

BORLANMIŞ AISI 1030 ÇELİĞİNİN ABRAZİF AŞINMA ÖZELLİKLERİ

Osman Nuri ÇELİK¹, Ömür AKBAYIR², Hakan GAŞAN³,
Ümit ER¹, Nedret AYDINBEYLİ³

ÖZET: Bu çalışmada, katı ortamda borlanmış AISI 1030 çeliğinde ısıl işlem parametrelerinin yüzey ve abrazif aşınma özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Borlama işlemi 900, 950, 1000 ve 1050 °C'de 2, 4 ve 6 saat sürelerde, katı ortamda EKabor®2 toz bor verici karışımla yapılmıştır. Borür tabakası fazlarının türü mikroyapı analizleriyle tespit edilmiştir. Aşınma deneyleri, aşındırıcı kağıt kaplı metal disk üzerine 42 N sabit yük ile temas ettirilen kübik numuneler üzerinde yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, 80.6 µm ile 340.9 µm arasında borür tabakası kalınlığı tespit edilmiştir. Borür tabakası kalınlığı işlem sıcaklığı ve süresine bağlı olarak artmaktadır. Borlanan numunelerin yüzey sertliklerinin de işlem sıcaklığı ve süresine bağlı olarak arttığı görülmüştür. Yüzeyde en düşük 1227 HV en yüksek 1625 HV sertlik ölçülmüştür.

Yapılan aşınma deneyleri sonucunda ısıl işlemsiz numunelerin SiC aşındırıcı karşısında Al₂O₃ aşındırıcıya göre daha az aşındığı ancak borlanmış numunelerde bu durumun ters olduğu görülmüştür. Aşınma direncinin, yüzeyde oluşan borür tabakası özelliklerine bağlı olarak ısıl işlemsiz numunelere göre yüksek oranlarda arttığı tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELE: Borlama, abrazif aşınma, AISI 1030.

ABRASIVE WEAR PROPERTIES OF BORIDED AISİ 1030 STEEL

ABSTRACT: In this study, the effect of heat treatment conditions on abrasive wear and surface properties of borided AISI 1030 steel was analysed. Boriding was made at 900, 950, 1000 and 1050 °C, in 2, 4 and 6 hours by using EKabor®2 powders. Borided layer phases were investigated by microstructural image analysis. Wear experiments were made on cubic specimens which was forced with 42 N done to emery paper coated rotating disc. Borided layer thickness increases depending on boriding heat treatment temperature and time. The surface hardness of borided specimens increases as well. Results of the experimental studies show that boride layer thickness changes in the range of 80.6 mm and 340.9 mm. Minimum 1227 HV and maximum 1625 HV of hardness values were measured on borided layer surface. The wear resistance of none treated specimens were higher on SiC than Al₂O₃ media, this result was reversed for the treated ones. It was found that the wear resistance in AISI 1030 steel increased much more than none treated specimens depending on borided layer properties.

KEYWORDS: Boriding, abrasive wear, AISI 1030.

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
Makina Mühendisliği Bölümü, Batı Meşelik Kampüsü, 26480 ESKİŞEHİR

² TCDD, Ankara Cer Atölyesi, ANKARA

³ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Metalurji Enstitüsü, Batı Meşelik Kampüsü, 26480 ESKİŞEHİR

I. GİRİŞ

Makinelere ortaya çıkan arızaların ve konstrüksiyon elemanlarının kullanım dışı kalmasının en önemli sebeplerinden birisi malzemelerde meydana gelen aşınmadır. Aşınma, geri kazanılamayan madde kaybı olarak da tanımlanabilir. Bu nedenle aşınmaya karşı malzemelerin daha dirençli hale getirilmesinin önemi büyüktür. Yüzey sertleştirme işlemleri makine elemanlarında yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılan nispeten ucuz ve kolay uygulanabilen işlemlerdir [1]. Metal malzemelerde yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla yapılan ısıl işlemlerden biri de borlamadır. Borlama difüzyona dayalı termokimyasal bir yüzey sertleştirme ısıl işlemidir [2]. Bu işlemde, bor elementi atom çapının daha küçük olması, bu elementin bir çok malzeme içerisinde kolaylıkla difüzyonuna imkan vermektedir [3]. Genellikle borlama işlemi, 700 – 1050 °C sıcaklık aralığında 1 - 12 saat sürelerde çeşitli borlama ortamlarında gerçekleştirilmektedir [3]. Borlama ısıl işlemi; katı, sıvı, gaz veya plazma ortamlarda yapılabilmektedir. Uygulanan yöntemle bağlı olarak bor kaynağı B_4C , $Na_2B_4O_7$ veya H_2B_6 bileşikleri olabilir. Ayrıca aktivatör olarak tercihen KBF_4 kullanılmaktadır. Borlama ısıl işlemi sırasında aktivatörler tabakanın düzenli büyümesini sağlarken, dolgu ve deoksidan malzemeler işlem sıcaklığında oksijeni tutarak redükleyici bir ortam oluşturmakta ve ortamdaki malzemelerin ana malzemeye yapışmasını önlemektedirler [1,4]. Bor difüzyonu sonucunda alaşımsız çelik malzemelerde işlem koşullarına bağlı olarak Fe_2B veya Fe_2B+FeB fazları oluşmaktadır [5]. Oluşan bu fazlar, yüzeyden içeriye doğru ilerleyen çoğunlukla iğnesel bir yapı göstermektedir [6]. Genel olarak Fe_2B istenen fazdır. İki fazın bir arada olduğu durumlarda fazlar arasında yüzeye paralel mikro çatlaklar oluşabilmektedir. Yüzeyde oluşan FeB borür tabakası oldukça gevrek ve kırılgandır [6,7].

