



8620 Kalite Çeliklerin Sertlik ve Koroziif Aşınma Direncine Bor İlavesinin Etkisi

Engin Çevik^{1*}, Ferhat Sarıçam², Yavuz Sun³, Cemal Çarboğa⁴, Bünyamin Çiçek⁵

^{1*} Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metal. ve Malz. Müh. Bölümü, Karabük, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4863-8762), engincevik@karabuk.edu.tr

² Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metal. ve Malz. Müh. Bölümü, Karabük, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8319-7459), ferhatsaricam@karabuk.edu.tr

³ Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metal. ve Malz. Müh. Bölümü, Karabük, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7336-5591), ysun@karabuk.edu.tr

⁴ Nevşehir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metal. ve Malz. Müh. Bölümü, Nevşehir, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6781-4955), ccarboga@nevsehir.edu.tr

⁵ Hitit Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Çorum, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6603-7178), cicekbunyamin78@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 23 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 31 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.799099)

ATIF/REFERENCE: Çevik, E., Sarıçam, F., Sun, Y., Çarboğa, C. & Çiçek, B. (2021). 8620 Kalite Çeliklerin Sertlik ve Koroziif Aşınma Direncine Bor İlavesinin Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 604-609.

Öz

Bu çalışmada; farklı oranlarda bor ilave edilen 8620 kalite ticari çeliklerin koroziif aşınma davranışlarının belirlenmesi amacıyla %3,5 sodyum klorür (NaCl) çözeltisi içerisinde farklı yükler (10, 20 ve 40 N) altında koroziif aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonrasında yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapılmış ve buradan elde edilen sonuçlar kullanılarak numunelerde meydana gelen hacimce kayıplar belirlenmiştir. Numunelerin aşınma karakteristikleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile analiz edilmiştir. 8620 kalite çeliklerin sertlik ve koroziif aşınma davranışları incelendiğinde optimum bor oranı 48 ppm olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bor, Borlu çelik, 8620 çeliği, Koroziif aşınma.

The Effect of Boron Additives on Hardness and Corrosive Wear Resistance of 8620 Steels

Abstract

In this study; tribocorrosion tests were carried out under different loads (10, 20 and 40 N) in 3.5% sodium chloride (NaCl) solution in order to determine the corrosive wear behavior of 8620 grade commercial steels to which boron was added in different proportions. Subsequently, surface roughness measurements were made, and using the results obtained, the volume losses in the samples were determined. The wear characteristics of the samples were analysed by a scanning electron microscope (SEM). When the hardness and corrosive wear behavior of 8620 quality steels were examined, the optimum boron ratio was determined as 48 ppm.

Keywords: Boron, Boron steel, 8620 steel, Corrosive wear.

* Sorumlu Yazar: engincevik@karabuk.edu.tr

1. Giriş

Çelik; endüstride yaygın olarak kullanılan, ticari öneme sahip, demir (Fe) ve karbon (C) alaşımıdır. Uzun yıllardır kullanılmasına rağmen gelişen teknolojiyle beraber daha üstün özelliklere sahip çeliklere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebepten dolayı, özellikle imalat sanayinde aşınma ve korozyon sebebiyle meydana gelen malzeme kayıplarının önüne geçilebilmesi amacıyla farklı bileşimlere sahip çelik türleri geliştirilmiştir. 8620 kalite çelikler de bu eksikliği gidermek amacıyla üretilen çelikler arasındadır. AISI 8620 çelikleri dişli çark, piston pimleri ve mil yapımında yaygın olarak kullanılmakla beraber bu çeliklerinin aşınma davranışları ve mekanik özellikleri krom, nikel, molibden, tungsten ve vanadyum gibi alaşım elementlerinin ilavesi ile geliştirilebilmektedir [1]. Çelik sanayisinde alaşım elementi olarak kullanılan bor ise çeliğe sertleşme kabiliyeti sağlaması ile bilinmektedir. Fakat bu pozitif etki ancak belirli oranlarda bor ilavesi ile sağlanabilmektedir. Optimum oranın üzerinde yapılan bor ilavesi sertlik ve mekanik özelliklerde düşüşlere sebebiyet vermektedir [2, 3]. Örneğin Çarboğa ve arkadaşları 1040 çeliklerine ppm mertebesinde yapılan bor ilavesinde 23 ppm bor ilavesini optimum oran olarak belirlemişler ve bu oran üzerinde yapılan bor ilavesinin malzemenin aşınma davranışı üzerinde olumsuz etkilerini tespit etmişlerdir [4].

