

## Borlama işleminin Vanadis 4 çeliğinin aşınma direnci üzerine etkisi Effect of boronizing on the wear resistance of Vanadis 4 steel

Ramazan Çağrı Kutlubay<sup>1</sup> – Arzum Iştan<sup>2,\*</sup> –Yasin Gürcan<sup>3</sup>

**Özet:** Bu çalışmada, Ekabor II içeren katı bir ortamda, Vanadis 4 (V-4) soğuk iş takım çeliğine, borlama işlemi yapılmıştır. Borlama parametreleri 900 ve 950 °C sıcaklıkta 6 ve 8 saat olarak seçilmiştir. Aşınma testleri, pin-on-disk aşınma cihazı ile kuru ortamda, ASTM G99 standartına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Aşınma testleri iki farklı yük altında (20 N ve 30N) ve üç farklı kayma mesafesinde (600 m, 900 m, 1200 m) gerçekleştirilmiştir. Borlanmış ve borlanmamış V-4 çeliğinin aşınma davranışları incelenmiştir ve bor tabakasının aşınma direncine etkisi analiz edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Borlama, Vanadis 4, Soğuk iş takım çeliği, Aşınma

**Abstract:** In this study, Vanadis 4 (V-4) cold work tool steel was boronized in a solid medium which contains Ekabor II. The boronizing parameters were selected as to be at 900 and 950 °C for 6 and 8 hours. The wear tests were carried out in accordance with ASTM G99 standard using a pin-on-disc apparatus under dry sliding conditions. Wear experiments were performed applying two different loads (20 N and 30 N) at three different sliding distances (600 m, 900 m, 1200 m). The wear behavior of the boronized and untreated V-4 steel was examined, and effect of the boride coating on the changes of wear resistance was analyzed.

**Keywords:** Boronizing, Boriding, Vanadis 4, Cold work tool steel, Wear

### 1 GİRİŞ

Makine parçalarında rastlanılan en önemli hasar tipleri aşınma, yorulma ve korozyondur [1]. Tüm dünyada üretilen enerjinin %30'u sürtünme ve aşınma hasarlarına harcanmaktadır. Parça ömrü üzerindeki bu dezavantajların giderilmesi için parçalara çeşitli yüzey işlemleri yapılmaktadır [2,3,4,5]. Yüzeydeki sertliğin artmasıyla birlikte parçaların aşınma direnci doğru orantılı olarak artmaktadır. Karbürleme, nitrürleme, karbonitrürleme gibi termokimyasal esaslı veya termokimyasal olmayan yöntemlerle (sert krom kaplama, TiN, TiC, vb) parça yüzeyinin sertliği ve aşınma direnci artırılabilir. Yüzey sertliğini artırma yöntemlerinden bir tanesi de parçanın yüzeyinden bor difüzyonunun sağlanması veya parçanın yüzeyinde bor içeren katmanlar oluşturulmasıdır. Bu işlemin adına borlama denilmektedir. Borlama ile çelik parça yüzeyinde 1400-2000 HV sertlik değeri elde edilebilmektedir. Tabakanın sürtünme katsayısı da oldukça düşüktür [6,7].

Parça üretiminde, şekillendirme için kullanılan her türlü alete takım denir. Takımlar işleyecekleri parçalardan sert ve mukavim olmalıdırlar [8]. Kesme, plastik enjeksiyon ve plastik şekil verme kalıpları da takım olarak nitelendirilmektedir. Günümüzde kalıpta kesme işlemlerinde en fazla sıcak iş ve soğuk iş takım çelikleri kullanılmaktadır [9,10]. Ancak özellikle paslanmaz çelik üretiminde klasik takım çelikleri yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle kesme işlemleri için toz metalürjisi yöntemiyle üretilen çelikler günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu tür çeliklerden en yaygın kullanılanlardan biri Udelholm şirketinin ürettiği Vanadis çelikleridir [11]. Bu çeliklerin içerisinde yüksek oranda V, Mo ve Cr bulunmaktadır. Sürekli şekillendirme işlemlerinde kullanılan ve çok sert olan bu çeliklere çeşitli yüzey işlemleri uygulanarak aşınma dirençleri artırılmaktadır. Borlama bu yüzey işlemlerinden bir tanesidir [12,13].

Bu çalışmada toz metalürjisi ile üretilmiş Vanadis 4 soğuk iş takım çeliğinin aşınma performansına borlama işleminin etkileri incelenmiştir. EKabor® II tozları kullanılarak katı ortamda borlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen borlanmış numunelere aşınma deneyi uygulanarak sonuçlar incelenmiştir.

