



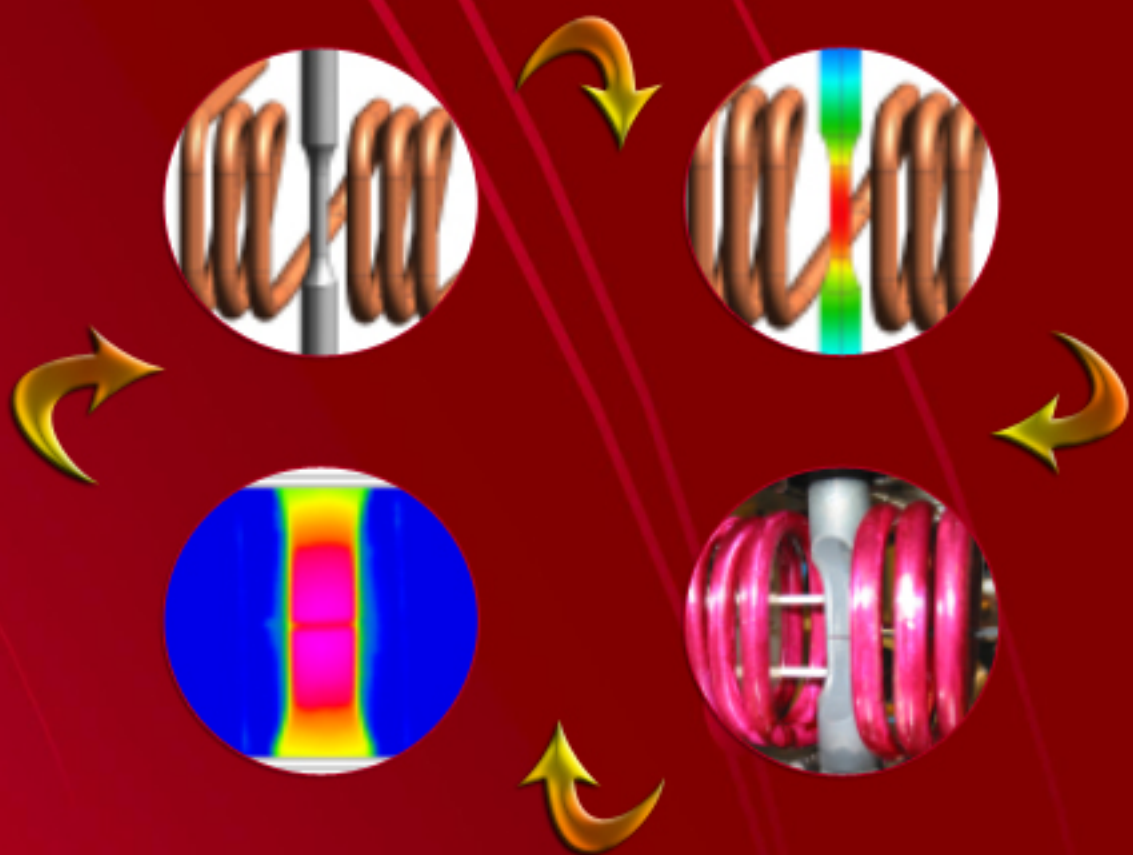
Pamukkale University



MATERIALS 2006

11th International Materials Symposium

19-21 April 2006 / Denizli - TÜRKİYE



Proceedings

Sıcak Presle Üretilen B ₄ C Takiyeli Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Aşınma Davranışının İncelenmesi <i>O. Meydanoglu, H. Mindivan, E. S. Kayali, H. Çimenoglu</i>	270
Sinterlenmiş D2 Takim Çeliklerine Katılan TiCN Miktarının Aşınma Davranışlarına Etkisi <i>H.Ö. Gülsoy, Y. Bozkurt, M. K. Bilici, S. Salman</i>	273
T/M Yöntemi İle Üretilmiş Al-SiCp Kompozitlerde Karıştırıcı Tipinin Aşınma Davranışına Etkisi <i>A. Köken, M. Aydın</i>	278
TRD Yöntemiyle Yatak Çelikleri Üzerine Oluşturulan TiCx Kaplamaların Yüksek Sıcaklıktaki Aşınma Davranışı <i>İ. Güneş, Y. Kayali, Ş. Ülker, Ş. Taktak, Y. Yalçın</i>	284
Zn-(20-80) Al-2Cu Alaşımının Kuru Sürtünme Durumundaki Aşınma Özellikleri <i>A. Bektaşoğlu, T. Savaşkan</i>	290
Eriyik Harmanlama İle Hazırlanmış Lineer Düşük Yoğunluklu Polietilen (LLDPE) / Org-Kil Nanokompozitleri <i>A. Durmuş, A. Kaşgöz, C.W. Macosko</i>	295
Nano Ölçekli Çok Katmanlı (Ti,Al)N/AlN Kaplamaların Oksidasyon Davranışının İncelenmesi <i>F. Üstel</i>	301
Nano-Elmas Katkılı Al-Matriks Kompozitlerinin Üretimi Ve Karakterizasyonu <i>H. Kaftelen, T. Boyraz, M.L. Öveçoğlu, O. Ademdir</i>	305
Characterization Of Thermal And Microstructural Properties Of The TeO ₂ -Nb ₂ O ₅ Glasses <i>H. Gökçe, M.L. Öveçoğlu, İ. Kabalci, G. Özen</i>	310
Fiber Optik Teknolojisinde Kullanılan Malzemeler Ve Bunların Karşılaştırmalı İncelemesi <i>A. Ükte, H. Şentürk, Ö. Karakılınç</i>	313
Demir Esaslı T/M Malzemelerde Isıl İşlemlerin Mekanik Özelliklere Etkisi <i>U. Çavdar, E. Atik, B. S. Ünlü</i>	319
Diş Protez Malzemelerinin Üretim Koşullarına Uygun Modellenmesi <i>M. Toparlı, N.S. Köksal, F. Şen</i>	323
Düşük Karbonlu Çelik Yüzeyine FeCr+Mo Tozunun PTA Yöntemi İle Alaşımlandırılması <i>S. Özel, İ. Somunkiran, B. Kurt</i>	329
Epdm (Etilen-Propilen Dien Monomer) Sentetik Kauçuğu <i>V. Vahapoğlu, H.T. Yüksel</i>	333
Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında İlave Metallerin Mekanik Özelliklere Etkisi <i>R. Yılmaz, M. Gökmen, A. Türkyılmazoğlu</i>	339
TIG Kaynağında Farklı Elektrot Tepe Açılarında Bağlı Olarak Kaynak Parametrelerindeki Değişikliğin Nüfuziyet Oranına Etkisinin Taguchi Metoduyla İncelenmesi <i>İ. Çalış, Y. Bozkurt, H. Sözüoğlu</i>	345
AISI 316L Paslanmaz Çeliğinin Plazma İle Nitrürasyon Davranışı <i>A. F. Yetim, M. Karakan, A. Alsaran, A. Çelik, İ. Efeoğlu</i>	349
AISI H13 Sıcak İş Takim Çeliğinin Nitrürleme Davranışı <i>F. Kahraman, Ö. Karadeniz, S. Karadeniz</i>	354