Yapılan literatür incelemesinde korozyon davranışlarının geliştirilmesine yönelik çalışmalar daha çok çeliklerin yüzeylerinin borla kaplanmasına yöneliktir [5,6]. Bazı kısıtlı araştırmalar gemi, köprü ve petrol platformu gibi korozif ortamın çok etkili olduğu platformların yapımında tercih edilen düşük karbonlu beynitik çeliklere bor katkısının korozyon direncini arttırdığını belirtmektedir [7,8]. Karacif ve arkadaşları ise SAE 1020 çeliğine düşük oranlarda yapılan bor ilavesinin hem asidik ortamda hem de tuz ortamında korozyon dayanımını olumsuz yönde etkilediğini rapor etmişlerdir [9]. Lakin, korozif aşınma davranışının incelendiği herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Yapmış olduğumuz çalışmada AISI 8620 kalite çelikler farklı oranlarda bor ilavesi ile alaşımlandırılmış, üretilen çeliklerin mikro yapı, sertlik ve korozif aşınma davranışları belirlenmiştir. Elde edilen veriler ışığında sertlik ve korozif özellikler açısından 8620 kalite çelikler için optimum bor oranı belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Deneyel çalışmalar için Tablo 1’de belirtilen oranlarda bor içeren 8620 kalite numuneler üretilmiştir. Döküm esnasında havadan eriyik metal içerisine girebilecek oksijen ve havada bulunan azotla bor elementinin bileşik oluşturmasını engelleyebilmek için bor ilavesi öncesinde alüminyum ve titanyum ilave edilmiş ve borun BN oluşumu ve oksijenden etkilenmesi engellenerek borun elementel seviyede 8620 çeliğinin içerisinde kalması hedeflenmiştir [10,11].

İndüksiyon ocağı kullanılarak yapılan döküm işlemi sonrasında üretilen numuneler %200 oranında haddelenmiştir. Sonrasında 20x30x5 mm boyutlarında hazırlanmış ve mikroyapı incelemesi için standart metalografik prosedür uygulanmıştır.

Numunelerin detaylı mikroyapı incelemeleri Nikon ters metalürjik mikroskop ve EDX donanımlı Carl Zeiss Ultra Plus Gemini Fesem SEM cihazı ile yapılmıştır. Üretilen numunelerin

detaylı faz incelemeleri 3 derece/dakika tarama hızında Rigaku marka XRD cihazı ile yapılmıştır.

Mikroyapı incelemelerinin ardından, makro sertlik ölçüm cihazı kullanılarak sertlik ölçümleri HBW2.5/62.5 parametrelerinde 15 sn yük altında Brinell sertlik yöntemi kullanılarak Q10 A+ QNESS marka makro sertlik cihazında 10 adet ölçümün ortalaması alınarak gerçekleştirilmiştir.

Korozif aşınma testleri UTS Tribometer T10 test cihazında %3,5 NaCl tuzlu su çözeltisinde gerçekleştirilmiştir. Aşınma yükü olarak 10N, 20N ve 40N olmak üzere üç farklı yük tek bir aşınma hızında (60 mm/s) uygulanmıştır. Aşınma mesafesi olarak 250 metre seçilmiştir. Aşınma testleri neticesinde yüzey pürüzlülük cihazı kullanılarak aşınan yüzeylerin derinlikleri ve genişliklerinin ölçümü yapılmış ve 250 metre sonucunda hacimsel olarak kayıp belirlenmiştir. Ayrıca uygulanan yükün aşınmaya etkisi incelenmiştir. Aşınma sonrası en düşük ve en yüksek yükler değerlendirilerek, SEM analizine tabi tutulmuştur. Numunelerin aşınma mekanizmaları yüke bağlı olarak gözlemlenmiş ve aşınmış yüzey SEM görüntüleri ile desteklenmiştir.

Farklı oranlarda bor içeren 8620 kalite çeliklerin mekanik ve tribolojik açıdan optimum bor oranının belirlenmesi amaçlanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Mikroyapı İncelemesi

Şekil 1’ de 3 ppm bor içeren 8B3 kodlu numuneye ait mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde haddeleme işlemi sonrasında yapının tamamında yeniden kristalleşme gerçekleşmiş, uzamış ve deforme olmuş tane formu görülmektedir. Yapıya kimyasal bileşimindeki karbon oranına bağlı olarak daha çok ferrit yapının hakim olduğu görülmekle beraber ana yapının ferrit ve perlitlen oluştuğu gözlemlenmiştir. Haddeleme esnasında oluşan deformasyon ve uygulanan ısı etkisiyle yapıda mikroyapı üzerinde gösterilen bölgelerde asiküler ferrit yapıya rastlanılmıştır [12].

