

## ÇOK KISA SURELİ BORLAMA İLE ZİNCİR İMALATINDA KULLANILAN KILAVUZLARIN AŞINMA DİRENCİNİN ARTTIRILMASI

Bilgen DURSUN<sup>1</sup>, Rasim İPEK<sup>2</sup>, Serdar KARAOĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Entitüsü, Kütahya.

<sup>2</sup>Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bornova/İZMİR, rasim.ipek@ege.edu.tr

Geliş Tarihi:01.03.2010 Kabul Tarihi:18.02.2011

### ÖZET

Bu çalışmada, çok kısa süreli borlama ile yüzeyi sertleştirilen AISI 1050 sade karbonlu çeliğinin yüzey sertliği ve gerçek çalışma şartları altında aşınma performansı incelenmiştir. Katı ortamda yapılan borlama işlemi 850 °C ve 950 °C sıcaklıklarda 10 dakika ve 30 dakika gibi çok kısa sürelerde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar malzemenin işlem görmemiş ve yağda sertleştirilmiş numunelerinin performansları ile kıyaslanmıştır. Bu çalışma sonunda, kısa süreli borlanmış AISI 1050 çeliğinin işlem görmemiş haline göre yüzey sertliği ve aşınma dirençlerinde önemli artışlar elde edilmiştir. Borlama süresi ve sıcaklığının artışı ile (950 °C de 30 dakika) yağda sertleştirilmiş olandan bile daha yüksek aşınma direncine ulaşılabildiği gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Borlama, aşınma, adheziv aşınma.*

## IMPROVING THE WEAR RESISTANCE OF GUIDE NEDDLES FOR JEWEL CHAIN MANUFACTURING BY USING SHORT BORONIZING

### ABSTRACT

In this study, wear performance and surface hardness of short boronized carbon steel, AISI 1050, was investigated under real working conditions. Boronizing was carried out at 850 °C and 950 °C for very short durations such as 10 minutes and 30 minutes using solid boriding technique. The results were compared with the performance of untreated and oil-quenched samples of the steel. At the end of the study it was obtained that the surface hardness and wear resistance of the boronized AISI 1050 steel samples were higher than that of untreated AISI 1050 steel samples. The boronizing process, even provided higher hardness and wear resistance than the oil-quenched samples.

**Key Words:** *Boronizing, wear, adhesive wear.*

### 1. GİRİŞ

Malzeme yüzeyinin kimyasal bileşiminde değişiklik meydana getirmek suretiyle aşınmaya karşı koruyucu bir tabaka oluşturarak malzemeye çeşitli aşınma mekanizmalarına karşı üstünlük kazandırılabilir. Borlama işlemi de bu amaçla kullanılan termokimyasal yüzey sertleştirme işlemlerindedir.

Borlu tabakanın özellikleri ve kalınlığı; malzeme, işlem sıcaklığı ve süresi gibi değişkenlere bağlıdır. Borlama ile çelik yüzeyinde oluşan tabaka sertliği 2500 HV'e kadar çıkabilmektedir. Ayrıca sementasyonda olduğu gibi hızlı soğutmaya gerek yoktur. Borlama işleminde, borun yüzeye yayınması sonucu parçanın yüzeyinde bileşik tabaka adı verilen borlu bölge, onun altında yayınma (difüzyon) bölgesi ve iç kısımda da işleminden etkilenmemiş olan çekirdek bölge yer alır. FeB ve Fe<sub>2</sub>B olmak üzere iki demir borür fazı oluşur. Bu iki fazın oluşturduğu bileşik tabaka, dişli gibi difüzyon tabakası ile kavrıştır. Bileşik tabaka Fe<sub>2</sub>B, veya FeB+Fe<sub>2</sub>B şeklinde oluşur [1-4].

Genellikle, FeB + Fe<sub>2</sub>B karışımından oluşan çift fazlı bir bileşik tabaka yerine, Fe<sub>2</sub>B'den oluşan tek fazlı bir bileşik tabaka tercih edilir. Ağırlıkça % 16.23 oranında bor içeren, borca zengin FeB fazı diğer demir bor fazlarından daha gevreklerdir. Ayrıca FeB ile ağırlıkça % 8.93 bor içeren Fe<sub>2</sub>B fazları çok farklı ısıl genleşme katsayılarına sahiptir. Bu uyumsuzluğun neticesinde, çok fazlı bileşik tabakalarda çatlak oluşumu ve kabuk gibi kalkma vb hasarlar oluşabilir [1,5,6].