Al ₂ O ₃ Kaplı Numunelerde Kaplama Parametrelerinin Etkilerinin İncelenmesi <i>S. H. Yetgin, İ. Küçükrengenci, A. Köken</i>	359
Borlama İşlemi Yapılmış Otomotiv Geri Vites Dişlisinin Performansının Deneysel İncelenmesi <i>A. Çalik, R. Selbaş, E. Yılmaz</i>	363
Borlanmış 34CrAlNi7 Çeliğinin Yüzeyinde Oluşan Borürlerin Büyüme Kinetiği <i>G. Ç. Efe, M. İpek, İ. Özbek, C. Bindal</i>	370
Borlanmış AISI 4140 Çeliğinin Aşınma Davranışına Sıcaklığın Etkisi <i>Y. Kayali, İ. Güneş, Ş. Ülker, Ş. Taktak, Y. Yalçın</i>	377
AA2024 Matrisli B ₄ C Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Vorteks Yöntemiyle Üretimine Parçacık Boyutunun Etkisi <i>A. Çanakçı, F. Arslan</i>	382
Al/SiCp Metal Matrisli Kompozit Takozların Üretilmesi <i>F. Nair, M. B. Karamış, K. Yıldızlı</i>	390
Al ₂ O ₃ / SiCp –Al Metal Matrisli Kompozit Üretimi Ve Mekanik Davranışının İncelenmesi <i>N. Altinkök, A. Demir, İ. Özsert, F. Findik, U. Soy</i>	399
Alümina Partikül Takviyeli Tm Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Yoğunlaşma Ve Mekanik Özellikleri <i>F. Çalışkan, U. Soy, N. Altinkök, A. Demir</i>	402

COMMITTEES

Honorary President

Prof. Dr. Hasan Kazdağlı

Pamukkale University - Rector

International Scientific Committee

Prof.Dr. A. Halim Demirci
Prof.Dr. Ahmet Aran
Prof.Dr. Ahmet Baldan
Prof.Dr. Ahmet Çakır
Prof.Dr. Ahmet Çetin Can
Prof.Dr. Ahmet Topuz
Prof.Dr. Ali Ünal Erdem
Prof.Dr. Ali Ünüvar
Prof.Dr. Alper Gülsöz
Prof.Dr. Arkam Alfantazi
Prof.Dr. Atilla Aydınlı
Prof.Dr. Ayhan Çelik
Prof.Dr. Ayşegül Akdoğan
Prof.Dr. Barlas Eryürek
Prof.Dr. Barmak Katayun
Prof.Dr. Bedri Tuç
Prof.Dr. Bedri Yüksel
Prof.Dr. Bülent Doyum
Prof.Dr. Bülent Eker
Prof.Dr. Can Çoğun
Prof.Dr. Cuma Bindal
Prof.Dr. Dietrich Rehfeldt
Prof.Dr. E. Sabri Kayalı
Prof.Dr. Enver Oktay
Prof.Dr. Erdiñç Kaluç
Prof.Dr. Fazlı Arslan
Prof.Dr. Fehim Fındık
Prof.Dr. F. Akhlaghi
Prof.Dr. F. Wilhelm Bach
Prof.Dr. Fevzi Ercan
Prof.Dr. Galip Said
Prof.Dr. Gürel Çam
Prof.Dr. Halis Çelik
Prof.Dr. H. Oktay Bodur
Prof.Dr. Heybet Eldarov
Prof.Dr. Hikmet Rende
Prof.Dr. Joachim Hammer
Prof.Dr. John Campbell
Prof.Dr. Ian W. Hall
Prof.Dr. Levent Toppare
Prof.Dr. Lutz Dorn
Prof.Dr. Kazım Önel
Prof.Dr. M. Ali Topbaş
Prof.Dr. M. Baki Karamış
Prof.Dr. M. Lütfi Öveçoğlu
Prof.Dr. M. Mustafa Yıldırım
Prof.Dr. Mahmut A. Savaş
Prof.Dr. Mehmet Demirkol
Prof.Dr. Mehmet Durman
Prof.Dr. Mehmet Pakdemirli
Prof. Dr. Melih Bayramoğlu
Prof.Dr. Metin Akkök
Prof.Dr. Mustafa Koçak
Prof.Dr. Mustafa Kurt
Prof.Dr. Muzaffer Topcu
Prof.Dr. Naci Otmanbölük
Prof.Dr. Okan Addemir
Prof.Dr. Ö. Faruk Emrullahoğlu
Prof.Dr. R. Eslami Farsani