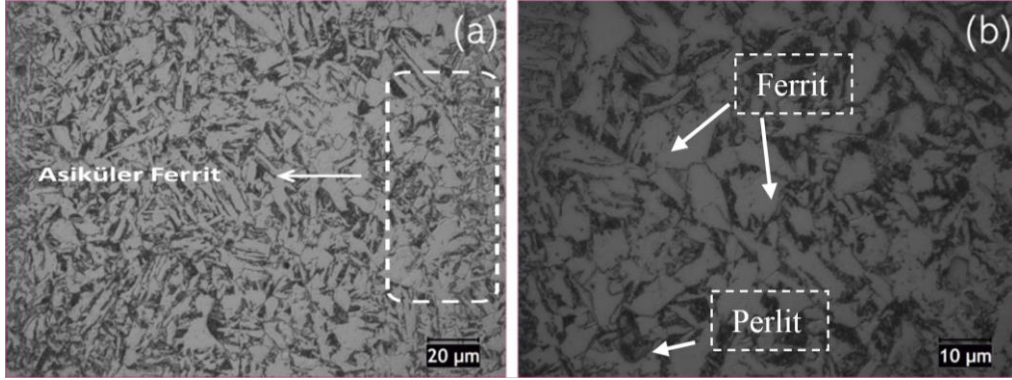
Şekil 2’de 8B48 kodlu numunelerden alınan mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde ferrit ve perlit fazlarına ilaveten farklı faz oluşumlarının meydana geldiği görülmektedir.

Şekil 4 ve Şekil 5’ de verilen SEM-EDX analizleri dikkate alınarak Şekil 3’de verilen mikroyapı görüntüsü incelendiğinde ise BN ve TiC benzeri yapıların oluştuğu tespit edilmiştir. Literatürde tane sınırlarında çökelen borun çeliklerin sertleşebilirliğini artırırken tane sınırlarındaki bor miktarı artarsa çeşitli karbürlerin oluştuğu ve bu yapının ferrit fazının çekirdeklenmesini kolaylaştırdığı belirtilmiştir [2,13]. Literatürle paralel olarak bor oranı arttıkça ferrit miktarının arttığı elde edilen görüntülerde belirlenmiştir [7].

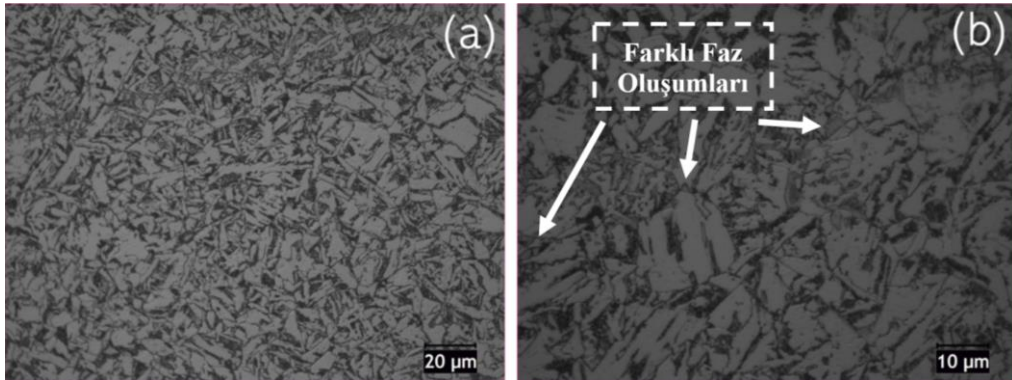
8B58 kodlu numuneye ait SEM görüntüsü Şekil 4’de, SEM-EDX analizi sonucu ise Tablo 2’de verilmiştir. SEM-EDX analizine göre bor elementine rastlanmamıştır. SEM ve EDX analizlerinden görüldüğü üzere ilave edilen Ti elementinin mikroyapı içerisinde C ve N ile birleşerek TiC ve TiN bileşiklerini oluşturmuştur. 1 nolu bölgede tane sınırlarında yer alan saç örgüsü şeklindeki yapının TiC bileşiği olduğu EDX analizi ile tespit edilirken yine tane sınırlarında yer alan köşegen yapıların TiN bileşikleri olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 1. Numunelerin spektral analiz sonuçları.