Borlama ısıl işlemiyle bilinen yüzey sertleştirme yöntemlerinde elde edilen yüzey sertlik değerlerinin daha üzerinde sertliğe sahip yüzey tabakaları elde etmek mümkün olmaktadır [4]. Borlama ile karbon çeliklerinde 1800-2000 HV, alaşımlı çelik malzemelerde 2500-2800 HV ve yüksek hız çeliklerinde 2800-3300 HV'lik yüzey sertlikleri elde edilebilir. Ticari çeliklerde elde edilebilen 1800-2000 HV'lik sertlik değerleri Al_2O_3 'ün sertlik değerine yakındır [8]. Kaymalı sürtünmelerde açığa çıkan ısı, karbürizasyonla sertleştirilmiş yüzey tabakasının sertliğinin azalmasına neden olurken borlu tabakalarda böyle bir sorun ortaya çıkmaz. Çünkü bor

yayınımla elde edilen borür tabakası 900 -1000 °C’de dahi sertliğini ve özelliklerini yitirmeyen bir tabakadır [9,10]. Ayrıca borun oksijene olan ilgisi fazla olduğundan yüzeyde koruyucu ince bir tabaka oluşmakta ve bu oksit tabakası yüzeyde katı yağlayıcı vazifesi görüp, sürtünmeli aşınma sırasında metal-metal temasını geciktirerek sürtünme katsayısını düşürmekte ve yüzeylerin birbirine kaynamasını engellemektedir [11]. Tüm bunların yanında relatif aşınma direnci yalnız sertliğe bağlı değil, aynı zamanda gevreklik gibi bazı fiziksel ve mekanik özelliklere de bağlıdır [12]. Bu gerçek, borlu tabakaların aşınma davranışlarının detaylı olarak incelenmesinin gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

Bu çalışmada, imalat sanayinde yaygın olarak kullanılan alaşımsız sade karbonlu AISI 1030 çeliği altlık malzeme olarak seçilmiş ve farklı işlem şartlarında toz Borlama uygulanarak elde edilen numuneler bu çeliğin işlemsiz hali ile sertlik ve abrazif aşınma özellikleri açısından karşılaştırılmıştır.

II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada AISI 1030 ötektoid altı çeliğine ait numuneler 900, 950, 1000 ve 1050 °C sıcaklıklarda 2, 4 ve 6 saat sürelerde borlama işlemine tabi tutulmuştur. Borlama işlemi katı ortamda EKabor®2 tozları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Borlama sonrasında oluşan borür tabakalarının yapısı, optik mikroskop yardımıyla belirlenmiştir. Borür tabakası kalınlıkları görüntü analiz sistemiyle, sertlik değerleri ise mikro sertlik cihazıyla tespit edilmiştir. Borür tabakasının abrazif aşınma davranışı dönen disk üzerine yapıştırılan SiC ve Al₂O₃ ortamlarında incelenmiştir.

II.1. Deneylede Kullanılan Malzeme ve Borlama Isıl İşlemi

Deneylede kullanılan malzemeye ait bileşim değerleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Deneylede kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi (% ağırlık)

C	Si	Mn	P	S	Fe
0,331	0,285	0,648	0,012	0,032	Kalan

Deneye tabi tutulacak olan numuneler SiC kesici disk ile sulu ortamda (12.7×12.7×12.7) mm³ ebadında kesilmişlerdir. Borlama işlemi katı-toz ortamda gerçekleştirilmiştir. Bor kaynağı olarak EKabor®2 ve deoksidan olarak Ekrit®

tozları kullanılmıştır. Borlama işleminde AISI 304 kalite 3 mm kalınlığında paslanmaz çelik saçtan yapılmış (11×8×7) cm³ ölçülerinde ağzı kapaklı kutular kullanılmıştır (Şekil 1). Çelik kutu içine tabandan itibaren 1 cm yüksekliğinde EKabor®2 tozu konulmuş, numuneler bu toz üzerine aralarında en az 2 cm ve kutu kenarı ile aralarında en az 1 cm toz kalacak şekilde yerleştirilmiştir. Numuneler yerleştirildikten sonra numunelerin üzeri 1 cm yüksekliğinde EKabor®2 tozu ile doldurulmuş ve kutunun üst seviyesine kadar Ekrit® tozu eklenmiştir. Bu şekilde hazırlanan kutuların her birine 3'er adet numune yerleştirilerek ısıl işlem fırınına konmuştur.