Uludağ Uni. - TR
İstanbul Teknik Uni. - TR
Mersin Uni. - TR
Dokuz Eylül Uni. - TR
Pamukkale Uni. - TR
Yıldız Teknik Uni. - TR
Gazi Uni. - TR
Selçuk Uni. - TR
Pamukkale Uni. - TR
Uni. of British Columbia -CND
Bilkent Üni.-TR
Atatürk Uni. -TR
Yıldız Teknik Uni. -TR
İstanbul Teknik Uni.-TR
Uni. of Carnegie Mellon-USA
Gazi Uni.-TR
Balıkesir Uni.-TR
Ortadoğu Teknik Uni.-TR
Trakya Uni.-TR
Gazi Uni.-TR
Sakarya Uni.-TR
Uni. of Hanover-D
İstanbul Teknik Uni.-TR
İstanbul Uni.-TR
Kocaeli Uni.-TR
Karadeniz Teknik Uni.-TR
Sakarya Uni.-TR
Uni. of Tehran-IR
Uni. of Hannover -D
Gazi Uni.-TR
Afyon Kocatepe Uni.-TR
Mustafa Kemal Uni.-TR
Fırat Uni.-TR
İstanbul Teknik Uni.-TR
İnönü Uni.-TR
Akdeniz Uni.-TR
FH Regensburg -D
Uni. of Birmingham-GB
Uni. of Delaware-USA
Ortadoğu Teknik Uni.-TR
Uni. of Berlin Technical-D
Dokuz Eylül Uni.-TR
Yıldız Teknik Uni.-TR
Erciyes Uni.-TR
İstanbul Teknik Uni.-TR
Fırat Uni.-TR
Boğaziçi Uni.-TR
İstanbul Teknik Uni.-TR
Sakarya Uni.-TR
Celal Bayar Uni.-TR
Çukurova Uni. -TR
Ortadoğu Teknik Uni.-TR
GKSS Research Center-D
Marmara Uni.-TR
Pamukkale Uni.-TR
Balıkesir Uni.-TR
İstanbul Teknik Uni.-TR
Afyon Kocatepe Uni.-TR
Uni. of Islamic Azad -IR

International Scientific Committee (continued)

Prof.Dr. R. Mahmudi	Uni. of Tehran-IR
Prof.Dr. Rafet Arıkan	Gazi Uni.-TR
Prof.Dr. Remzi Varol	Süleyman Demirel Uni.-TR
Prof.Dr. Rolf König	FH Regensburg-D
Prof.Dr. Sabri Altıntaş	Boğaziçi Uni.-TR
Prof.Dr. Sami Aksoy	Dokuz Eylül Uni.-TR
Prof.Dr. Sami Karadeniz	Karadeniz Teknik Uni.-TR
Prof.Dr. Selahattin Anık	İstanbul Teknik Uni.-TR
Prof.Dr. Serdar Salman	Marmara Uni.-TR
Prof.Dr. Süleyman Karadeniz	Dokuz Eylül Uni.-TR
Prof.Dr. Temel Savaşkan	Karadeniz Teknik Uni.-TR
Prof.Dr. Tefrik Aksoy	Dokuz Eylül Uni.-TR
Prof.Dr. Ümit Cöcen	Dokuz Eylül Uni.-TR
Prof.Dr. Veysel Kuzucu	Pamukkale Uni.-TR
Prof.Dr. Wulf Besslein	FH Regensburg-D

Organizing Committee

Prof.Dr. Muzaffer Topcu	Chairman - PAU -TR
Prof.Dr. Mehmet Yüksel	Honorary Chairman - TR
Asst.Prof.Dr. Cemal Meran	Co-Chairman - PAU - TR
Prof.Dr. Sebahattin Nas	Pamukkale Uni.-TR
Prof.Dr. Alper Gülsöz	Pamukkale Uni.-TR
Prof.Dr. Ahmet Çetin Can	Pamukkale Uni.-TR
Prof.Dr. Joachim Hammer	FH Regensburg -D
Prof.Dr. Mustafa Koçak	GKSS Research Center -D
Prof.Dr. R. Mahmudi	Uni. of Tehran -IR
Asst.Prof.Dr. O. E. Canyurt	Pamukkale Uni.-TR
Asst.Prof.Dr. A.R. Tarakçılar	Pamukkale Uni.-TR
Asst.Prof.Dr. T. Şekercioglu	Pamukkale Uni.-TR
Fatih YAŞA	MMO Denizli Şube -TR

Technical Committee

Arzum Uluköy	Pamukkale Uni.-TR
Emin Ergun	Pamukkale Uni.-TR
Engin Tan	Pamukkale Uni.-TR
Gürkan Altan	Pamukkale Uni.-TR
Ronny Mai	FH Regensburg -D

Symposium Secretary

Dr. Volkan KOVAN	Pamukkale Uni.-TR
------------------	-------------------

BORLANMIŞ AISI 4140 ÇELİĞİNİN AŞINMA DAVRANIŞINA SICAKLIĞIN ETKİSİ

THE EFFECT OF TEMPERATURE ON WEAR BEHAVIOUR OF BORIDED AISI 4140 STEEL

Y. Kayalı, İ. Güneş, Ş. Ülker, Ş. Taktak & Y. Yalçın

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, A.N.S. Kampüsü, 03200, Afyon

ÖZET: Bu çalışmada; 4140 çeliği ticari EKabor-II borlama tozu içerisinde 950 °C'de 5 saat süreyle borlanmıştır. XRD analizleri bor tabakasının tamamının Fe₂B fazından meydana geldiğini göstermiştir. Borür tabakası yaklaşık 80 µm kalınlığa ve ortalama 1780 HV_{0,1} sertliğe sahiptir. Aşınma deneyleri, üç farklı yük (5, 10 ve 20 N) altında oda sıcaklığı, 300 ve 600 °C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Borlanmış çeliğin hem oda sıcaklığındaki hem de yüksek sıcaklıklarda aşınma hızları borlanmamış çeliğe göre daha küçüktür. Aşınma izleri üzerinde taramalı elektron mikroskop (SEM) ile incelemeleri yüksek sıcaklıklardaki aşınma işlemlerinde yüzeyin oksitlendiğini ve aşınmanın bu oksit tabakalar üzerinde meydana geldiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: AISI 4140, borlama, Yüksek sıcaklık aşınması, Aşınma ve sürtünme.