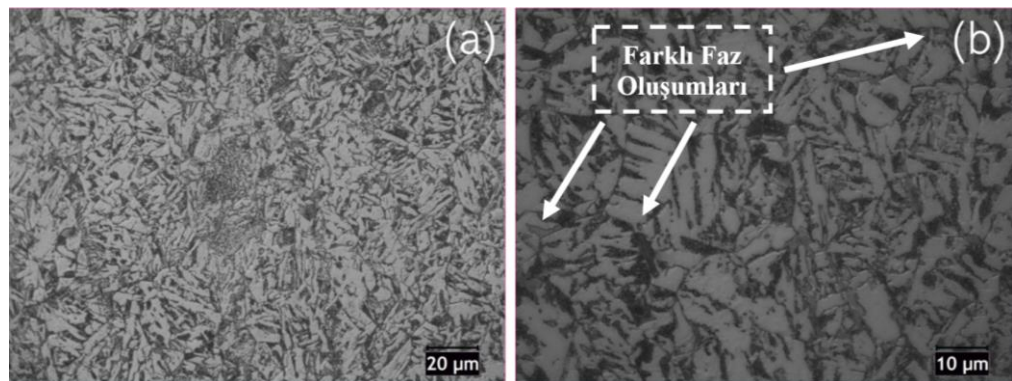
No.	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Al (%)	Cu (%)	Ti (%)	N (%)	Fe (%)	Ni (%)	Mo (%)	B (ppm)
8B3	0,23	0,20	0,86	0,013	0,008	0,64	0,096	0,066	0,035	0,013	97,11	0,49	0,17	3
8B14	0,23	0,20	0,86	0,013	0,008	0,64	0,096	0,066	0,035	0,013	97,11	0,49	0,17	14
8B30	0,23	0,20	0,86	0,013	0,008	0,64	0,096	0,066	0,035	0,013	97,11	0,49	0,17	30
8B48	0,23	0,20	0,86	0,013	0,008	0,64	0,096	0,066	0,035	0,013	97,11	0,49	0,17	48
8B58	0,23	0,20	0,86	0,013	0,008	0,64	0,096	0,066	0,035	0,013	97,11	0,49	0,17	58



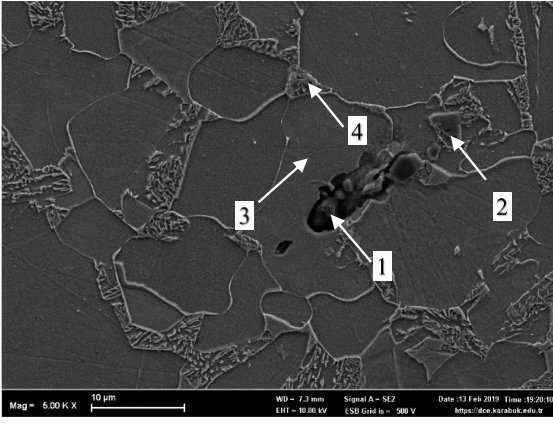
Şekil 1. 3 ppm bor içeren 8620 kalite çeliğe ait farklı büyütmelerde mikroyapı görüntüleri.



Şekil 2. 48 ppm bor içeren 8620 kalite çeliğe ait farklı büyütmelerde mikroyapı görüntüleri.



Şekil 3. 58 ppm bor içeren 8620 kalite çeliğe ait farklı büyütmelerde mikroyapı görüntüleri.



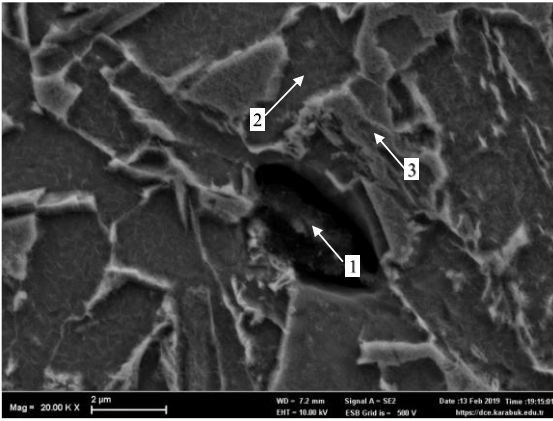
Şekil 4. 8B58 nolu numuneye ait SEM görüntüsü.

Tablo 2. 8B58 nolu numuneye ait EDX analizi.

Bölge	B	C	N	Ti	Fe
1	-	34,34	-	15,96	49,70
2	-	1,96	22,08	71,89	4,07
3	-	3,74	-	-	96,26
4	-	7,72	-	-	92,28

Bor oranının artmasıyla birlikte siyah küresel noktaların miktarında daha belirgin bir artış olduğu belirlenmiştir. Siyah renkli bu noktalarının bazılarının BN (Bor Nitrit) olduğu Şekil 5 ve Tablo 3 ile desteklenmiştir.

SEM-EDX analizine göre 1 numaralı noktada %22,98 oranında bor olduğu görülmüştür. SEM fotoğrafı üzerinden alınan 1 nolu EDX analizi yapıda TiN bileşiklerine ilaveten BN bileşiklerinin de oluştuğunu desteklemektedir.