### 2 MALZEME VE METOD

Bu çalışmada kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilen Udelholm firması tarafından üretilen Vanadis 4 Extra Superclean soğuk iş takım çeliği kullanılmıştır [11]. Borlama işlemi yapılacak numuneler, Ø10x20 mm ölçülerinde kesilerek hazırlanmıştır.

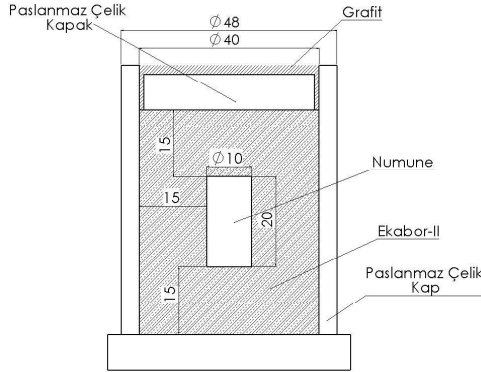
Tablo 1. Vanadis 4 çeliğinin kimyasal bileşimi [11]

Element	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
wt. %	1,4	0,4	0,4	4,7	3,5	3,7

Borlama işlemi Tablo 2'de verilen parametreler uygulanarak, paslanmaz çelik kapların içerisinde, numunelerin etrafı 15 mm EKabor® II tozları ile kapatılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Borlama işleminin tamamlanmasıyla birlikte parçalar havada soğutulmuş ve üzerindeki kalıntılar sıcak su yardımıyla temizlenmiştir. Temizleme işleminden sonra mikro yapı incelemesi için parçalar alından 5 mm kesilmiş ve ardından 200, 360, 600, 800, 1000 gridlik SiO<sub>2</sub> kağıtları ile zımparalanmıştır. Parlatma işlemi için 1µm elmas parlatma solüsyonu kullanılmıştır. Dağlama işlemi için numuneler, 10 dakika süreyle Vilella's Reagent (1 gr pikrik asit + 5 ml hidroklorik asit + 100 ml etanol) içinde bekletilmiştir [14,15].

6 ve 8 saat süreyle 900 ve 950 °C sıcaklıkta kaplanan numunelerin sertlik değerleri, 50 g yük altında, dijital mikro vickers sertlik cihazı (Hardway Hardness Testing Equipments DV-1AT-4.3) kullanılarak, numunenin merkezinden yüzeyine doğru belirli

aralıklarla yapılmıştır. İç yapı, Pamukkale Üniversitesi İleri Teknoloji ve Araştırma Merkezi'nde bulunan SEM (Zeiss Supra 40 VP) cihazı ile incelenmiştir.



Şekil 1. Borlama kabının şematik görünümü

Tablo 2. Borlama Parametreleri

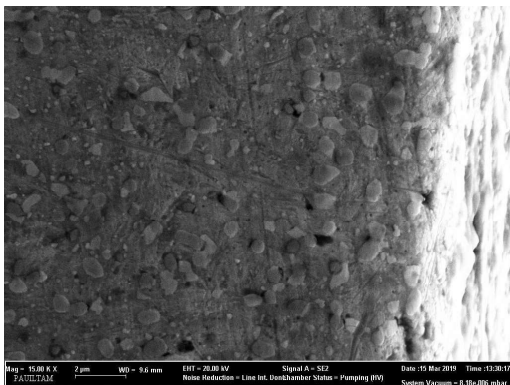
Numune Numarası	Borlama Sıcaklığı (°C)	Zaman (h)
1	900	6
2	900	8
3	950	6
4	950	8

Borlanmış ve borlanmamış numunelere, 20 ve 30 N yük altında 600 m, 900 m ve 1200 m kayma mesafelerinde, pin-on-disk aşınma cihazı ile kuru ortamda aşınma testleri uygulanmıştır. Yapılan aşınma testlerinde 320 gridlik SiO<sub>2</sub> zımpara kağıtları kullanılmıştır.