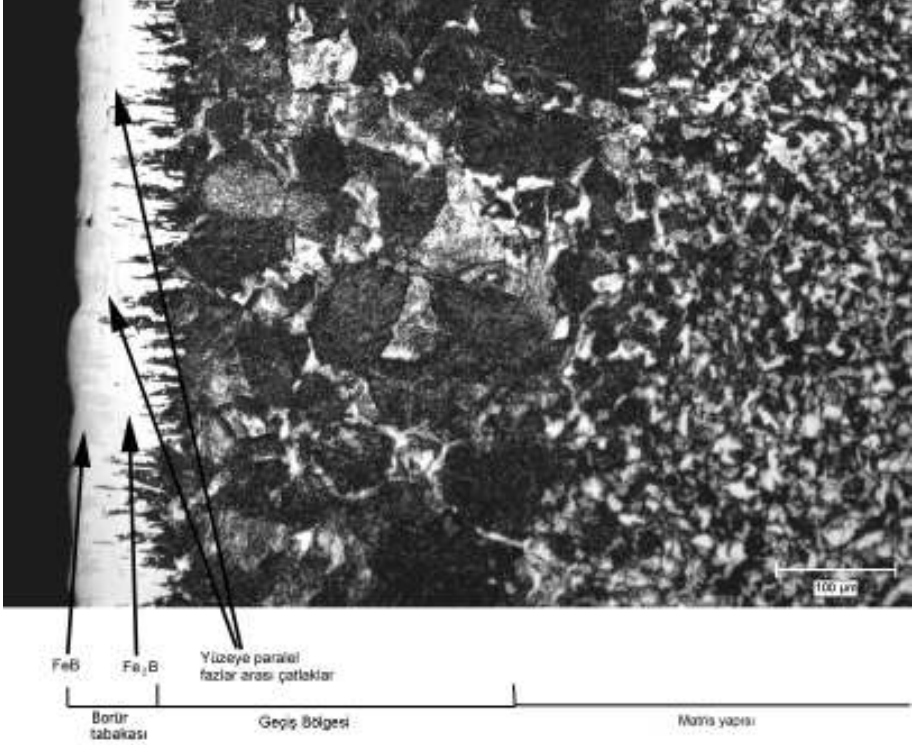


Şekil 1. Borlama işleminin yapıldığı çelik kutu.

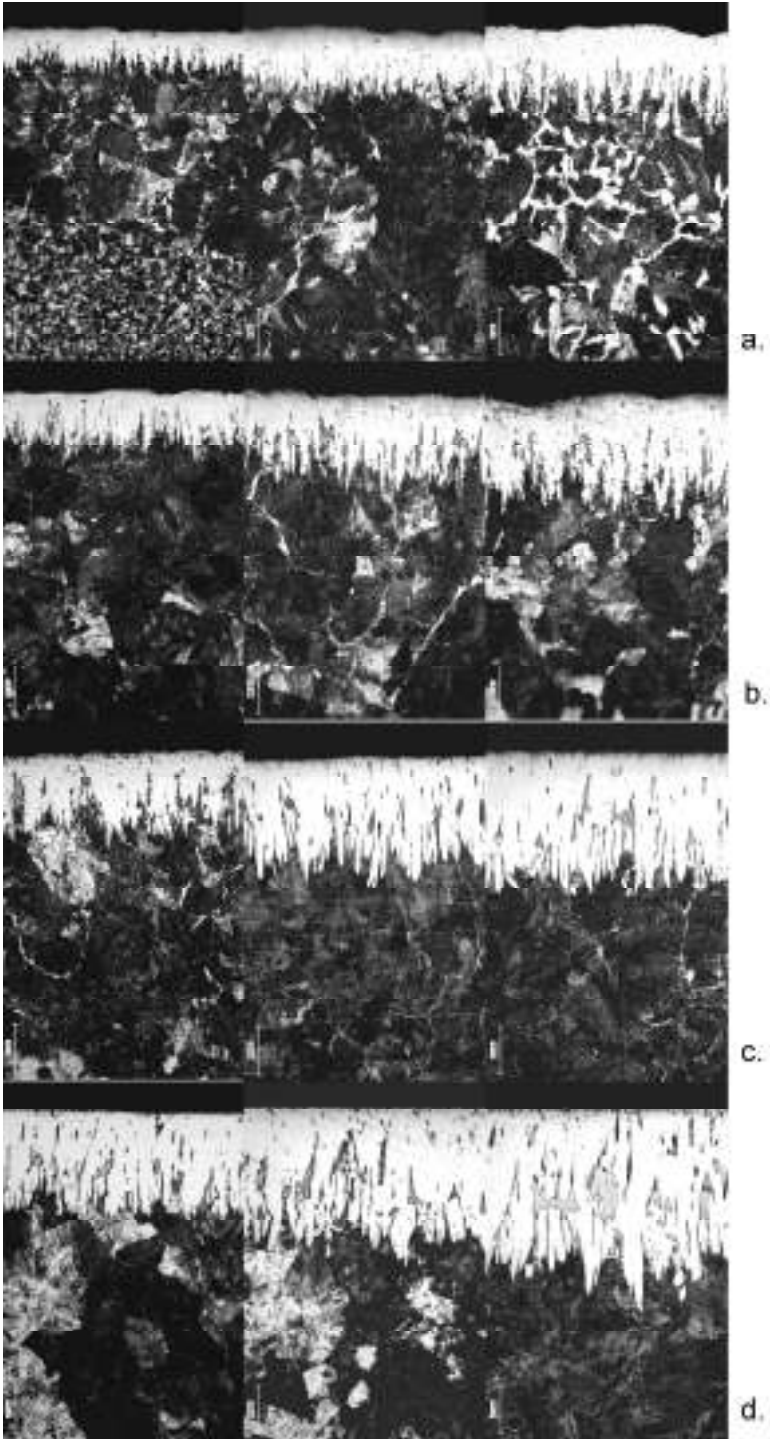
II.2. Malzemelere Ait Metalografik Çalışmalar