Demir-bor denge diyagramı incelendiğinde, ağırlıkça % 3.8 bor oranında, ergime sıcaklığı 1149 °C olan ötektik faz oluştuğu görülür. Dolayısıyla borlanmış yüzeylerin sıcaklık dayanımı yüksektir [7]. Borlama ile demir esaslı alaşımların yüksek sıcaklık oksidasyon direnci 800 °C'ye kadar yükselmektedir [1,8].

Borlama işlemi; katı, sıvı, macun, gaz ve plazma ortamında bor sağlayıcılar ile gerçekleştirilebilir. Katı ortamda yapılan borlama diğerlerine göre basitlik ve düşük maliyet gibi avantajlara sahiptir [9]. Bu teknikte bor sağlayıcı madde ısıl direnci yüksek bir kutu içine yerleştirilip, yüzeyi sertleştirilecek numuneler toz içine gömülür. Gaz ve plazma borlama işlemleri çok daha temiz olmasına rağmen gaz formundaki bor sağlayıcıların zehirli karakteri bu tekniklerin endüstriyel kullanımını sınırlamakta olup, zararsız bor verici ortamların geliştirilmesinde çeşitli ilerlemeler mevcuttur [10].

Çelik, dökme demir, nikel alaşımları, titanyum alaşımları ve sinterlenmiş karbürlerin borlanması, birçok araştırmacı tarafından çalışılmaktadır. Araştırmalar sonucunda borlanmış malzeme yüzeyinin çok yüksek sertliğe, yüksek bir aşınma direncine ve yüksek korozyon direncine sahip olduğu belirlenmiştir. Dezavantajı ise borlanmış tabakanın kırılabilirliği [1,5,11-13].

Borlama ile; sertliği çok yüksek olan, sementasyon ve nitrürasyona göre daha yüksek aşınma direncine sahip tabakalar elde edilir [14,15]. Özellikle borlanmış çelikler çeşitli aşınma mekanizmalarına karşı mükemmel direnç gösterirler [1,6,16,17].

Günümüzde borlama yüzey sertleştirme amacıyla, aşınma direnci gerektiren makine parçalarında kullanılmaktadır. Çelik malzemelerin borlanması genellikle 850-1000 °C sıcaklık aralığında 2-10 saat sürede gerçekleştirilmektedir [1,11,13,14,18,19].

Bu çalışmada kullanılan AISI 1050 malzemesi üzerine yapılmış olan çeşitli borlama çalışmaları mevcuttur. Soydan ve arkadaşları [20] bu malzeme üzerinde 2 saat borlama sonunda 100 µm, 8 saatlik işlem sonunda ise 200 µm kalınlığında borür tabakaları, 1700 HV civarında sertlik değerleri elde etmişlerdir. AISI 1050 çeliğine 900 °C' de 200 dakika süreyle normal ve ısıl çevrimli borlama uygulanan bir çalışmada [21] elde edilen borür tabakasının sertliği 2500 HV, kalınlığı 100-110 µm olarak rapor edilmiştir. Aynı çalışmada ölçülen geçiş bölgesi sertliği ve kalınlığı ise sırası ile 320 HV ve 500-550 µm dir. Bor verici olarak susuz boraksın kullanıldığı bir çalışmada [22] AISI 1050 malzemede 950 °C'de 3 saat süren borlama sonrası 60 µm kalınlığında olduğu gözlenen borür tabakası yaklaşık 1300 HV sertliğe ulaşabilmiştir.

Çok küçük boyutlu veya ince cidarlı olan makine parçalarında tipik borlama sıcaklık ve süreleri uygulandığında ortaya çıkan sertleşmiş tabaka kalınlığı malzemenin boyutlarına oranla çok yüksek kalmaktadır. Bir başka deyişle; aşırı sert ve gevrek olan borür tabakasının makine elemanının toplam kesitine oranı arttıkça, parçanın tokluğu düşmektedir. Çok ince cidarlı parçaların yüzey sertliğini arttırmak için, işlem değişkenlerinin bilinen aralıklarının altında seçilmesi gerekmektedir.