Şekil 5. 8B58 nolu numuneye ait SEM görüntüsü.

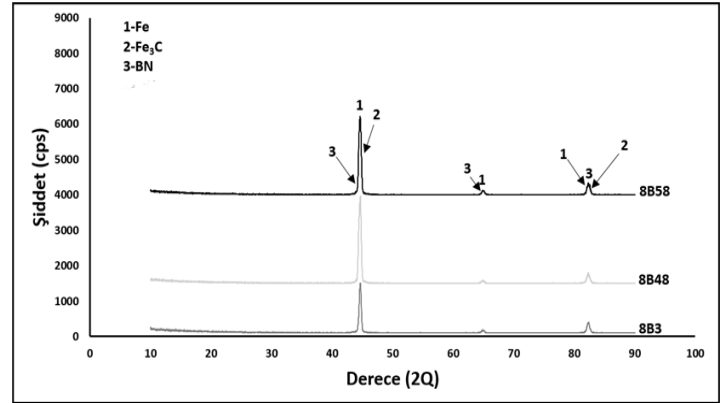
Tablo 3. 8B58 nolu numuneye ait EDX analizi.

Bölge	B	C	N	Ti	Fe
1	26,07	6,31	19,79	0,00	11,99
2	0,82	2,17	0,00	0,48	96,53
3	0,00	4,17	0,00	0,00	95,83

3.2. XRD Analizleri

3, 48 ve 58 ppm oranında bor içeren AISI 8620 kalite çeliklere ait XRD analizleri Şekil 6'da verilmektedir. XRD analizinde BN bileşiklerine rastlanılmış fakat TiN bileşikleri

tespit edilememiştir. Diğer taraftan artan bor ilavesi SEM analizlerinde de tespit edilen BN oluşumu XRD analizi ile de tespit edilmiştir.

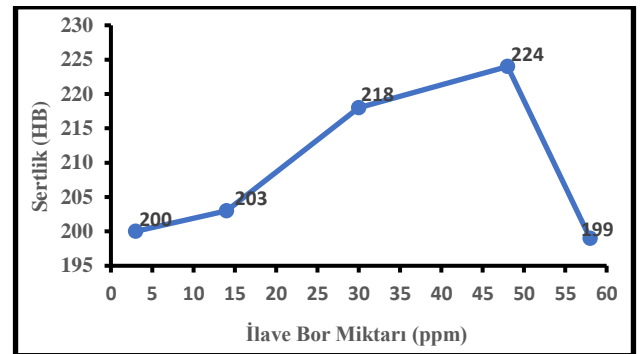


Şekil 6. XRD sonuçları.

3.3. Sertlik Testleri

8620 serisi çelik numunelerinin sertlik sonuçları göz önünde bulundurulduğunda, belirli miktardaki bor oranı sertliği olumlu yönde etkilemiştir. En fazla sertlik Şekil 7'de görüldüğü üzere 8B48 numaralı 48 ppm oranında bor katkısı neticesinde gözlemlenmiştir. 3 ppm bor içeren alaşıma kıyasla yaklaşık %12 civarında sertlikte artış sağlanmıştır. Bor ilaveli çeliklerde, östenit tane sınırlarında bulunan bor, tane sınır enerjisini düşürmekte ve ferrit fazının çekirdeklenmesini geciktirmektedir. Böylelikle sertlikte artış görülmektedir [13].

Diğer yandan belli bir oranın üzerinde bor bulunması, karbürü veya nitritli yapıların tane sınırlarında çökmesine neden olarak ferrit fazının çekirdeklenmesini de kolaylaştırmaktadır. Bundan dolayı bor miktarı açısından belirli bir eşik değeri vardır. Bu değer üzerinde sertlikte azalmalar görülebilmektedir [2,3].



Şekil 7. 8620 Kalite çeliklere bor ilavesinin sertliğe etkisi.