Her koşul için borlanmış numunelerden biri ortadan ikiye kesilerek metalografik inceleme için yüzeyi hazırlanmıştır. Özellikle borlanmış numunelerin yüzeyindeki borür tabakasına zarar vermeden numune hazırlamaya özen gösterilmiştir. Metalografik olarak hazırlanan numuneler optik mikroskop ile incelenmiştir. Yüzeye yakın olan FeB fazı ile bunun altında yer alan Fe₂B fazı, dağlama ile elde edilen renk farkından dolayı kalitatif olarak kolaylıkla birbirinden ayırt edilmiştir (FeB fazı

Fe_2B 'ye göre daha koyu gri görülmektedir) (Şekil 2). Farklı süre ve sıcaklıklarda borlanan AISI 1030 çeliğinin mikroyapılarının optik metalografik incelemelerinde elde edilen görüntüler Şekil 3'de görülmektedir.

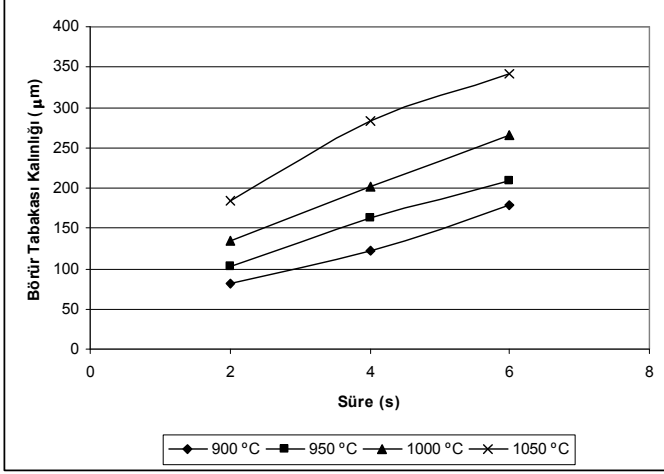


Şekil 2. 900 °C'de 2 saat borlanmış numunenin mikroyapı fotoğrafı (%5 Nital, 200x).



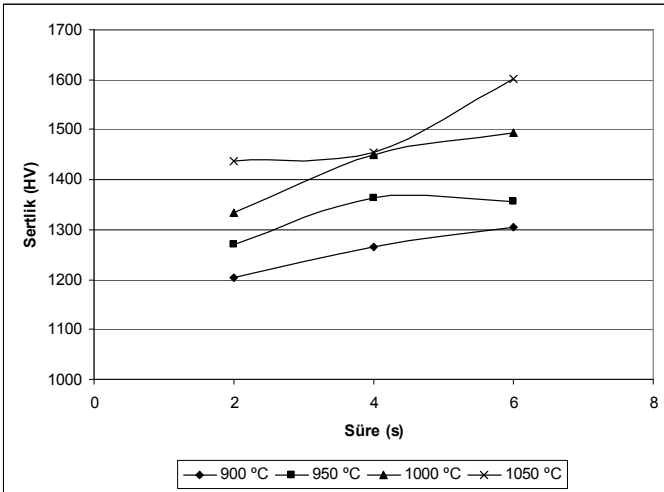
Şekil 3. a. 900 °C, b. 950 °C, c. 1000 °C ve d. 1050 °C’de sırasıyla 2, 4 ve 6 saat borlanmış numunelerin mikro yapı resimleri (%5 Nital, 200x).

Metalografik numuneler üzerinden Nikon Eclipse 150 model optik mikroskop ile Clemex görüntü analiz yazılımı kullanılarak tabaka kalınlıkları ölçülmüştür. Tabaka kalınlıklarının borlama süresi ve sıcaklığına bağlı değişimi Şekil 4’de gösterilmiştir.

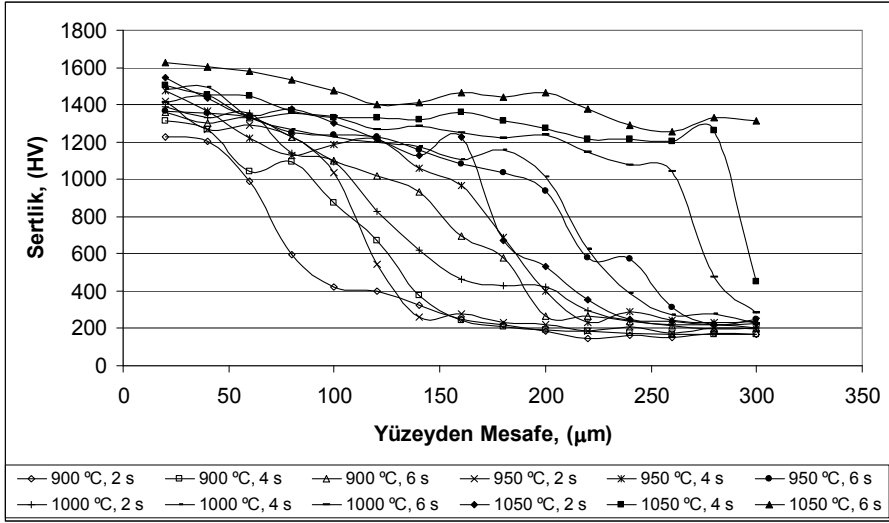


Şekil 4. Sıcaklık ve süreye bağlı tabaka kalınlığı değişimi.