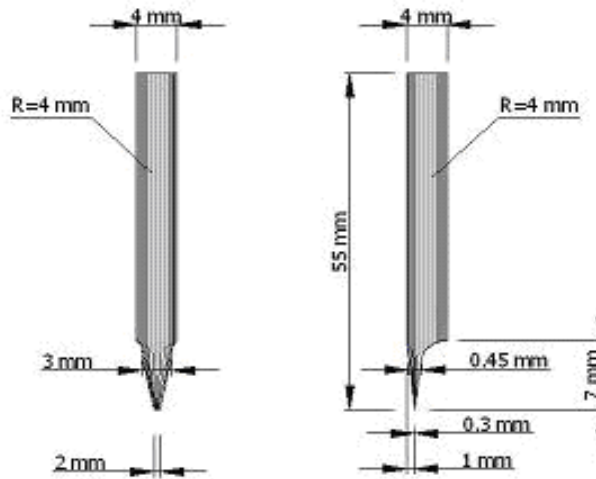
Bu çalışmada, takı zinciri üretiminde kullanılan "Tilkikuyruğu makinesi" nin en çok aşınan elemanı olan "kılavuz" un yüzey sertliğinin ve aşınma direncinin arttırılması hedeflenmiştir. AISI 1050 çeliğinden imal edilen bu makine elemanı mevcut koşullarda yağda sertleştirilerek kullanılmaktadır. Aşınmaya maruz kalan uç kısmı çok ince olan bu parçanın, borlama ile yüzey sertleştirme işlemi, 10 ve 30 dakika gibi çok kısa sürelerde uygulanmıştır. Kılavuz elemanının yüzey sertliği ve adhesiv aşınma davranışı, işlem görmemiş ve yağda sertleştirilmiş durumlarına göre karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, takı zinciri üretiminde kullanılan makinenin en çok aşınan elemanı olan AISI 1050 çeliğinden mamul “kılavuz” un yüzey sertliği ve aşınma direncinin artırılması hedeflenmiştir. Bu makine elemanı mevcut koşullarda yağda sertleştirilerek kullanılmaktadır.

### 2.1. Numunelerin Hazırlanması

Zincir makinesinde kullanılan kılavuzun şekil ve boyutlarına uygun olarak her bir şart için 3'er tane deney numunesi hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler Şekil 1'de gösterilmiştir. Mikro yapı incelemesi için bu numunelere ek olarak aynı şartlarda 10 mm çapında ve 10 mm yüksekliğinde numuneler de hazırlanmıştır.



Şekil 1. Zincir makinesinde kullanılan kılavuz ( orta iğne )

Borlama işleminden önce numunelerin yüzeyleri 300, 800 ve 1200 numaralı SiC'li zımpara ile zımparalanmış ve sonra alkolle temizlenip kurulanmıştır.

### 2.2. Borlama

Borlama işlemi; katı ortamda % 50 Ekabor, aktivatör olarak % 9 sodyum karbonat ve redükleyici olarak % 41 silisyum karbür kullanılarak, ısıl dirençli çelik kutular içerisinde 850 °C ve 950 °C sıcaklıklarda, 10 ve 30 dakikalık sürelerde gerçekleştirilmiştir. İşlem sıcaklığında işlem süresi boyunca bekletilen kutu fırından çıkarılarak havada soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan numuneler temizlenerek incelemeye hazır hale getirilmiştir. Kıyaslama amacıyla yapılan yağda sertleştirme işlemi ise 845 °C'de 10 dakika tutulan numunelerin 50 °C sıcaklıktaki yağda daldırılmasıyla gerçekleştirilmiştir.

### 2.3. Numune Hazırlama ve Mikrosertlik Ölçümü

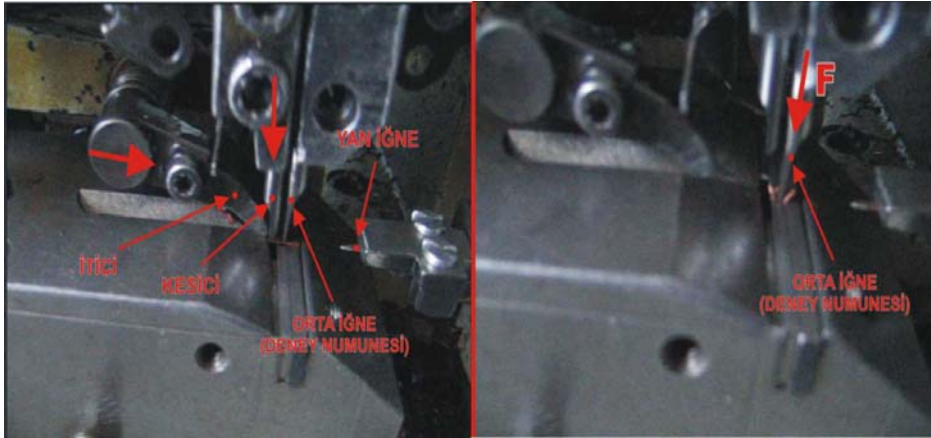
Numuneler borlama işleminden sonra, uygun kesme diski kullanılarak düşük kesme hızında kesilmiş ve soğuk kalıplama yöntemi ile kalıplanmıştır. Metalografik muayeneye uygun olarak 300, 600, 800 ve 1200 numaralı SiC'li zımpara kâğıtlarıyla zımparalanmış ve alümina kullanılarak keçe ile nihai parlatma işlemi yapılmıştır.

