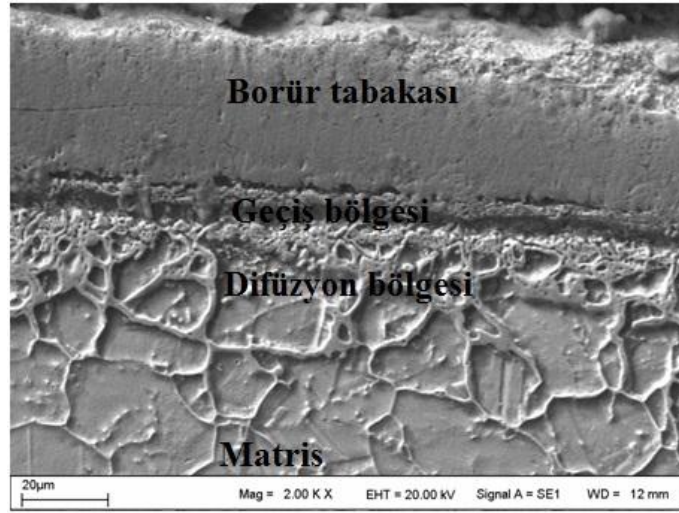


(c)

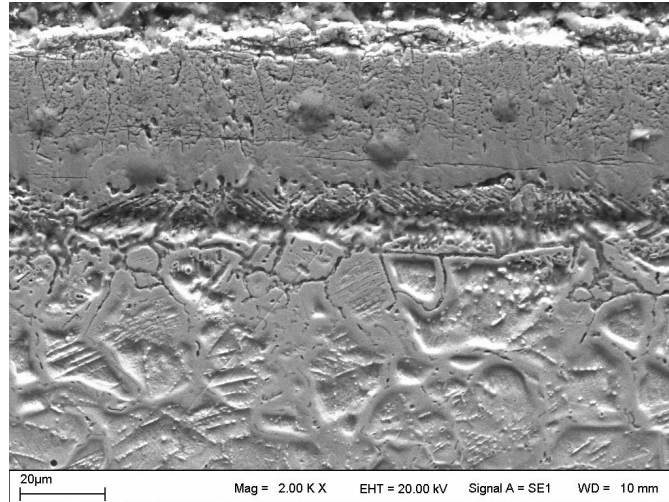
Şekil 2. 900 °C'de 3 saat süre ile a)Nanobor b)Hegzagonal bor nitrür c) EKabor 3 tozu ile yüzeyi borlanan numunelerin optik görünümü



(a)



(b)



(c)

Şekil 3. 900 °C'de 3 saat süre ile a)Nanobor b)Hegzagonal bor nitür c) EKabor 3 tozu ile yüzeyi borlanan numunelerin SEM görünümü

nitür ile yapılan kaplama işleminde borür tabakası içerisinde gerçekleşen çökelti fazlarının yoğunluğunun tozun bileşiminde bulunan nitürden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kaplama tabakası kalınlığı açısından

değerlendirdiğimizde ise sırasıyla ortalama 45, 35 ve 30 mikronluk kaplama tabakası kalınlıkları elde edilmiştir. Nano boyutlu tozlarla yapılan kaplamalarda daha kalın kaplama tabakaları elde edilmiştir. Şekil 3'teki SEM fotoğraflarından nano boyutlu tozlarla yapılan kaplamalarda Ekabor tozuna kıyasla özellikle difüzyon bölgesinin daha geniş olduğu görülmüştür. Çünkü borlama malzemesinin tane boyutu küçüldükçe temas yüzeyi artar, temas yüzeyinin artması yayılımı kolaylaştırır [9-10]. Bu yüzden nano boyutlu tozlarda doğal olarak toz partikül boyutuna bağlı olarak difüzyon daha hızlı gerçekleşmiştir.

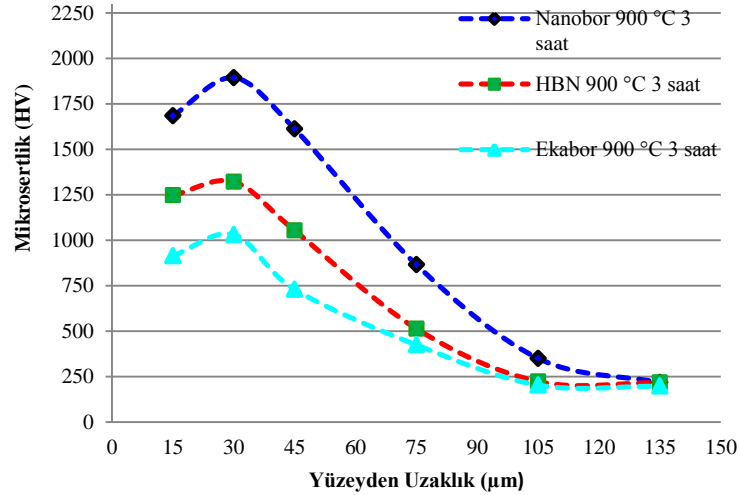
3.2 Mikrosertlik ve kırılma tokluğu

Borlanan numunelerin kesit yüzeylerinden alınan sertlik değerleri ve kırılma toklukları Tablo 3'de görülmektedir.