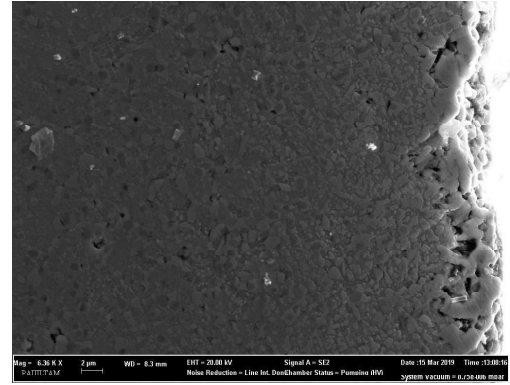
### 3 DENEYSEL SONUÇLAR

#### 3.1 Mikroyapı Analizi

Mikroyapı analizlerinde, 6 saat süre ile yapılmış olan borlama işlemi sonucunda belirgin bir bor tabakası oluşumu elde edilememiştir. Şekil 2'de 900 °C ve Şekil 3'de 950 °C'de 6 saat süre ile yapılan işlem sonucu oluşan mikroyapılar görülmektedir.

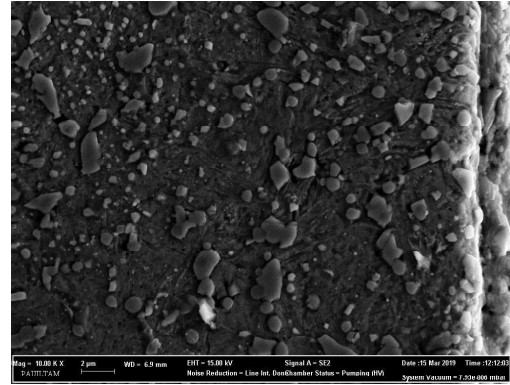


Şekil 2. 900 °C sıcaklıkta 6 saat borlanmış numunenin SEM görüntüsü (1)

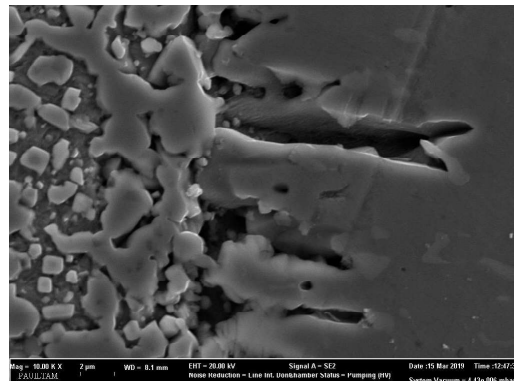


Şekil 3. 900 °C sıcaklıkta 8 saat borlanmış numunenin SEM görüntüsü (2)

900 °C sıcaklıkta 8 saat süre ile yapılan işlem sonucu 4 µm (Şekil 4), 950 °C 8 saat süre ile yapılan işlem sonucu 30 µm bor tabakası elde edilmiştir (Şekil 5).



Şekil 4. 950 °C sıcaklıkta 6 saat borlanmış numunenin SEM görüntüsü (3)



Şekil 5. 950 °C sıcaklıkta 8 saat borlanmış numunenin SEM görüntüsü (4)

Artan sıcaklık ve süre ile bor tabakasının oluşumu ve tabakanın kalınlığının arttığı tespit edilmiştir.

### 3.2 Mikro Sertlik Analizi

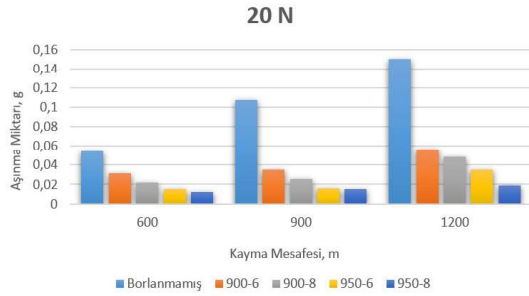
Borlama işlemi yapılan numunelerde merkez sertliği yaklaşık olarak 930 HV olarak ölçülmüştür. Yüzeydeki en fazla sertlik değerleri 900 °C sıcaklıkta 6 saat süreyle borlanan malzemede 1621 HV, 900 °C sıcaklıkta 8 saat süreyle borlanan malzemede 1588 HV, 950 °C sıcaklıkta 6 saat süreyle borlanan malzemede 1840 HV ve 950 °C sıcaklıkta 8 saat süreyle borlanan malzemede 1967 HV olarak ölçülmüştür. Elde edilen değerler, Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Elde edilen sertlik değerleri

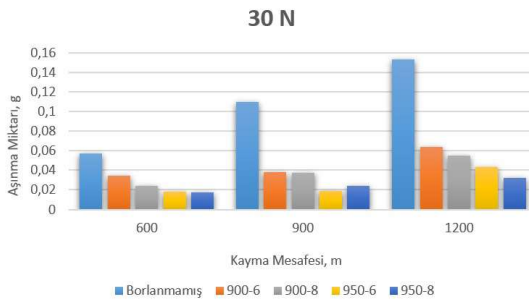
Numune Numarası	Maksimum sertlik (HV <sub>0,05</sub> )
1	1621
2	1588
3	1840
4	1967

### 3.3 Aşınma Analizleri

Aşınma deneyleri borlanmış ve borlanmamış numuneler için gerçekleştirilmiştir. Şekil 6'da 20 N yük altında yapılan ve Şekil 7'de 30 N yük altında yapılan aşınma testlerinin sonuçları görülmektedir.