ABSTRACT: In this study, 4140 steel was borided in a pack consisting of EKabor-II boriding powder at temperature of 950 °C for 5 h. XRD analysis showed that boride layer contained single Fe₂B layer. Thickness and hardness of boride layer were 80 µm and 1780, 1 HV, respectively. Wear tests were carried out applying three different loads (5, 10 and 20 N) at room temperature, 300 °C and 600 °C. The wear rates of borided steel were low at room temperature and high temperatures when compared with unborided steel. SEM examinations on wear track indicated that wear surface was oxidised during wear process at high temperatures and wear occurred on oxidized layers.

Keywords: AISI 4140, Boroniding, High temperature wear, Wear and Friction

1 GİRİŞ

Ülkemiz dünyada en fazla bor rezervine sahip ülkeler arasında başta gelmektedir. Bor bileşikleri üstün özelliklere sahip malzemeler olduklarından birçok araştırmacı bor ve bor bileşikleri üzerine çalışmalar yapmaktadır (Shepard 1998). Özellikle son yıllarda metalik malzemelerin termo-kimyasal yöntemlerle kaplanması ilgi odağı olmuştur. Borlama işlemi bu yöntemlerden biri olup diğer difüzyon esaslı yüzey işlemlerine kıyasla üstün özelliklere sahiptir (Bozkurt 1984)

Borlama termo-kimyasal bir difüzyon işlemi olup borun yüksek sıcaklıkta çeliğe yayımıdır. Borlama işlemi genellikle, 700–1000 °C sıcaklık aralığında 1-10 saat sürelerle çeşitli borlama ortamlarında gerçekleştirilmektedir. Borlama bütün çeliklere uygulanabildiği gibi demir dışı metal ve alaşımlarına da uygulanabilmektedir (Özbek 2000, Usta 2005). Borlamanın diğer yüzey sertleştirme işlemlerine üstünlüğü, yüzey tabakasının çok sert olmasının yanında yüksek aşınma, korozyon ve yüksek sıcaklıkta oksidasyon direncine sahip olmasıdır (Bindal 1991).

Borlama işleminin en önemli karakteristik özelliği elde edilen borür tabakasının çok yüksek sertlik (1400 – 3000 HV), aşınma direnci, ergime sıcaklığı

ve sürtünme katsayısına sahip olmasıdır (Sinha 1991). Borür tabakası sertliğini yüksek sıcaklıklarda da (550–600 °C) muhafaza edebilmektedir. Ayrıca demir esaslı malzemelerin oksitleyici içermeyen seyreltik asitlere karşı korozyon direncini ve bu malzemelerin erozyon dirençlerini artırmaktadır (Biddulph 1977, Bindal 1996).

AISI 4140 çeliği, inşaat ve ziraat makineleri, takım tezgâhları, uçak parçaları, akslar, krank kolları, krank milleri, dişliler, bandajlar, 12K şartlarına uygun civata, somun, saplama vb. parçaların imalinde kullanılmaktadır (Ulu 2004).

Borlanmış çeliklerin abrasif, adheziv özellikleri oda sıcaklığında, değişik yük ve hızlarda incelenmiştir (Habig 1981, Subrahmanyam 1984, Venkataraman 1995). Fakat borlanmış çeliklerin yüksek sıcaklıklardaki aşınma davranışları üzerine literatürde herhangi bir çalışmaya rastlanamamıştır. Bu amaçla çalışmada, AISI 4140 çelikliğinde oluşturulan borür tabakasının tribolojik özellikleri; oda sıcaklığı, 300 ve 600 °C'de incelenmiştir. Aşınma yüzeyleri optik ve taramalı elektron mikroskopu ile karakterize edilmiştir.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Borlama İşlemi

Çalışmada borlanacak altlık malzeme olarak, kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilen AISI 4140 çeliği kullanılmıştır. Numuneler Ø25x5 mm boyutlarında kesilerek metalografik olarak hazırlanmıştır.

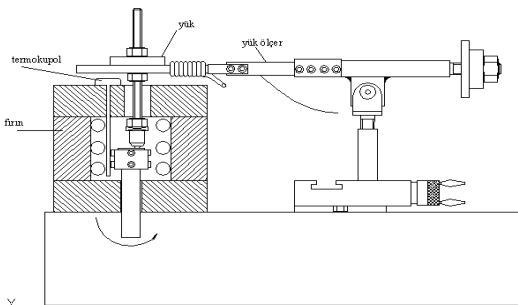
Tablo 1. Deneyde kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo
0.4	0.29	0.83	0.016	0.005	0.86	0.18

Borlama işlemi, paslanmaz çelik pota içerisinde ticari bor tozu (EKabor-II) içerisine gömülen numunelerin 950 °C’de 5 saat tutulmasıyla gerçekleştirilmiştir. Borlama işlemi sonrasında numuneler kutu içerisinde oda sıcaklığına kadar havada soğutulmuştur. Borlanan numunelerden kesilen parçaların kesiti metalografik olarak hazırlanmıştır. Yüzeyler sırasıyla 240, 320, 600 ve 1000 gritlik zımparalardan geçirilerek zımparalandıktan sonra 1 µm’luk alümina ile parlatılmıştır. Daha sonra, % 3’lük nitelle dağlanan numuneler optik mikroskop (Olympus BX-60), taramalı elektron mikroskobu (Leo 1430 VP) ve XRD analizinde (Shimadzu XRD-6000) yardımıyla karakterize edilmiştir. XRD analizinde CuK_α radyasyonu kullanılmıştır. Borür tabakalarının kalınlığı optik mikroskoba bağlı bir aparat yardımıyla ölçülmüştür. Borlanmış numunelerin sertlik değerleri mikrosertlik cihazında (Shimadzu HM-2) 100 gr. yük altında yüzeyden matrise doğru sıra sertlik alınarak gerçekleştirilmiştir.