Tablo 3. Tüm deney koşullarında ölçülen ortalama borür tabakası kalınlıkları ve maksimum sertlik değerleri

Sıcaklık (°C)	Borlama Malzemesi	Sertlik (HV)	Kırılma Tokluğu (Mpa.m ^{1/2})
900	Elementel Nanobor	1894	11,97
900	Nano Hegzagonal Bor nitrür	1322	11,16
900	EKabor 3	1031	4,35

Borür tabakasından alınan mikrosertlik analizleri sonucunda en yüksek sertlik değeri max. 1894 HV ile nanobor tozu ile yapılan kaplamada elde edilmiştir. Şekil 4'de kaplama tabakası yüzeyinden ana malzemeye doğru bir dizi halinde alınan mikrosertlik ölçüm grafiği görülmektedir. sertlik değerlerinin kaplama tabakasından ana malzemeye doğru doğal olarak sürekli düştüğü görülmektedir.



Şekil 4. 950 °C'de 3 saat süre ile farklı bor tozları ile borlanan AISI 304 çeliğin yüzeyden itibaren elde edilen sertlik değerleri değişimi

Yüzeye yakın kısımda sertlik değerinin bir miktar düşük çıkması ise yüzeyin kısmen poroziteli yapısına bağlanabilir. Yine borür tabakalarının kırılma tokluğu ölçümleri sonucunda, nano boyutlu tozlarada biri birine yakın değerler elde edilmiştir. Ekabor tozu ile yapılan kaplamada ise kırılma tokluğu, nano boyutlu tozlarla yapılanın yaklaşık yarısı kadar gerçekleşmiştir. Kırılma tokluğu değeri

literatürde sertlik ve tabaka kalınlığının artması ile düşüş gösterdiği belirtilmektedir [13-15]. Buna karşın yapılan çalışmada, nano boyutlu tozlarda sertlik değerindeki artış kırılma tokluğunda düşüğe neden olmamıştır.

Sonuçlar;

- 1- Her üç kaplama tozu ile yapılan çalışmada da düzenli bir kalınlığa sahip borür tabakası elde edilmiştir.
- 2- Kaplama tabakası kalınlıkları nanobor, hegzagonal bor nitrür ve Ekabor tozları kullanılarak yapılan kaplamalarda ortalama 45, 35 ve 30 mikron olarak gerçekleşmiştir.
- 3- Kırılma tokluğu nano boyutlu tozlarda Ekabor tozuna kıyasla iki kat olarak gerçekleşmiştir.
- 4- En yüksek sertlik değeri 1894 HV ile nanobor tozu ile yapılan kaplamada elde edilmiştir.

4. Kaynaklar

- [1] Başman G., Şeşen M.K., The improvement of the surface properties of AISI 316L type stainless steel by boronizing, *İ.T.Ü Engineering Journal*, 10, 115-121, 2011.
- [2] Çelebi G., Ipek M., Bindal C., Ucisik A. H., Some mechanical properties of borides formed on AISI 8620 steel, *Materials Forum*, 39, 456-60, 2005.
- [3] Özdemir O., Omar M. A., Usta M., Zeytin S., Bindal C., Ucisik A. H., An investigation on boriding kinetics of AISI 316 stainless steel, *Vacuum*, 83, 175-179, 2009.
- [4] Uslu I., Comert H., Ipek M., Ozdemir O., Bindal C., Evaluation of borides formed on AISI P20 steel, *Materials and Design*, 28, 55-61, 2007.
- [5] Bayça S.U., Şahin S., Borlama, *Mühendis ve Makine*, 532, 51-59, 2004.
- [6] Kayalı Y., Güneş İ., Ulu S., Diffusion kinetics of borided AISI 52100 and AISI 440C steels, *Vacuum*, 86, 1428-1434, 2012.
- [7] Taktak S., Some mechanical properties of borided AISI H13 and 304 steels, *Materials and Design*, 8, 1836-1843, 2004.
- [8] Meric C., Sahin S., Yilmaz S. S., Investigation of the effect on boride layer of powder particle size used in boronizing with solid boron-yielding substances, *Materials Research Bulletin*, 35, 2165-2172, 2000.
- [9] Yılmaz S.S., Ünlü B.S., Varol R., Borlanmış ve bilyalı dövülmüş demir esaslı T/M malzemelerin aşınma ve mekanik özellikleri, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1, 7-16, 2008.
- [10] Güven A., "Nanobor tozu ile yüzeyi alaşımlandırılan östenitik paslanmaz çeliğin mekanik özellikler ve korozyon davranışının araştırılması", Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Doktora Tezi*, Elazığ, 2012.
- [11] Sinha A.K., Boriding (Boronizing), *ASM Handbook, J. Heat Treating*, Ohio, USA., 4, 437-447, 1991.
- [12] Matuschka A.G., *Boronizing*, Carl Hanser Verlag, München, 1980.
- [13] Bindal C., Üçışık A.H., Characterization of borides formed on impurity-controlled chromium-based low alloy steels, *Surface and Coatings Technology*, 122, 208-213, 1999.

- [14] Şen U., Şen S., The Fracture Toughness of Borides Formed on Boronized Cold Work Tool Steels, *Materials Characterization*, 50,261-267, 2003.
- [15] Yapar U., Basman G., Arısoy C. F., Yesilcubuk S. A., Şeşen M.K., Influence of Boronizing on Mechanical Properties of EN-C35E Steels, *Key Engineering*, 264-268, 629-632, 2004.