Borür tabakası sertliği her numunede yüzeyden 40 µm içeride ölçülmüş ve sertliğin işlem süresi ve sıcaklığına bağlı değişimi Şekil 5’de verilmiştir. Tüm numunelerin yüzeyden itibaren 300 µm derinliğe kadar sertlik dağılımları ise şekil 6’da verilmiştir. Sertlik ölçümleri Future Tech marka mikro sertlik ölçüm cihazında Vickers batıcı uç ile 50 gr yükte 15 sn sürede ölçülmüştür.



Şekil 5. Sıcaklık ve süreye bağlı sertlik değişimi.



Şekil 6. Sertlik değerlerinin yüzeyden itibaren sıcaklık ve süreye bağlı değişimi.

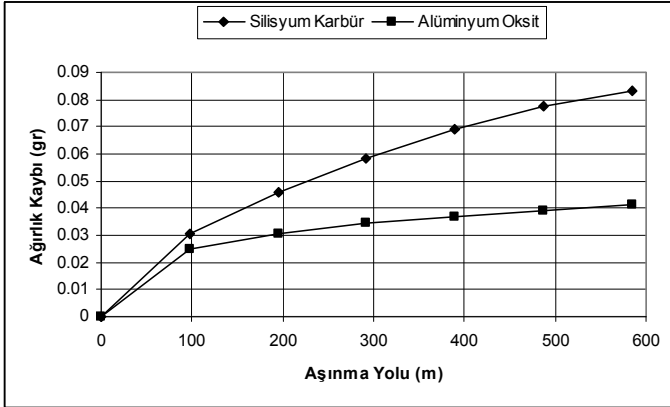
II.3. Aşınma Deneyleri

Abrazif aşınma deneyleri, Şekil 7’de şematik şekli gösterilen Plint TE 53 model aşınma test cihazında gerçekleştirilmiştir. Aşındırıcı karşı cisim olarak Alüminyum Oksitli (Al_2O_3) ve Silisyum Karbürlü (SiC) 400 gritlik zımpara kâğıtları kullanılmıştır. Cihazın aşındırıcı metal diski, çift taraflı yapışkan bant kullanılarak zımpara kâğıtları ile kaplanmış ve her numune için yeni bir zımpara kâğıdı kullanılmıştır. Üzeri zımpara kâğıdı kaplı aşındırıcı diskin çapı 60 mm’dir. Aşındırma işleminden sonra numunelerin ağırlıklarında meydana gelen değişimler, 0.0001 gr hassasiyetli terazi ile ölçülmüştür. Aşınma deneylerinde aşındırıcı zımpara kâğıdı kaplı disk ile numune yüzeyi arasındaki temas, 42 N sabit yük ile sağlanmıştır. Tüm aşınma deneylerinde diskin dönme hızı 150 d/dk seçilmiş ve aşınmayla oluşan ağırlık kayıpları 500, 1000, 1500, 2000, 2500 ve 3000 tur sonunda ölçülmüştür. Aşınma deneyleri aynı numunelerin farklı yüzeyleri üzerinde 3’er kez tekrarlanmış ve aritmetik ortalamaları alınarak değerlendirilmiştir.

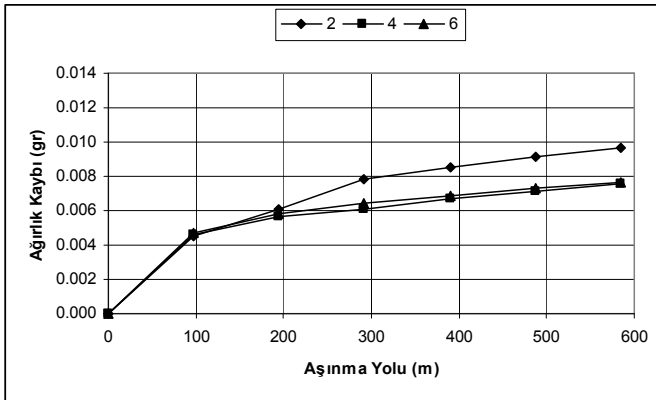


Şekil 7. Aşınma modeli şematik şekli.

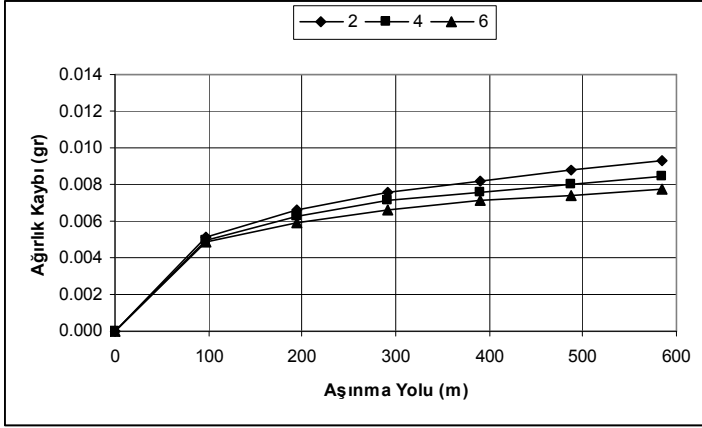
Şekil 8’de ısıt işlem görmemiş numunelerin SiC ve Al_2O_3 aşındırıcı karşısında ağırlık kayıpları verilmiştir. Şekil 9-12’de SiC aşındırıcı karşısında farklı işlem şartlarında borlanan malzemelerde oluşan aşınma grafikleri, Şekil 13 - 16’da ise Al_2O_3 aşındırıcı karşısında oluşan aşınma grafikleri verilmiştir.