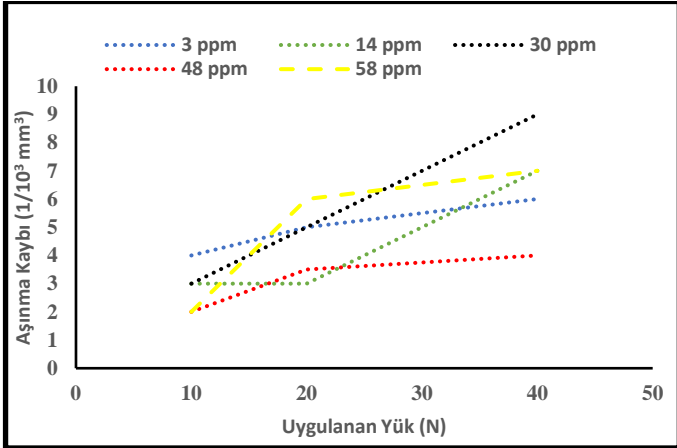
Yapılan literatür taramasında 17 ppm bor ilavesine kadar bor miktarı ile sertliklerin arttığı gözlemlenmiştir. 4140 çeliklerine 17 ppm değerinin üzerinde bor katılmasıyla mikroyapıda daha ince tane boyutu ve iğnemi morfoloji gözlemlenmesine rağmen sertlikte ani düşüş meydana gelmiştir [8].

Genel olarak bor miktarı çelik alaşımlarında hem literatüre göre hem de yapmış olduğumuz deneysel çalışmalara göre sertlik artışını sağlamakta fakat belli bir oranın üzerinde tekrardan sertlikte azalmalara neden olmaktadır. 8620 kalite çelikler için bu oranın 48 ppm olduğu tespit edilmiştir.

3.4. Koroziyon Aşınma Test Sonuçları

Farklı oranlarda bor içeren numunelere %3,5 NaCl çözeltisi içerisinde yapılan koroziyon aşınma testlerinden elde edilen aşınma derinlikleri Mutitoyo profilometre cihazı ile elde edilmiş, hesaplamalar maksimum derinlik esas alınarak yapılmıştır. Elde edilen veriler kullanılarak aşınma kayıpları hacimsel olarak hesaplanmış ve bulgular Şekil 8'de verilmiştir.

İncelenen numunelerde 20 N yük dışındaki bütün yükler için en yüksek aşınma dayanımı 48 ppm bor içeren 8B48 no'lu numunede ölçülmüştür. Bu yükte (20N) de 14 ppm bor içeren numuneyle 48 ppm bor içeren numunede meydana gelen aşınma kayıpları birbirine oldukça yakın olarak kaydedilmiştir. Ölçülen bu değerler sertlik değerleriyle de örtüşmektedir. Cheng vd. çeliklerde korozyonu pasif bir demir oksit tabakasının oluşumu ve sonrasında oyuklaşmayla bu tabakanın tahrip edilmesi şeklinde açıklamaktadırlar [14]. Düşük yüklerde NaCl çözeltisi içerisinde çelikte meydana gelen oksit tabakası aşınma etkisiyle tahrip olmazken yüksek yüklerle çıktığında aşınma kayıpları da büyük oranlarda artmıştır. Fakat en düşük oranda bor içeren alaşımda bu artış lineer gerçekleşirken yüksek oranda bor içeren numunelerde özellikle 20 N kayma yükünden sonra aşınma kayıpları çok hızlı artmıştır. Bunun sebebi bor ilavesi ile oluşan yeni ikincil fazların ferrit matrisle koroziyon çözelti içerisinde galvanik ikili oluşturması ve bu fazların etrafını korozyona uğratarak serbest hale gelmesi sonucunda yüksek yüklerde bu partiküllerin yapıdan ayrılıp aşınma kayıplarını daha yüksek oranda arttırmaları olarak düşünülmektedir.