2.2 Aşınma İşlemi

Borlanan AISI 4140 çeliği bilye-disk standart tip aşınma deney cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 1’de aşınma deney cihazının şematik resmi görülmektedir.



Şekil 1. Yüksek sıcaklık aşınma deney cihazının şematik resmi.

Aşınma deneyleri, aşındırıcı olarak 10 mm çapında Al₂O₃ bilye kullanılarak, 5 N, 10 N ve 20 N yük altında ve 0,3 m/s kayma hızında 60 dakikalık sürede gerçekleştirilmiştir. Borlanmamış numuneler aşınma deneyleri için 850 °C’de 1 saat östenitleme ve

200 C’de 1 saat temperleme ısıl işlemine tabii tutulmuştur. Deneyler üç ayrı ortam sıcaklığında yapılmıştır. Oda sıcaklığında yapılan deneyin dışındaki yüksek sıcaklıklarda (300 ve 600 °C) gerçekleştirilen deneylerde ortam sıcaklığı elektrik dirençli bir fırın ile sağlanmıştır. Sürtünme katsayısı aşınma kolu üzerindeki bir yük ölçer vasıtasıyla ölçülerek deney süresi boyunca kaydedilmiştir. Aşınma hızı, Perthometer M2 marka pürüzlülük cihazından elde edilen aşınma profili kullanılarak aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

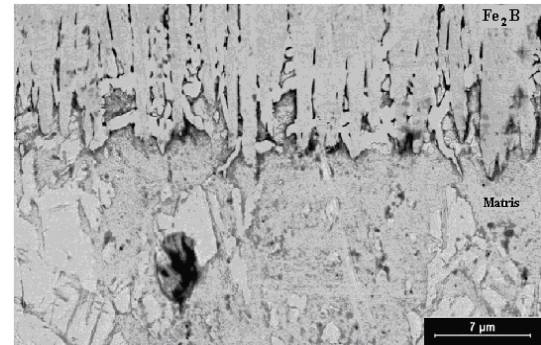
Her bir numune için izin profili çıkarılmış ve milimetrik kağıt üzerinden kesit alanları hesaplanmıştır. Kesit alanının aşınma izinin çevre uzunluğu ile çarpılması neticesinde aşınan hacim miktarı belirlenmiştir.

$$\text{Aşınma hızı} = \frac{\text{Aşınan hacim miktarı}}{\text{Uygulanan yük} \times \text{Kayma mesafesi}}, \text{ mm}^3/\text{Nm}$$

3 DENEYSEL BULGULAR

3.1 Mikroyapı ve tabaka sertliği

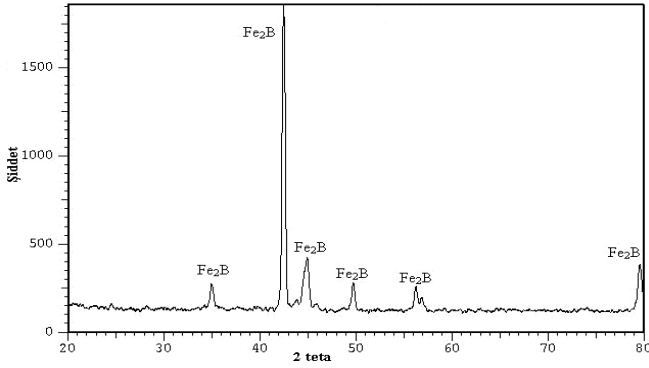
950 °C sıcaklıkta 5 saat süre ile borlanmış AISI 4140 çeliğinin taramalı elektron mikroskobu (SEM-BEI) ile elde edilmiş mikroyapısı Şekil 2’de görülmektedir. Yüzeyde oluşan borür tabakası incelendiğinde kaplama-matris ara yüzey morfolojisinin kolonsal bir yapı sergilediği, ara yüzey ve matrisin belirgin bir şekilde birbirinden ayrıldığı açıkça görülmektedir. Genelde düşük alaşımli ve nispeten düşük karbonlu çeliklerde üzerinde oluşan borürlerin kolonsal yapısı bir karakteristiktir (Sinha 1991). Çelik üzerindeki borür tabakasının kalınlığı yaklaşık olarak 80 µm kadardır.



Şekil 2. 950 °C’de 5 saat borlanmış AISI 4140 çeliğinin SEM (BEI) görüntüleri

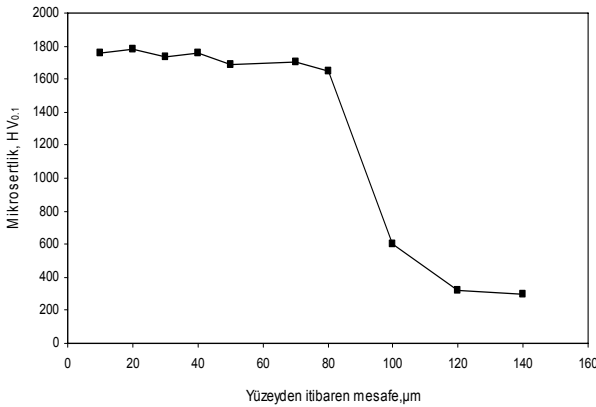
Şekil 3’de 950 °C’de 5 saat borlanmış AISI 4140 çeliğinin X-ışınları difraksiyon paterni görülmektedir. XRD paterni 4140 çeliğinin yüzeyinde oluşan borür tabakasının Fe₂B fazından meydana geldiğini göstermektedir. Çelikler üzerindeki iki fazlı borür tabakasının (FeB+Fe₂B) mekanik özellikleri düşürdüğü bilinen bir durumdur (Martini 2004).