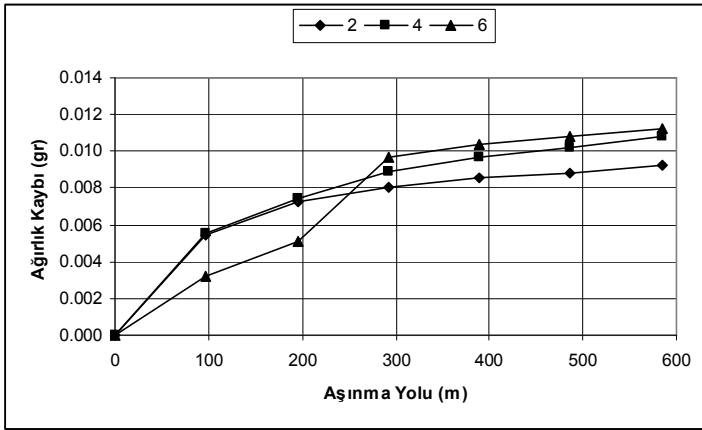
Şekil 8. Isıl işlemsiz numunelerin Al_2O_3 ve SiC aşındırıcı karşısında ağırlık kayıpları.



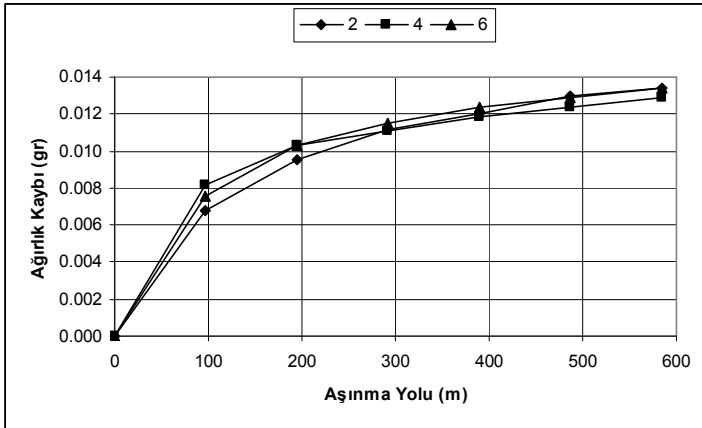
Şekil 9. 900 ° C’de 2, 4 ve 6 saat borlanmış numunelerin SiC aşındırıcı karşısında ağırlık kayıpları.



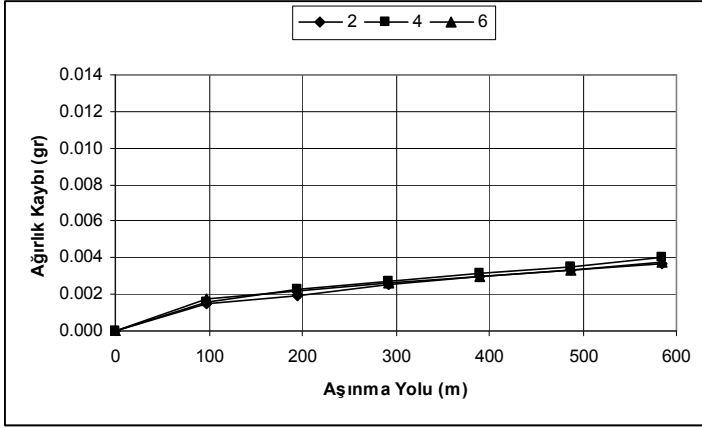
Şekil 10. 950 ° C’de 2, 4 ve 6 saat borlanmış numunelerin SiC aşındırıcı karşısında ağırlık kayıpları.



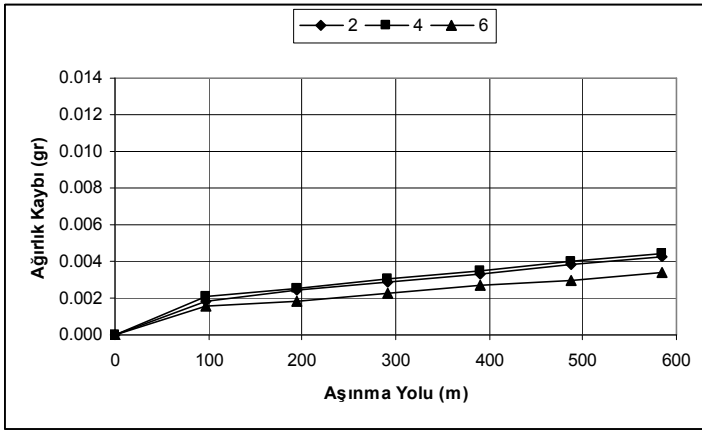
Şekil 11. 1000 ° C’de 2, 4 ve 6 saat borlanmış numunelerin SiC aşındırıcı karşısında ağırlık kayıpları.