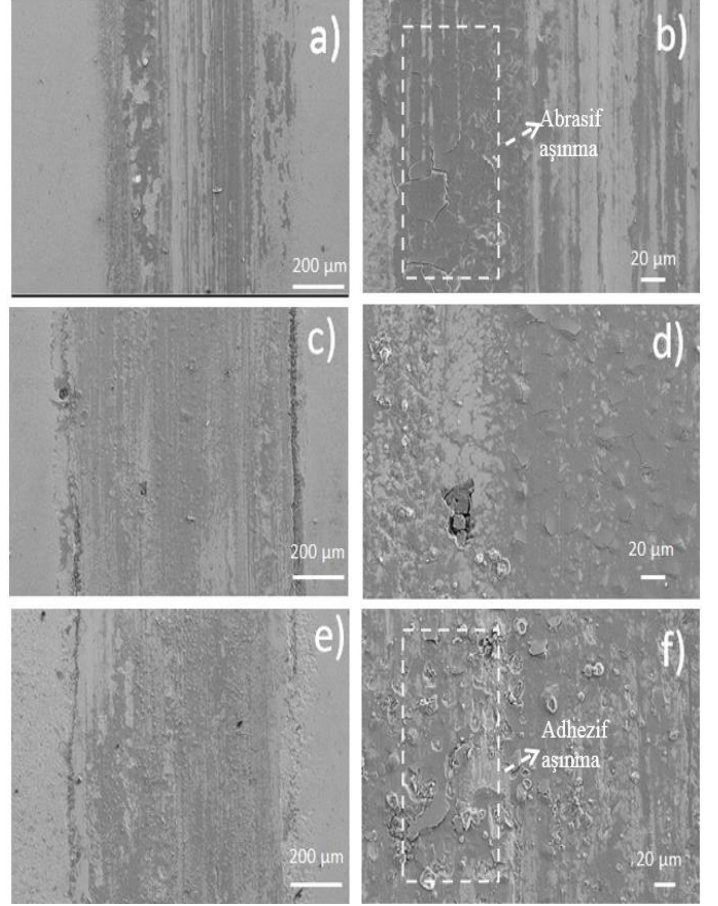


Şekil 8. 8620 kalite çelikler için uygulanan yüke bağlı olarak hacimce aşınma kayıpları.

Şekil 9'da 8B3 nolu numuneye ve Şekil 10'da ise 8B58 nolu numuneye ait koroziyon aşınmış yüzey SEM fotoğraflarını incelenmiştir. 8620 kalite çeliklerde eşik değerinin (48 ppm) üzerinde ilave edilen bor sertlik değerlerinde düşüşe sebep olduğu gibi aşınma dayanımlarını da negatif yönde etkilemektedir. 8B58 nolu 58 ppm bor ilavesi yapılmış numunede daha derin adhesiv aşınma izleri görülürken 3 ppm bor içeren 8B3 nolu numune daha düşük aşınma derinlikleri tespit edilmiştir.

Abrasif aşınma ana malzemeden parça kopması ve çiziklerle sonuçlanabilir buna ilave olarak plastik deformasyonda görülebilmektedir. Adhezif aşınmada ise karşı malzeme ile ana malzemenin birbirine sürtünmesi ve malzemenin bir alt tabakadan diğerine aktarılması olarak açıklanabilmektedir. Yüke bağlı olarak baktığımızda düşük yüklerde koroziyon ortamının etkisi daha

net olarak görülmekte koroziyon ortamının etkisiyle yüzeye çizikler ve oyuklanmalar şeklinde abrasif aşınma mekanizması hâkim olduğu tespit edilmiştir. Yüksek yüklerde ise gerek karşı malzemeden kopan gerekse malzemeden kopup tekrardan yükün etkisiyle yüzeye yapışmış bölgeler gözlemlenmiştir. Bu durum yüksek yüklerde koroziyon aşınmaya ilaveten daha çok adhezif aşınma karakteristiğinin görüldüğünü göstermektedir.

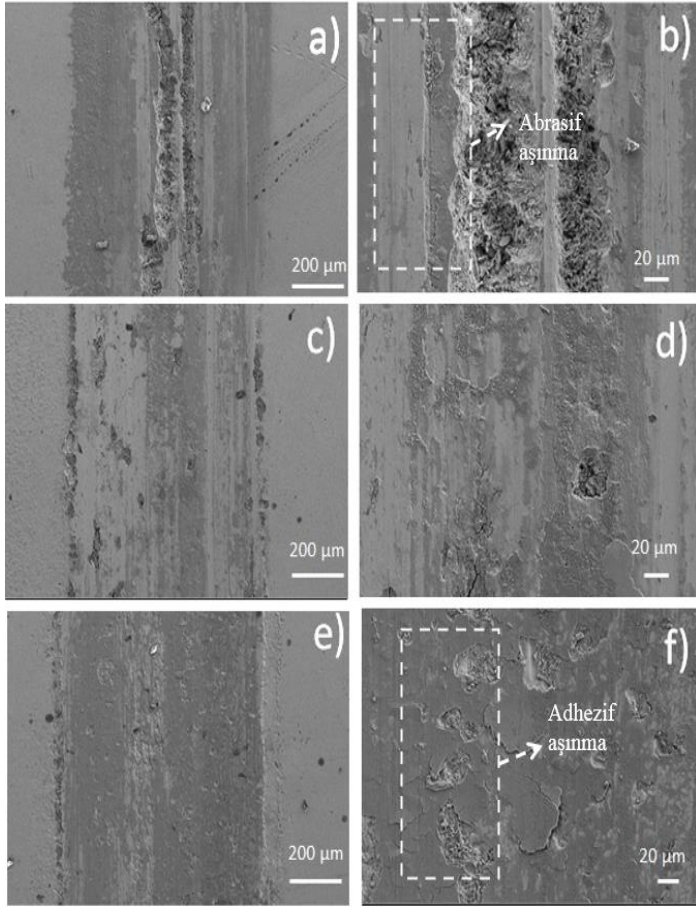


Şekil 9. 8B3 No'lu numuneye ait aşınma farklı büyütme ölçeklerinde SEM görüntüleri (a-b) 10N, (c-d) 20N, (e-f) 40N.