Dağlama işlemi; parlatma işleminden sonra % 2'lik nital (% 2 Nitrik asit ve % 98 Etil alkolden oluşan karışım) ile yapılmıştır. Dağlama işleminden sonra, taramalı elektron mikroskopunda (SEM) görüntüleme amacıyla incelenecek yüzeylere altın kaplama yapılmıştır.

Sertlik ölçümleri, mikro Vickers sertlik ölçme cihazı ile 80 g yük kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

## 2.4. Aşınma Deneyi

Gerçek çalışma şartlarında gerçekleştirilen aşınma deneylerinde zincir makinesi kullanılmıştır (Şekil 2). Aşınma deneyleri normal oda sıcaklığına ve nem miktarına sahip ortamda yapılmıştır. Aşındırıcı karşıt cisim olarak 0,65 mm et kalınlığına sahip tavlı bakır tel kullanılmıştır.



Şekil 2. Tilki kuyruğu zincir makinesi

Aşınma deney düzeneğinde itici tarafından ok yönünde itilen bakır tel kesici ile kesilmektedir. Zincir oluşumu için orta iğne (deney numunesi) 113 N'luk kuvvet ile kesilen teli şekillendirmektedir. Bu nedenle orta iğne zamanla aşınmaya uğramaktadır.

Aşındırma işlemiyle numunelerin ağırlıklarında ortaya çıkan değişimler  $10^{-4}$  gr duyarlılıkta ölçüm yapabilen bir hassas terazi ile tespit edilmiştir.