Bu yüzden bu çalışmada oluşan tek fazlı tabaka arzu edilen bir durumdur.



Şekil 3. 950 °C'de 5 saat süreyle borlanmış AISI 4140 çeliğinin X-ışınları difraksiyon analiz paterni.

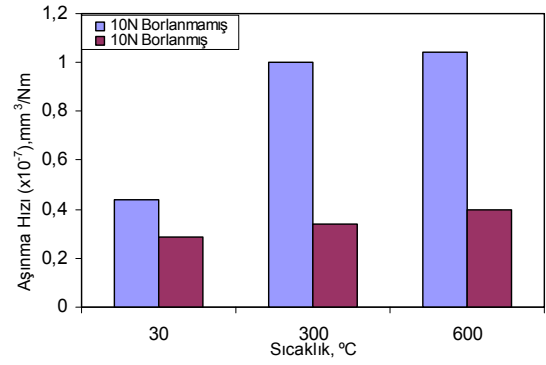
Şekil 4'de AISI 4140 çeliğinin yüzeyinden merkezine doğru sertlik dağılımı görülmektedir. Oluşan borür tabakasının yüzeyden itibaren sertlik dağılımlarında, borür tabakası boyunca yüksek sertlik değeri elde edilmekte ve matrise gelindiğinde ani düşüş görülmektedir. Borlanmamış çeliğin sertliği yaklaşık 350 HV_{0,1} iken, borlanmış AISI 4140 çeliğinin yüzey sertliği ortalama 1782 HV_{0,1} değerine ulaşmaktadır.



Şekil 4. 950 °C'de 5 saat süreyle borlanmış AISI 4140 çeliğinin yüzeyinden içeriye doğru mikrosertlik dağılımı

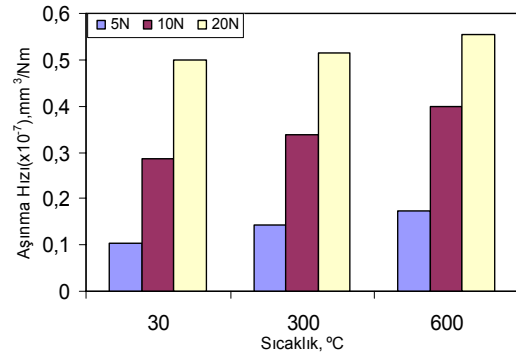
3.2 Aşınma özellikleri

Borlanmış ve borlanmamış AISI 4140 çeliğinin 10 N yük altındaki aşınma hızı ve sürtünme katsayısının sıcaklık ile değişimi Şekil 5'de görülmektedir. Bütün sıcaklıklarda borlanmış çeliğin aşınma hızı borlanmamışa göre daha düşüktür. Özellikle 300 ve 600 °C sıcaklıklarda bu fark daha barizdir. Bu da büyük ihtimalle borür tabakası ile çeliğin deformasyon davranışları arasındaki farktan kaynaklanmaktadır.



Şekil 5. Borlanmış ve borlanmamış AISI 4140 çeliğinin 10 N yük altındaki aşınma hızı-sıcaklık grafiği

Şekil 6'da borlanmış AISI 4140 çeliğin aşınma davranışına sıcaklık ve yükün etkisi incelenmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi sıcaklık ve yükün artmasıyla borür tabakasının aşınma hızı da artmaktadır. Yükün aşınma hızı üzerine etkisi bilinen bir gerçektir. Bu çalışma borür tabakasının aşınması üzerine yük kadar olmasa da sıcaklığında bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır.

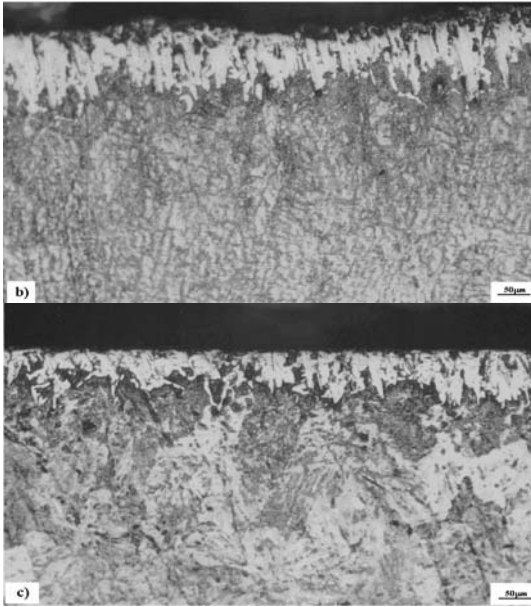


Şekil 6. Borlanmış AISI 4140 çeliğinin sıcaklığa bağlı olarak aşınma hızına uygulanan yükün etkisi.

Şekil 7'de borlanmış AISI 4140 çeliğinin 20N yük altında aşındırılması sırasında sıcaklığın artması ile borür tabakasının kalınlığının azaldığı göstermektedir.