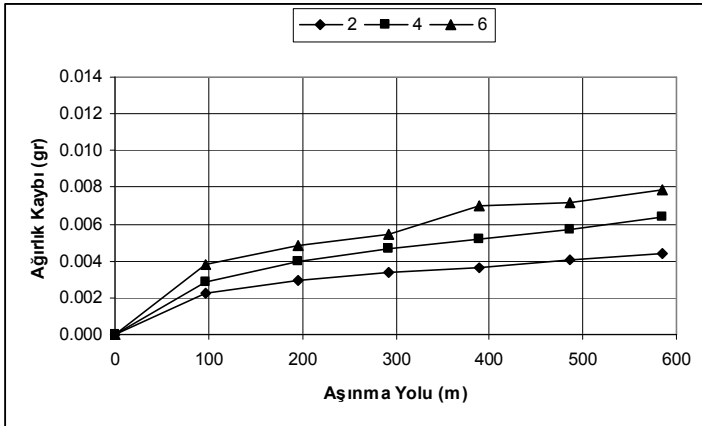
Şekil 12. 1050 ° C’de 2, 4 ve 6 saat borlanmış numunelerin SiC aşındırıcı karşısında ağırlık kayıpları.



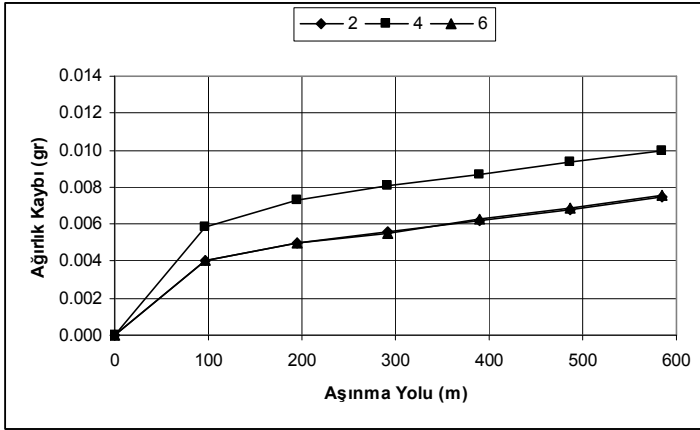
Şekil 13. 900 ° C'de 2, 4 ve 6 saat borlanmış numunelerin Al_2O_3 aşındırıcı karşısında ağırlık kayıpları.



Şekil 14. 950 ° C'de 2, 4 ve 6 saat borlanmış numunelerin Al_2O_3 aşındırıcı karşısında ağırlık kayıpları.



Şekil 15. 1000 ° C'de 2, 4 ve 6 saat borlanmış numunelerin Al_2O_3 aşındırıcı karşısında ağırlık kayıpları.



Şekil 16. 1050 ° C’de 2, 4 ve 6 saat borlanmış numunelerin Al_2O_3 aşındırıcı karşısında ağırlık kayıpları.

III. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, AISI 1030 çeliği; 900, 950, 1000 ve 1050 °C sıcaklıklarda 2, 4 ve 6 saat sürelerle borlama işlemine tabi tutulmuştur. Borlama işlemi, EKabor®2 ticari borlama toz karışımları kullanılarak katı ortamda yapılmıştır. Borlama işlemi sonrasında, borlama süresi ve sıcaklığının borür tabakası kalınlığı, sertlik ve abrazyon aşınma özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

1. Metalografik incelemeler sonunda malzemelerde oluşan borür tabakasının testere dişi şeklinde olduğu, borür tabakası, geçiş bölgesi ve matris yapının belirgin bir şekilde birbirinden ayrıldığı görülmüştür. Tüm koşullarda oluşan borür tabakası homojen ve büyük ölçüde gözeneksiz bir yapıdadır.
2. Yapılan deneyler sonunda tüm koşullarda oluşan borür tabakasının FeB+Fe₂B fazlarından oluştuğu optik mikroskopi çalışmalarında gözlemlenmiştir. FeB faz tabakası yüzeyde daha koyu renkte görülmektedir.
3. Borlama süre ve sıcaklığının artması neticesinde, elde edilen borür tabakasında gözenekliliğin göreceli olarak artması şeklinde yüzey kalitesinin azaldığı görülmüştür. Borür tabakasının bazı bölgelerinde yüzeye paralel doğrultuda, FeB ve Fe₂B fazları arayüzeyi boyunca çatlakların meydana geldiği gözlemlenmiştir (Şekil 2). Bu çatlakların sebebi borür tabakasındaki kalıntı gerilmeler ve fazlar arasındaki termal genleşme katsayıları farkıdır. FeB fazında

çekme, Fe_2B fazında ise basma gerilmesi şeklinde ortaya çıkan bu kalıntı gerilmeler sonucunda, borür tabakasında yüzeye paralel çatlaklar meydana gelmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda düşük sıcaklıklarda yüzeye paralel çatlak oluşumun olmadığı veya çok az olduğu, bununla birlikte yüksek sıcaklıklarda çatlak oluşumunun arttığı gözlenmiştir. Bu durumun süreye bağlı değişiminin belirgin olmadığı söylenebilir.