## 3. DENEYSEL SONUÇLAR

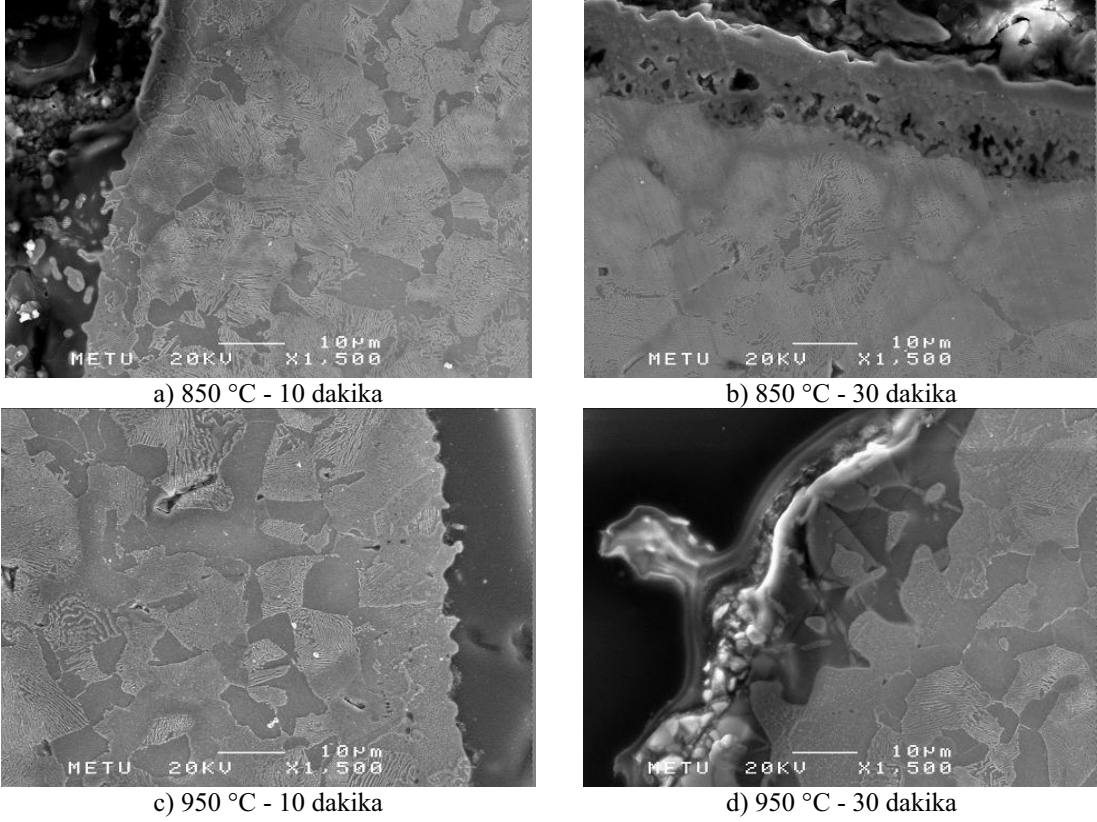
### 3.1. Mikro Yapı ve Aşınma

Şekil 3 ve Şekil 4' de borlanmış ve yağda sertleştirilmiş numunelerin SEM görüntüleri verilmiştir. Görüldüğü gibi borlama işleminden etkilenen toplam tabaka kalınlığı 5-45  $\mu\text{m}$  arasında olup, borlama tabakası kalınlığı, işlem süresinin çok kısa olması yüzünden, klasik borlama işlemlerine göre daha düşüktür. Borlama tabakası kalınlığı, borlama sıcaklığı ve süresi ile orantılı olarak artmaktadır. SEM resimlerine göre; 850 °C sıcaklık ve 10 dakika borlama sürelerinde 5  $\mu\text{m}$  den daha ince olan tabaka kalınlığının, 950 °C ve 10 dakika için 10  $\mu\text{m}$  ye yükseldiği görülmektedir. 30 dakikalık sürelerde ise, borür tabakasının daha kalın olduğu açıkça görülmektedir. 850 °C ve 30 dakika için 12  $\mu\text{m}$  civarında olan tabaka kalınlığı, 950 °C ve 30 dakika için 30  $\mu\text{m}$  civarındadır. Sertlik taramalarından elde edilen etkili tabaka kalınlıklarının, mikroyapı görüntülerinden ölçülen tabaka kalınlıklarından biraz daha fazla olduğu görülmüştür.

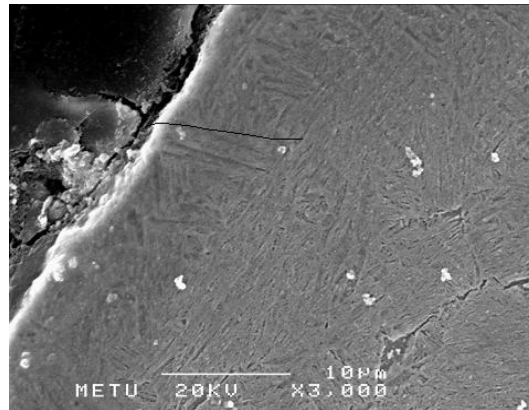
Gerçek çalışma koşullarında yapılan, kütle kaybına dayalı aşınma deneylerinden elde edilen sonuçlar, borlanmış tabaka kalınlıkları ve etkili tabaka kalınlıkları ile birlikte Şekil 5'te verilmiştir. En büyük aşınma işlem görmemiş numunede oluşmuştur. En düşük sıcaklıkta (850 °C), en kısa süre (10 dakika) borlanan numunelerde bile işlem görmemiş olan malzemeye göre önemli bir performans artışı gözlenmiştir. 950 °C'de borlanan numunelerin, yağda sertleştirilmiş olan malzemeden daha yüksek bir aşınma direncine sahip oldukları görülmektedir.

Numunelerin aynı işletme koşullarında 7,5 saat çalıştıktan sonraki yüzey görüntüleri Şekil 6'da verilmiştir. Bu görüntülerden açıkça anlaşıldığı gibi, bor tabakası kalınlığı arttıkça, yüzeydeki aşınma izlerinin derinliği ve