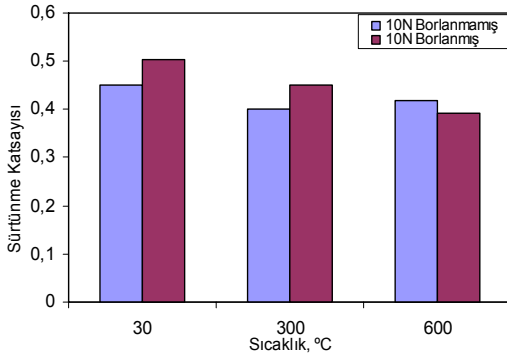
Şekil 7. a)



Şekil 7. a) 30 °C, b) 300 °C ve c) 600 °C'lerde 20N yük altında aşındırılmış Borlanan AISI 4140 çeliğinin optik resimleri.

Sürtünme katsayısının sıcaklıkla değişimi incelendiğinde sıcaklığın artmasıyla özellikle borlanmış çelik için sürtünme katsayısının hafifçe düşüş gösterdiği görülür (Şekil 8). Oda sıcaklığında borlanmış çeliğin sürtünme katsayısı borlanmamış çeliğe göre daha büyüktür. Borlamanın çeliklerin sürtünme katsayısını düşürmediği aksine artırdığı bilinen bir gerçektir (Habig 1981, Subrahmanyam 1984).

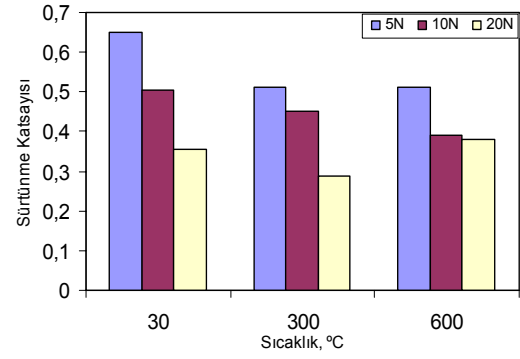
Sıcaklığın artmasıyla beraber özellikle 600 °C'de borlanmış çeliğin sürtünme katsayısında diğerine göre düşüş gözlenmiştir.



Şekil 8. Borlanmış ve borlanmamış AISI 4140 çeliğinin 10 N yük altındaki sürtünme katsayısı-sıcaklık grafiği.

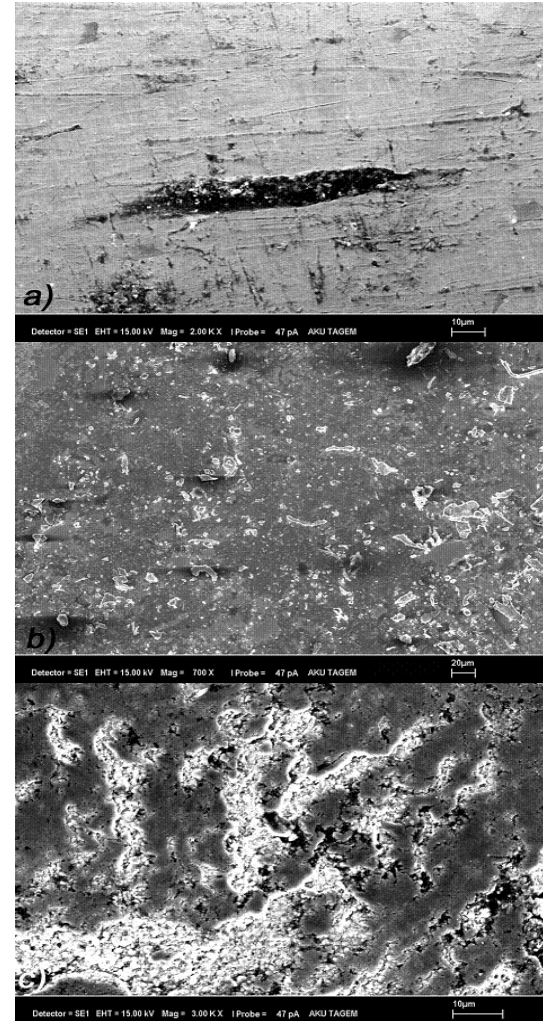
Şekil 9'de borür tabakasının sürtünme katsayısına sıcaklık ve yükün etkisi incelenmiştir. Şekilden görüldüğü gibi genelde yük ve sıcaklığın artması sürtünme katsayısını düşürmektedir. Yükün artmasıyla sürtünme katsayısının azalması, kayma esnasındaki sürtünme kuvvetinin yük artışı kadar olmayışından kaynaklanmaktadır. Ortamdaki sıcaklığın artması da borür tabakasının sürtünme katsayısı da hafifçe düşmektedir. Bu yüksek sıcaklıkta borür tabakasının oksitlenmesinden ve tabaka üzerinde küçük kesme mukavemetine sahip ince filmlerin oluşmasından kaynaklanmaktadır. Carbuicchio ve arka-

daşları Fe₂B'un 400 °C'de oksitlenmeye başladığını ve nihayetinde bor ve demir oksitlerin oluştuğunu iddia etmişlerdir (Carbuicchio 1989).