4. Sonuç ve Öneriler

Ticari 8620 kalite imalat çeliklerine farklı oranlarda bor ilavesi yapılarak vakumsuz indüksiyon ocağında alaşımlama işlemi gerçekleştirilmiş ve üretilen alaşımların mikroyapı incelemeleri, sertlik ve metal-metal koroziyon aşınma deneylerinden aşağıdaki genel sonuçlar elde edilmiştir.

1. Üretilen alaşımlarda bor ve titanyum ilavesi sonrasında optik mikroskop görüntülerinde farklı faz oluşumları tespit edilmiş. Bu fazların SEM'in EDX dedektörü ile analizinde BN, TiC ve TiN fazları olduğu tespit edilmiştir.
2. 8620 kalite alaşıma yapılan 48 ppm bor ilavesi ile sertlik değerlerinde %12 seviyelerinde bir artış gözlemlenmiştir.
3. Gerek düşük gerekse yüksek yüklerde en yüksek aşınma dayanımı 48 ppm bor içeren numune sağlanırken diğer bor ilaveli numuneler daha fazla aşınma kaybına uğramışlardır.
4. Aşınma sonrası SEM fotoğraflarına baktığımızda düşük yüklerde koroziyon ve abrasif aşınma mekanizması görülürken yüksek yüklerde koroziyon aşınma mekanizmasına ilaveten daha çok adhesiv aşınma mekanizması görülmüştür.



Şekil 10. 8B58 No'lu numuneye ait aşınma farklı büyütmelerde SEM görüntüleri (a-b) 10N, (c-d) 20N, (e-f) 40N

5. Teşekkür

Projenin pratik uygulama çalışmalarının gerçekleştirilebilmesi için vermiş oldukları katkılar adına MARGEM Laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Erden, M. (2016). Effect of C Content on Microstructure and Mechanical Properties of Nb-V Added Microalloyed Steel Produced by Powder Metallurgy Method . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* , 5 (9) ,44-47.
- [2] Karlsson, L., Nordén, H., and Odelius, H. (1988). Overview no. 63 Non-equilibrium grain boundary segregation of boron in austenitic stainless steel I. Large scale segregation behaviour. *Acta Metallurgica* , 36 (1): 1–12.
- [3] Werner, D. H., "Boron and Boron Containing Steels", *Woodhead Publishing Ltd*, 2nd editio. Ed., (1995).
- [4] Çarboğa, C., Kurt, B., and Dal S. (2019). Investigation of Wear and Microstructure Properties of AISI 1040 Steel with Different Boron Content. UDCS'19 Fourth Internatinal Iron and Steel Symposium, 4-6 April, Karabuk, 482-484.
- [5] Güneş, İ., Çelik, A. G. (1995). Borlanmış sementasyon çeliğinin tribolojik özelliklerinin incelenmesi. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 6 (2): 333- 344.
- [6] Çelik, A. G. (2018). Characterization of Borided DIN X165 CrMoV12 Steel. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 5 (3): 904- 908.
- [7] Çarboğa, C. (2010). Düşük karbonlu çeliklere bor ilavesinin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkisi. Doktora Tezi, *e-ISSN: 2148-2683*

Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

[8] Aksoy, T. (2019). 4140 çeliğinin korozif aşınma özelliklerine etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

[9] Karacif, K., Çarboğa, C., ve Candemir D. (2019). Düşük oranlarda bor içeren az karbonlu çeliklerin asidik ve tuzlu ortamlarda korozyon özelliklerinin incelenmesi. *Bor Dergisi* , 4 (1) ,39-45.

[10]Llewellyn, D. T. and Cook, W. T. (1974). Metallurgy of boron-treated low-alloy steels. *Metals Technology*, 1 (1): 517–529.

[11]Taylor, K. A. and Hansen, S. S. (1990). The boron hardenability effect in thermomechanically processed, direct-quenched 0.2 Pct C steels. *Metallurgical Transactions A*, 21 (6): 1697–1708.

[12]Aksoy, A. (2015). Çelik Malzemelerde Hasar Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[13]Morrall, J. E. and Cameron, T. B. (2007). A model for ferrite nucleation applied to boron hardenability. *Metallurgical Transactions A*, 8 (11): 1817–1819.

[14]Cheng, Y. F., Wilmott, M., and Luo, J. L. (1999). Role of chloride ions in pitting of carbon steel studied by the statistical analysis of electrochemical noise. *Applied Surface Science*, 152 (3): 161–168.