4. İşlem sıcaklığına ve borlama süresine bağlı olarak, kaplama tabakasının kalınlığı 80,6 μm ile 340,9 μm arasında değişmektedir. Borür tabakalarında 1227 HV ile 1625 HV aralığında sertlik değerleri ölçülmüştür. Borlama süre ve sıcaklığındaki artışa paralel olarak sertlik ve tabaka kalınlığı artmaktadır.
5. Borlanmış AISI 1030 çeliğinin Alüminyum Oksitli zımpara kâğıtları ile yapılan abrazif aşınma deney sonuçları incelendiğinde en az aşınmanın 950 °C 6 saat, en çok aşınmanın da 1050 °C 4 saat işlem uygulanmış numunelerde olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde Silisyum Karbürlü zımpara kâğıtları ile yapılan abrazif aşınma deney sonuçları incelendiğinde en az aşınmanın 900 °C 4 saat, en çok aşınmanın da 1050 °C 2 saat işlem uygulanmış numunelerde olduğu tespit edilmiştir.
6. Alüminyum Oksitli aşındırıcı karşısında en az aşınmanın bulunduğu 950 °C 6 saat borlanmış numunelerde, işlemsiz numunelere göre 24,5 kat az aşınmış olduğu görülmüştür. Silisyum Karbürlü aşındırıcı karşısında en az aşınmanın bulunduğu 900 °C 4 saat borlanmış numunelerde ise, işlemsiz numunelere göre 5,4 kat az aşınma gözlenmiştir. Literatür verilerine göre; SiC malzemenin sertliği 2800 HV, Al_2O_3 malzemenin sertliği 1175 HV'dir [13]. Dolayısıyla SiC karşısında borür tabakasının göreceli olarak daha düşük aşınma mukavemeti göstermiş olması doğal bir sonuçtur.

AISI 1030 çeliği çok çeşitli endüstriyel uygulamalarda imalatçılar tarafından tercih edilmektedir. Borlama ısıl işlemi de uygulandığı malzemenin yüzey özelliklerini oldukça üst seviyelere çıkarabilen güncel bir termokimyasal işlemdir. Yapılan deneyler, AISI 1030 çeliğinin başarıyla borlanarak yüzey özelliklerinin iyileştirilmesinin mümkün olduğunu göstermiştir.

Sonuç olarak, abrazif aşınma dayanımı istenen makine parçalarının imalatında borlanmış AISI 1030 çeliğinin iyi bir alternatif teşkil ettiği ve farklı aşındırıcılar karşısında da bu özelliklerini koruduğu neticesine varılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenen 200315015 numaralı proje kapsamında alınmış olan cihazlar kullanılarak yapılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Özbek, İ., “Borlama yöntemi ile (AISI M50, AISI M2) yüksek hız çeliklerinin ve AISI W1 çeliğinin yüzey performanslarının geliştirilmesi”, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 161 s., 1999.
- [2] Bejar, M.A., Moreno, E., “Abrasive wear resistance of boronized carbon and low alloy steels”, *Journal of Material Processing Technology*, 173 (2006) 352-358.
- [3] V. Jain, G. Sundararajan, Influence of the pack thickness of the boronizing mixture on the boronizing of steel, *Surf. Coat. Technol.* 149 (2002) 21–26.
- [4] Martini, C., Palombarini, G., Poli, G. and Prandstraller, D., “Sliding and abrasive wear behaviour of boride coatings”, *Wear* 256 (2004) 608–613.
- [5] Sert, H., Can, A., Arıkan, H., Selçuk, B. ve Toprak, H., “Wear behavior of different surface treated cam spindles”, *Wear* 260 (2006) 1013–1019
- [6] Kulka, M., Pertek, A., “Characterization of complex (B + C + N) diffusion layers formed on chromium and nickel-based low-carbon steel”, *Applied Surface Science* 218 (2003) 113–122
- [7] Bourithis, L., Papaefthymiou, S., and Papadimitriou, G.D., “Plasma transfer arc boriding of a low carbon steel: microstructure and wear properties”, *Applied Surface Science*, 200 (2002) 203-218.
- [8] Özsoy, A., “Çeliğin borlanması borür tabakası, geçiş zonu ve ana matriksin özelliklerinin iyileştirilmesi”, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Eskişehir, 1991.

- [9] Eyre, T.S., "Effect of boronising on friction and wear of ferrous metals", *Wear*, Vol.34, pp. 383-397, 1975.
- [10] Evtifeev, S.L., and Sin'kovskii, A.S., "Method of improving the heat resistance of parts working under conditions of discontinuous lubrication", *Metal Science and Heat Treatment (USSR)*, Vol. 27, No. 7-8, pp. 627-629, 1985.
- [11] Nair, F., Karamış, M.B., ve Taşdemirci, A., "Endüstriyel uygulamalarda borlanmış çeliklerin aşınma davranışlarının incelenmesi", 8. Denizli Malzeme Sempozyumu, 26-28 Nisan 2000, Denizli, Bildiri Kitabı, ss. 334-343.
- [12] Shadrichev, E.V. and Rumyantsev, S.I., "Wear kinetics of a two phase boride layer", *Metal Science and Heat Treatment (USSR)*, Vol. 24, No. 7-8, pp. 495-498, 1982.
- [13] <http://www accuratus.com/> 20/02/2007.

