

DIN 20MnCr5 Çelik Çubukların Kutu Borlama Sonucu Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi

Nurullah Şahin¹, Hayrettin Ahlatcı¹, Aysun Işıkgül², İsmail Esen¹, Süleyman Yaşın

¹Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 78050 ve Karabük, TÜRKİYE

Başvuru: 20/07/2023

Kabul : 30/08/2023

Çevrimiçi Basım : 08/12/2023

Öz

Bu çalışmada, bakla ve halka gibi zincir elemanlarında, cıvata gibi bağlantı elemanlarında kullanılan Ø11 çapındaki DIN 20MnCr5 sementasyon çelik çubuğa, 950°C borlama sıcaklığında, 2,5 ve 7,5 saat farklı borlama sürelerinde borlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Borlanan yüzeyde borlama süresine bağlı olarak borür tabakasının oluşumu ve oluşan borür tabakasının metalografik yapısı, yüzeyden merkeze mikrosertlik değerleri ve adhezif aşınma özellikleri incelenmiştir. Kutu borlama sonucu, Ø11 mm çapındaki 2,5 saat borlama sonucu borür kaplama kalınlığı ortalama 195,6 µm ve 7,5 saat borlama sonucu ortalama 371.5 µm ölçülmüştür. Sertlik değerlerinde ise 2,5 saat borlama sonucu yüzeyde 1780 HV_{0,3} ve 7,5 saat borlama sonucu yüzeyde 2272 HV_{0,3} sertlik ölçülmüştür. Adhezif aşınma deneyine göre işlemsiz Ø11 mm çapındaki DIN 20MnCr5 çelik çubuk örneğinde 5,256 g , 2,5 saat borlamadan sonra 0,0071 g ve 7,5 saat borlamadan sonra 0,0047 g ağırlık kaybı gerçekleşmiştir.

Anahtar Kelimeler

DIN 20MnCr5, kutu borlama, sertlik, adhezif aşınma ve mikroyapı

Abstract

In this study, boriding process was carried out on Ø11 diameter DIN 20MnCr5 cementation steel bar used in chain elements such as links and rings and fasteners such as bolts, at 950°C boronizing temperature, at different boriding times of 2.5 and 7.5 hours. Depending on the boriding time on the boronized surface, the formation of the boride layer and the metallographic structure of the formed boride layer, microhardness values from the surface to the center and adhesive wear properties were investigated. As a result of box boriding, boride coating thickness of Ø11 mm diameter was measured as an average of 195.6 µm after 2.5 hours of boronizing, and 371.5 µm after 7.5 hours of boronizing. In the hardness values, 1780 HV_{0,3} hardness was measured on the surface after 2.5 hours of boronizing and 2272 HV_{0,3} hardness was measured on the surface after 7.5 hours of boronizing. According to the adhesive wear test, 5.256 g weight loss occurred in the untreated Ø11 mm diameter DIN 20MnCr5 steel bar sample, 0.0071 g after 2.5 hours boronizing, and 0.0047 g after 7.5 hours boriding.

Key Words

DIN 20MnCr5, box boriding, hardness, adhesive wear and microstructure

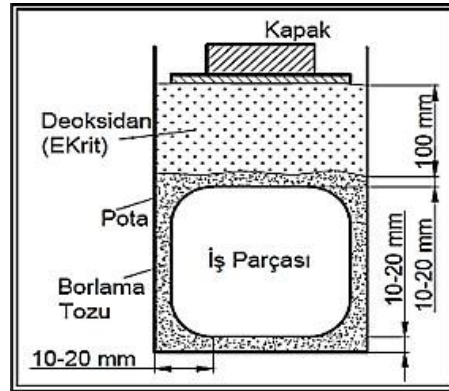
1. Giriş

Bor ve bor türevi ürünlerin endüstriyel anlamda yeni sayılabilecek uygulama alanlarından biri de çeliklerde bir tür yüzey sertleştirme yöntemi olarak kullanımlarıdır. Borlama; süper alaşımlar ile sermetler gibi birçok malzeme grubuna uygulanabilir; alaşımsız ve alaşımlı çelikler, dökme demirlere, demir dışı metal ve alaşımlarına (Ni, Co, Mo, Ti) Er at al (2004).