Şekil 6. 20 N yük altında elde edilmiş olan aşınma miktarları



Şekil 7. 30 N yük altında elde edilmiş olan aşınma miktarları

Kayma mesafesinin ve uygulanan yükün artması ile aşınma miktarının arttığı görülmüştür. 600 m kayma mesafesinde 20 N yük altında, borlama işlemi uygulanmamış numunenin, 900 °C'de 6 saat borlanmış numuneye (1) göre %73,56, 900 °C'de 8 saat borlanmış numuneye (2) göre %150, 950 °C'de 6 saat borlanmış numuneye (3) göre %253,89 ve 950 °C'de 8 saat

borlanmış numuneye (4) göre %354,16 daha fazla malzeme kaybına uğradığı görülmüştür. 900 m kayma mesafesinde 20 N yük altında, borlama işlemi uygulanmamış numunenin, 1, 2, 3 ve 4 numaralı numunelere göre sırasıyla %204,54, %352,39, %557,66 ve %591,61 daha fazla malzeme kaybına uğradığı tespit edilmiştir. 1200 m kayma mesafesinde 20 N yük altında, borlama işlemi uygulanmamış numunenin, 1, 2, 3 ve 4 numaralı numunelere göre sırasıyla aşınma kaybının %166,84, %210,95, %332,47 ve %696,29 daha fazla olduğu bulunmuştur.

600 m kayma mesafesinde 30 N yük altında, borlama işlemi uygulanmamış numunenin, 1, 2, 3 ve 4 numaralı numunelere göre sırasıyla %68,82, %139,16, %218,88 ve %235,67 daha fazla malzeme kaybına uğradığı tespit edilmiştir. 900 m kayma mesafesinde 30 N yük altında, borlama işlemi uygulanmamış numunenin, 1, 2, 3 ve 4 numaralı numunelere göre sırasıyla aşınma miktarının %188,94, %196,75, %447,89 ve %357,5 daha fazla olduğu görülmüştür. 1200 m kayma mesafesinde 30 N yük altında, borlama işlemi uygulanmamış numunenin, 1, 2, 3 ve 4 numaralı numunelere göre sırasıyla %138, %177,81, %255,34 ve %377,5 daha fazla malzeme kaybına uğradığı görülmüştür.

Borlanmış numunelerin kendi içlerinde aşınma dirençleri kıyaslandığında kayma mesafesi ve yük artışıyla beraber aşınma kaybının arttığı tespit edilmiştir. En düşük aşınma kaybı 950 °C ve 8 saatlik borlama işlemine tabi tutulmuş olan 4 numaralı numunelerde elde edilmiştir. 20 N yük altında ve 1200 m kayma mesafesinde 1 numaralı numune 0,0564 gr ağırlık kaybına uğrarken 4 numaralı numune 0,0189 gr ağırlık kaybına uğramıştır. Borlama süresi ve sıcaklığının artmasıyla 20 N yük altında yaklaşık %200 aşınma direnci artışı görülmüştür. 30 N yük altında ve 1200 m kayma mesafesinde 1 numaralı numune 0,0642 gr ağırlık kaybına uğrarken 4 numaralı numune 0,032 gr ağırlık kaybına uğramıştır. Borlama süresi ve sıcaklığının artmasıyla 30 N yük altında yaklaşık %100 aşınma direnci artışı görülmüştür.

## 4 TARTIŞMA

Bu çalışmada, Ekabor II içeren katı bir ortamda, Vanadis 4 (V-4) soğuk iş takım çeliği, 900 ve 950 °C sıcaklıkta 6 ve 8 saat sürelerde borlanmış ve aşınma kayıpları karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda elde edilen veriler şöyle sıralanabilir:

1-Borlama işlemi ile aynı aşınma şartlarında, borlanmamış numuneye oranla, %700'lere varan aşınma direnci elde edilmiştir.