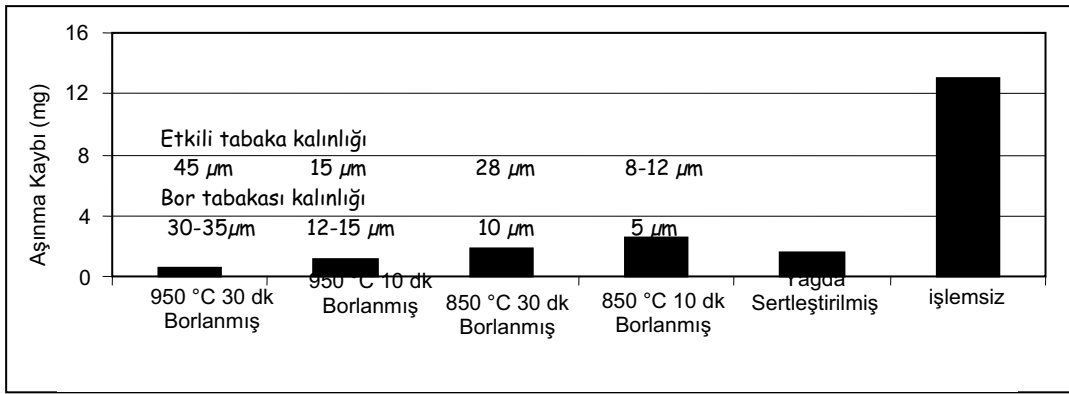
yoğunluğu azalmaktadır. Yağda sertleştirilmiş olan numunenin yüzeyinde oluşan oyulmanın (erozyon ve pitting) borlanmış numunelere göre çok daha yoğun ve şiddetli olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Çeşitli borlama sıcaklık ve süreleri için SEM görüntüleri

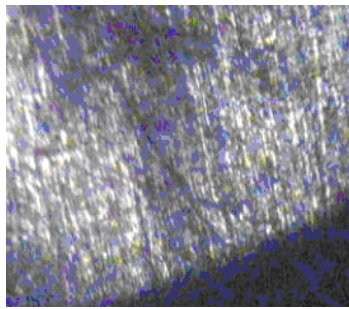


Şekil 4. 845°C' de yağda sertleştirme yapılmış numunenin mikro yapısı

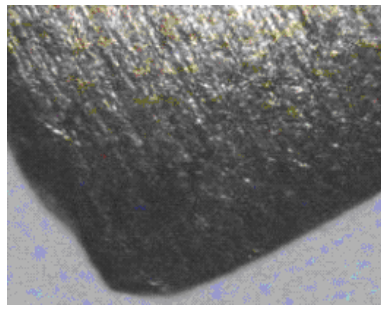


Şekil 5. 7,5 saat çalışma sonucunda, numunelerin aşınma kayıpları (mg)

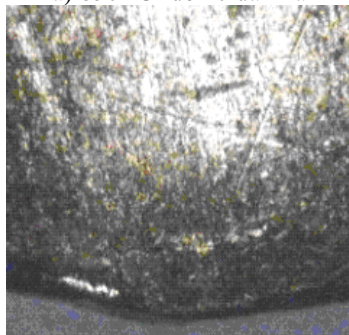
Yüzey hasarı ve aşınma izlerinin incelenmesi, numunelerin aşınma davranışları hakkında önemli ip uçları vermektedir. 850 °C’de 10 ve 30 dakika borlanmış yüzeylerde sürekli abrasif aşınma izleri görülürken, 950 °C’de 10 ve 30 dakika borlanmış olanların yüzeylerinde kesintili ya da daha kısa abrasif aşınma izleri görülmektedir (Şekil 6).



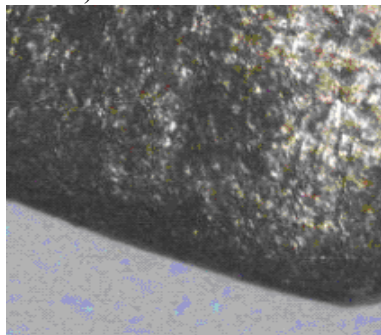
a) 850 °C’ de 10 dakika



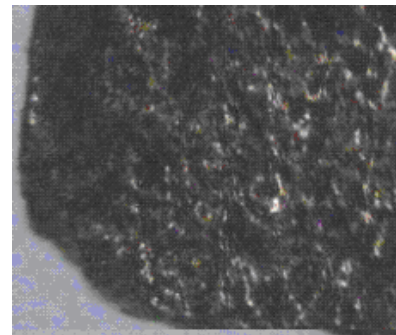
b) 850 °C’ de 30 dakika



c) 950 °C’ de 10 dakika



d) 950 °C’ de 30 dakika



e) Yağda sertleştirme (850 °C)

Şekil 6. Numunelerin gerçek işletme koşullarında 7,5 saat çalıştıktan sonraki yüzey görüntüleri

### 3.2. Sertlik ölçümleri

Borlanmış numunelerin yüzeyden itibaren sertlik değişimleri ile yağda sertleştirilmiş ve işlem görmemiş numunelerin sertlikleri Tablo 1’de görülmektedir.