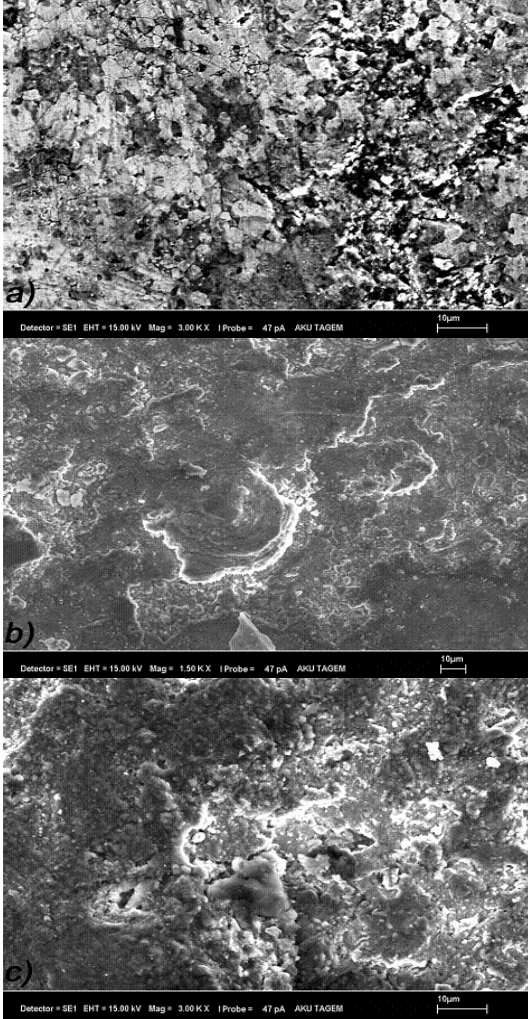
Şekil 9. Borlanmış AISI 4140 çeliğinin sıcaklığa bağlı olarak sürtünme katsayısına uygulanan yükün etkisi.

Şekil 10'da borlanmamış çeliğin oda sıcaklığı, 300 ve 600 °C'deki aşınma bölgelerinin yüzey morfolojisi görülmektedir. Oda sıcaklığında yüzeye yakın oyuklar ve delikler görülmektedir. Sıcaklığın artmasıyla (300 °C) aşınma yüzeyinde oluşan oksit tabakanın kırılması neticesinde oksit partiküller görülebilir. 600 °C'de yüzey daha fazla oksitlenmiş ve oksit tabaka üzerinde çatlaklar ve yarıklar görülmektedir.



Şekil 10. a) 30 °C, b) 300°C ve c) 600 °C’lerde 10 N yük altında aşındırılmış Borlanmamış AISI 4140 çeliğinin aşınma izlerinin değişimi.

Şekil 11’de borlanmış çeliğin oda sıcaklığı, 300 ve 600 °C’deki aşınma bölgelerinin yüzey morfolojisi görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi oda sıcaklığında aşınma yüzeyinde küçük çatlaklar vardır. 300 °C’de aşınma yüzeyinde plastik deformasyon ve sıcaklığın 600 °C’ye artmasıyla yüzeyde oluşan oksit tabakalarında çatlamlar ve kopmalar görülebilir.



Şekil 11. a) 30 °C, b) 300°C ve c) 600 °C’lerde 10 N yük altında aşındırılmış Borlanmış AISI 4140 çeliğinin aşınma izlerinin değişimi.

4 SONUÇLAR

950 °C’de 5 saat borlanan 4140 çeliğinin üç farklı yük ve üç ayrı sıcaklıkta yapılan aşınma deneyleri neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

– Borlanmış AISI 4140 çeliğinin yüzeyinde Fe₂B’den oluşan tek fazlı bir borür tabakası elde edilmiştir. Oluşan borür tabakası kolonsal bir yapıda olup, çeliğin her tarafında homojen olarak dağılım göstermektedir.

- Borlama sonucunda çelik yüzeyinde yüzey sertliği 1782 HV_{0,1} olan ortalama 80 µm kalınlığında bir borür tabakası oluşmuştur.
- Artan deney sıcaklığı ile borlanmamış çeliğin aşınma hızı önemli derecede artarken borlanmış çeliğin aşınma hızındaki artış son derece düşük kalmıştır.
- Borlanmış çeliğin aşınma hızı tüm sıcaklıklarda uygulanan yükün artmasıyla artmaktadır.
- Sıcaklığın sürtünme katsayısına çok önemli bir etkisinin olmadığı buna karşılık artan yük ile sürtünme katsayısının düştüğü görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Biddulph R.H., 1977, Boronizing for erosion resistance, Thin Solid Films, 45:341-347.
- [2] Bindal C., 1991, Ticari karbon çelikleri ve düşük alaşımlı çeliklerin yüzeyine borlamayla seramik kompozit kaplama ve bazı malzeme özelliklerine etkileri, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi.
- [3] Bindal, C.&Erdemir A., 1996, Appl. Phys. Lett., 86(7): 923– 925.
- [4] Bozkurt N., 1984, Bor yayınımlı ile çeliklerde yüzey sertleştirme, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi.
- [5] Carbucicchio M.&Reverberi R., 1989, On the early stages of oxidation of iron borides, Hyperfine Interactions 46: 473-479.
- [6] Martini C.&Palombarini G.&Poli G.&Prandstraller D., 2004, Sliding and abrasive wear behaviour of boride coatings, Wear 256:608–613
- [7] Özbek İ.&Akbulut H.&Zeytin S.&Bindal C., Üçışık A.H., 2000, The characterization of borided %99,5 purity nickel, Surface and Coatings Technology, 126:166-170.
- [8] Shepard L., 1998, Raw materials market valued at \$8 billion and climbing, Ceramic industry, 148: 40-47.
- [9] Sinha, A.K., 1991, Boriding, ASM Handbook, 4:437-447.
- [10] Ulu S., 2004, Karbonlu ve Düşük Alaşımlı Çeliklerin Temel Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi.
- [11] Usta M., 2005, The characterization of borided pure Nb, Surface and Coatings Technology, 194: 251-255.
- [12] Habig K.H.&Chatterjee-Fischer R., 1981, Wear behaviour of boride layers on alloyed steels, Tribol. Int. 14:209-221.
- [13] Subrahmanyam J.&Gopinath K., 1984, Wear studies on boronized mild steel, Wear 95:287-292.
- [14] Venkataraman B.&Sundararajan G., 1995, The high speed sliding wear behaviour of boronized medium carbon steel, Surf Coat Technol 73:177-184.