2-Borlama süresi ve sıcaklığı arttıkça, yüzeyde elde edilen sertlik değeri artış göstermiştir.

3-Aşınma yükü ve kayma mesafesi arttıkça, aşınma miktarı artış göstermiştir.

4-Borlama süresi ve sıcaklığı arttıkça, aşınma direncinde %200'lere varan aşınma direnci artışı elde edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] Şekercioğlu, T., “Makine Elemanları Hesap Şekillendirme”, Birsen Yayınevi, İstanbul 2015
- [2] Armağan, E., Uluköy, A., Kaplan, Y., Onar, V., “An Investigation of the Effect of Boronizing on Cutting Performance of HSS Twist Drill”, 7 th International Symposium On Machining, 2016.
- [3] Genel, K., “Boriding Kinetics of H13 steel, Vacuum”, 80(5),451-457, 2006.
- [4] Armağan, E., Kaplan, Y., Onar, V., Uluköy, A., “Wear Behavior of Boronized AISI D2 Tool Steel”, 16th International Materials Symposium IMSP’2016.
- [5] Uluköy, A., Kaplan, Y., Onar, V., Yıldız, M., Armağan, E., Çarık, O., Can, A. Ç., “The Microstructure and Hardness Analysis of Decarburization Followed by Boronizing AISI D3 Tool Steel”, ICENS International Conference on Engineering and Natural Science, 15-19 May 2015, Skopje, Macedonia.
- [6] Matuschka, A. G. Von. “Boronizing”, The Alden Pres Ltd., Oxford, England, s. 11-45, 1980
- [7] Özbek, İ., “Borlama Yöntemiyle (AISI M50, AISI M2) Yüksek Hız Çeliklerinin ve AISI W1 Çeliğinin Yüzey Performanlarının Geliştirilmesi”, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999.
- [8] Meran, C., “Malzeme Bilgisine Giriş”, Makine Mühendisleri Odası Yayınları, 2010.
- [9] Groover, M. P., “Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems”, John Wiley & Sons Inc., 2010.
- [10] Kalpakjian, S., Schmid, S.R., “Manufacturing Engineering and Technology”, Pearson, 2013.
- [11] [https://www.uddeholm.com/files/PB\\_Uddeholm\\_va\\_nadis\\_4\\_extra\\_english.pdf](https://www.uddeholm.com/files/PB_Uddeholm_va_nadis_4_extra_english.pdf) Erişim Tarihi: 22.03.2019.
- [12] Bartkowska, A., Swadźba, R., Popławski, M., Bartkowski, D., “Microstructure, microhardness, phase analysis and chemical composition of laser remelted FeB-Fe2B surface layers produced on Vanadis-6 steel”, Optics & Laser Technology, 86, 115–125, 2016.
- [13] Bartkowska, A., Bartkowski, D., Swadźba, R., Przystacki, D., Miklaszewski, A., “Microstructure, chemical composition, wear, and corrosion resistance of FeB–Fe2B–Fe3B surface layers produced on Vanadis-6 steel using CO2 laser”, Int J Adv Manuf Technol, 95, 1763–1776, 2018.
- [14] Arslan, F.K., Altınsoy, I., Hatman, A., Ipek, M., Zeytin, S., Bindal, C., “Characterization of cryogenic heat treated Vanadis 4 PM cold work tool steel”, Vacuum, 86(4), 2011.
- [15] Gecü, R., Kısasöz, A., Karaaslan, A., “Soğuk İş Takım Çeliklerinde Cr ve V İçeriğinin Malzeme

Özellikleri Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi”, 5. Isıl İşlem Sempozyumu, 2016.

## Yazar Adresleri

<sup>1</sup> Ramazan Çağrı Kutlubay, Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Kınıklı, Denizli, Türkiye, [rckutlubay@pau.edu.tr](mailto:rckutlubay@pau.edu.tr)

<sup>2</sup> Arzum Işutan, Dr., Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü, Kınıklı, Denizli, Türkiye, +902582964137, [aisitan@pau.edu.tr](mailto:aisitan@pau.edu.tr)

<sup>3</sup> Yasin Gürcan, Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, [ysn.grcan@gmail.com](mailto:ysn.grcan@gmail.com)

## İletişim Kişisi

\* Arzum Işutan, Dr., Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü, Kınıklı, Denizli, Türkiye, +902582964137, [aisitan@pau.edu.tr](mailto:aisitan@pau.edu.tr)