Tablo 1. 950 °C’de borlanmış AISI 1050 çeliğinin Borlama süresine bağlı olarak yüzeyden itibaren sertlik değerleri

Yüzeyden itibaren mesafe ( $\mu\text{m}$ )	Sertlik ( HV <sub>0.08</sub> )	
	Borlama süresi ( dakika )	
	10	30
10	1210	1520
20	1040	1380
30	810	1130
40	560	870

Numune	Sertlik (HV)
Yağda sert. AISI 1050	620-650
AISI 1050	327-333

#### 4. TARTIŞMA

Bu çalışmada, çok kısa süreli borlama işlemleriyle malzeme sertliği ve buna bağlı olarak aşınma dayanımında önemli artışlar elde edilmiştir.

Borlanmış numunelerin bor tabakasının kalınlığı ve sertlik değerleri, beklendiği gibi, borlama sıcaklığı ve süresi ile orantılı olarak artmıştır. En yüksek yüzey sertliği (1520 HV) ve en kalın bor tabakası (30-35  $\mu\text{m}$ ), en yüksek sıcaklık seviyesinde (950 °C) en uzun süre (30 dakika) borlanan numunede tespit edilmiştir. İşlem süresinin çok kısa oluşu sebebiyle; ulaşılan sertlik seviyesi ve elde edilen tabaka kalınlığı literatürdeki benzer çalışmalara göre [20, 21] düşük kalmıştır.

Aşınma dayanımları da elde edilen sertlik ve tabaka kalınlıkları ile uyumludur. En yüksek aşınma dayanımına sahip numune 950 °C’de 30 dakika süreyle borlama yapılan numunedir. Bunu sırası ile 950 °C’de 10 dakika borlanan, yağda sertleştirilen, 850 °C’de 30 dakika borlanan ve 850 °C’de 10 dakika süreyle borlanan numuneler takip etmektedir. İşlem görmemiş olanın aşınma direnci ise sertleştirilmiş numunelere göre bir hayli düşük bulunmuştur.

Özellikle 850 °C’de 10 dakika borlamada bor tabakası net olarak seçilmese de, gerek yüzey sertliği gerekse aşınma yüzey analizleri borun varlığını işaret etmektedir.

Yağda sertleştirilmiş numunelerdeki aşınma, oyulmalar şeklinde olurken, borlanmış yüzeylerde abrasiv aşınma görülmektedir. Bor tabakanın kalınlığı ve yüzey sertliğine bağlı olarak abrasif aşınma izleri değişmektedir. Tabaka kalınlığı ve sertliği arttıkça aşınma çizgilerinin daha dar ve süreksiz olduğu gözlenmektedir. 10 dakika süreyle borlanan numunenin aşınma yüzeylerinde, abrasif aşınma izleri arasında az da olsa beyaz görünümlü adhesif aşınma belirtilerine rastlanmıştır.

Kütlesel kayıplar dikkate alındığında, yağda sertleştirilen numunede, 850 °C’ de borlanana göre daha az kütle kaybı gözlenmesine rağmen, aşınmış yüzey ve kesici uç dikkatle incelendiğinde; yağda sertleştirilenin diğerlerine göre ciddi hasar gördüğü ve iş göremez hale geldiği açıkça görülmektedir. Yağda sertleştirilenin kütlesel kaybının az görülmesinin nedeni ise, karşı malzeme yüzeyinden metal transferi olmasıdır. Yüzeydeki aşınma yararı izleri bunu işaret etmektedir.

#### 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- 1- AISI 1050 çeliğinin 10 ve 30 dakika gibi kısa sürelerde borlanmasıyla bile yüksek sertlik ve aşınma direnci elde edilmiştir. Borlama sıcaklığı ve süresinin artışı ile, hem yüzey sertliği hem bor tabakası kalınlığı artmakta, buna bağlı olarak aşınma direnci de artmaktadır.

- 2- Yağda sertleştirme yapılan numunelerin yüzeyindeki aşınma, derin aşınma oyukları ve karşı metal transferi şeklinde gelişmiştir.
- 3- Borlanmış numunelerde ise, yüzey sertliğine bağlı olarak, hafif veya orta şiddette abrasiv aşınma ile beraber düşük yüzey sertliğinde hafif adhesiv aşınma gözlenmiştir.

Netice olarak, bu çalışma; borlamanın çok küçük kesitlere çok kısa sürelerde bile uygulanabileceğini ortaya koymuştur.