Özellikle geleneksel sertleştirme yöntemlerine alternatif olarak borlama, son derece gelişmiş bir termokimyasal yüzey sertleştirme işlemidir. Borlama malzeme cinsine ve malzemeden beklenen özellikler doğrultusunda, 700 ile 1100 °C arasında belirlenen bir sıcaklıkta ve 1 ile 12 saat aralığında belirlenen bir sürede, bor verici olarak plazma, katı, sıvı veya gaz halindeki bor kaynağının bulunduğu ortamlarda son derece temiz prosedürler kullanılarak yapılmaktadır Bozbay (2019); Tarakci et al. (2010); Ersöz (2008); Topuz (2009); Yang et al (2021).

Demir yüksek sıcaklıkta (700-1100°C) borlandığında bor atomları demir ara boşluklarında çözünür. Küçük atomik boyutları ve yüksek hareketlilikleri nedeniyle bor atomları demirli alaşımlara hızlı bir şekilde yayılır ve termal enerji ile demirli alaşımların matrisine yerleşerek FeB ve Fe₂B tipi intermetalik bileşikler oluşturur Sen et al (2001). Borür kaplama katmanında, tek fazlı Fe₂B veya iki fazlı Fe₂B + FeB'den oluşan bir ferroboron katmanı oluşturulur. Borlama işlemi ile yüzeyde oluşan bor tabakası yüksek sertlik değerlerine (1450–5000 HV) , yüksek aşınma direncine, yüksek korozyon direncine, borür tabakasının düşük sürtünme katsayısına, yüksek ısı ve elektrik iletkenliğine sahiptir Ersöz (2008);Şeşen (2015); Aksöz et al (2019); Polat (2016). Borür tabakasında oluşturulan FeB fazının çekme gerilimlerine neden olan yüksek kırılma direnci, bu faz yapısının büyümesini istenmeyen hale getirir. Ayrıca FeB fazı, Fe₂B fazından daha yüksek (sırasıyla $23 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ve $7,85 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$) termal genleşme katsayısına sahiptir. İki fazlı sistemde oluşturulan Fe₂B ve FeB fazlarının farklı termal genleşme oranlarının ve FeB-Fe₂B fazlarının birbirine uyguladığı basınç ve çekme gerilimlerinin bir sonucu olarak iki faz arasında çatlaklar meydana gelmektedir . FeB fazının fraksiyonunun azaltılması veya FeB fazının oluşumunun engellenmesiyle bu çatlaklar önlenebilir. Borlama işlemi sırasında zamana ve sıcaklığa bağlı olarak tek veya çift fazlı fazlar oluşabilir Boztepe (2014); Kayali (2015); Koçaslan (2016).

Kutu borlama prosesinde borlama ortamı olarak katı malzemeler kullanılır. Kullanımının basit olması, amaçlanan cihazın temel aletler kullanılarak üretilebilmesi, özel ekipman gerektirmemesi, uygun maliyetli, güvenli olması ve kimyasal bileşiminin değiştirilebilmesi nedeniyle en popüler borlama yöntemidir. Tipik olarak süreç üç adımdan oluşur: fırınlama, ısıtma ve temizleme. Numune, kapalı bir kutu (Şekil 1) içerisine konulmadan önce bor kaynağını sağlamak için bor tozu ve bir deoksidan ile doldurulur. Ayrıca Ekabor ticari bor tozları da bor kaynağı olarak kullanılmaktadır. Burada amaç oksijenin borlama ortamına geçişini engellemektir Barış (2007); Uluköy et al (2006).



Şekil 1. Katı Borlama İşleminde Numune Kutusunun Şematik Görünüşü

DIN 20MnCr5 çeliğine yönelik yapılan kutu borlama çalışmalarına bakıldığında, bakla ve halka gibi zincir uygulamalarında kullanılan DIN 20MnCr5 çubuklara yönelik bilimsel çalışmaların eksik kaldığı görülmektedir (Ergün et al (2017); Liszewski et al (2017); Krumes et al (2011)). Bu çalışmada Ø11 mm çapındaki DIN 20MnCr5 çubuklarının yüksek aşınma direnci gerektiren kullanım koşulları göz önüne alındığında çelik çubuklara borlama işlemi ile farklı sürelerde kaplama yaparak adhezif aşınma deneyi ile aşınma dayanımları incelenmiştir.