## KAYNAKLAR

- [1]. B. Dursun, “Zincir imalatında kullanılan kılavuzların yüzeylerinin borla sertleştirilerek aşınma direncinin deneysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisan Tezi *DPÜ Fen Bilimleri Ens.* (2006).
- [2]. A. Taşçı., “Borlanmış çeliklerin Aşınma ve Korozyon Dayanımları”, Y.Lisans. Tezi- *İTÜ İstanbul*(1993).
- [3]. C. Meriç, S. Şahin ve S.S. Yılmaz, “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).
- [4]. H.J. Hunger and G. Trute, “Boronizing to produce wear resistant surface layers”, *Heat Treat. Met.* 2 31–39 (1994).
- [5]. V. Jain and G. Sundararajan, “Influence of the pack thickness of the boronizing mixture on the boriding of steel”, *Surface & Coatings Technology* Volume: 149 Issue: 1 Pages: 21-26, (2002).
- [6]. A.K.Sinha, “Boriding of Steels”, *ASM Handbook*, Vol. 4, ASM International, Materials Park, OH 437–447 (1991).
- [7]. E. Atik, “Farklı bir yüzey sertleştirme yöntemi: Borlama”, *Makina Metal Dergisi*, sayı:1 (2001).
- [8]. R.S.Petrova, N.Suwattanant and V.Samardzic, “The Effect of Boronizing on Metallic Alloys for Automotive Applications”, *JMEPEG* 17:340–345 (2008).
- [9]. M. Keddad and S.M. Chentouf, “A diffusion model for describing the bilayer growth (FeB/Fe<sub>2</sub>B) during the iron powder-pack boriding”, *Applied Surface Science* Volume: 252 Issue: 2 Pages: 393-399 (2005).
- [10]. W. Grafen and B. Edenhofer, “New developments in thermo-chemical diffusion processes”, *Surface & Coatings Technology* 200, 1830–1836 (2005).
- [11]. P.X. Yan, et al., “High Temperature Behavior of the Boride Layer of 45 Carbon Steel.”, *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 71 107-110 (2001).
- [12]. F. Nair, M.B. Karamış ve A. Taşdemirci, “Endüstriyel uygulamalarda Borlanmış Çeliklerin Aşınma Davranışının İncelenmesi.” 8. Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli (2000).
- [13]. M.B. Karamış and R. İpek, “An evaluation of possibilities of the carbonitride simple steels instead of carburized low alloy steels”, *Appl. Surf. Sci.* 119 25–33 (1997).
- [14]. H.J. Hunger and G. Trute, “Boronizing to Produce Wear-Resistant Surface Layers”, *Heat Treat. Met.*, 2, 31–39; (1994).
- [15]. C. Martini, G. Palombarini, G. Poli and D. Prandstraller, “Sliding and Abrasive Wear Behaviour of Boride Coatings”, *Wear*, 256(6), 608–613 (2004).
- [16]. S. Miyake, S. Vatanabe and M. Murakawa, “Tribological study of cubic boron nitride film”, *Thin Solid Films* 212 262–266 (1992).
- [17]. K.H. Habig and R.C. Fisher, “Wear Behaviour of Boride Layers on Alloyed Steels”, *Tribol. Int.*, 14(4), p 209 (1981).
- [18]. R. İpek, B. Selçuk, M.B. Karamış, V. Kuzucu and A. Yücel, “An evaluation of using possibilities of borided GG25 cast iron instead of chilled GG25 cast iron”, *J. Mater. Process. Technol.* 105 73–79 (2000).
- [19]. S. Baştürk ve M. Erten, “Borlama ile Yüzey Sertleştirme Çalışmaları”, *Mühendis ve Makina Cilt 47, Sayı 563, 57-74* (2006).
- [20]. Y. Soydan, S. Köksal, A. Demirer and V. Çelik, “Sliding Friction and Wear Behavior of Pack-Boronized AISI 1050, 4140, and 8620 Steels”, *Tribology Transactions*, 51: 74-81 (2008).
- [21]. A. Çalık ve A. Özsoy, “Isıl Çevrimli Borlama İşleminin SAE 1030 ve SAE1050 Çeliklerine Etkileri II”. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir Türkiye sf 213-218 (2004).
- [22]. K. Delikanlı, A. Çalık ve H.A. Uzun, “Sade karbonlu bir çeliğin Borlama özelliklerinin İncelenmesi”, *BAÜ Fen Bil. Enst. Derg.* 5.1 sf 99-110 (2003).