2. Yöntemler

Bu çalışma sürecinde Ø11 mm çapındaki DIN 20MnCr5 sementasyon çelik çubuklar kullanılmıştır. Tablo 1'de DIN 20MnCr5 çelik çubukların kimyasal kompozisyonu verilmiştir. Endüstride büyük bir öneme sahip olan Ø11 mm çapındaki DIN 20MnCr5 çelik çubuklara 950 °C sıcaklıkta 2,5 ve 7,5 saat olmak üzere farklı borlama süresinde kutu borlama prosesi ile yüzeyini bor kaplayarak mikroyapı, sertlik ve aşınma özelliklerinin değişimi incelenmiştir.

Tablo 1. DIN 20MnCr5 Çelik Çubukların % Kimyasal Kompozisyonu

Element	% Kimyasal Bileşim
C	0,199
Mn	0,68
Si	0,217
S	0,016
P	0,017
Cr	1,003

Borür tabakasının morfolojisinin ve kaplama kalınlıklarının incelenmesi için Ø11 x 15 mm boyutlarında hazırlanan numuneler zımpara ile kesiti baz alınarak Şekil 2’de gösterildiği üzere düz bir yüzey elde edilmiştir. Ancak kesitsel paralellik elde etmek için zımparalama kullanılmıştır. Numuneler, kesit yüzeyleri dış mekanla temas edecek şekilde kalıba yerleştirildi. Bakalite alma yöntemi soğuk kalıplama yapılmıştır. Numunelerin bakalit kalıptan çıkarılıp metalografik olarak parlatılan kısımları sırasıyla 400-600-800-1000-1200-2000-2500 zımparalarla metalografik olarak parlatılmıştır. Metalografik olarak hazırlanan numunelerin incelenmesi Şekil 3’te verilen Carl Zeiss markalı optik mikroskopta gerçekleştirilmiştir. Borlanmış numunelerin sertliğinin değerlendirilmesi için Şekil 4’te gösterilen Shimadzu marka Vickers sertlik cihazı kullanılmıştır. Vickers sertlik testi, elmas şeklindeki, piramit delici ucun 0,2 kg’lık bir yükün altında 15 saniye bekletilmiş ve ardından ortaya çıkan izin çapraz uzunluklarının ölçülmesiyle sertlik değerleri belirlenmiştir. Borlanmış numunelerin kaplama yüzeyinden matrise kadar ölçümler alınarak borür tabakasının sertlik derinlikleri belirlenmiştir.



Şekil 2. Metalografik İncelenen Numunelerin Kesit Yüzeyi



Şekil 3. Carl Zeiss Markalı Optik Mikroskobu

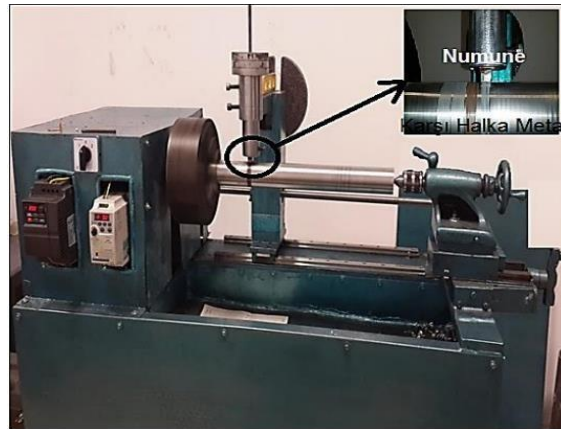


Şekil 4. Shimadzu Marka Vickers Sertlik Cihazı

Şekil 5'teki pin şeklindeki aşınma numuneleri, aşınma testi için DIN 20MnCr5 çelik çubuklardan üretilmiştir. Pin şeklindeki numuneler daha sonra kutu borlama işlemine tabi tutulmuştur. Şekil 6'da görülen Pin on Ring test cihazı ile numunelerin kuru ortamda aşınma davranışı değerlendirilmiştir. Pin on Ring aşınma deneyi, 1.2379 kalite soğuk iş takım çeliği üzerinde 20N basınç altında, 0,1 m/s kayma hızında ve 2000 m aralıklarla toplam 10.000 m kayma mesafesinde gerçekleştirilmiştir. Ağırlık kayıpları her 2000 metre sonunda 0,1 mg hassasiyetli dijital hassas terazi kullanılarak belirlenmiştir ve ağırlık kayıpları her 2000 metrede bir hesaplanmıştır.



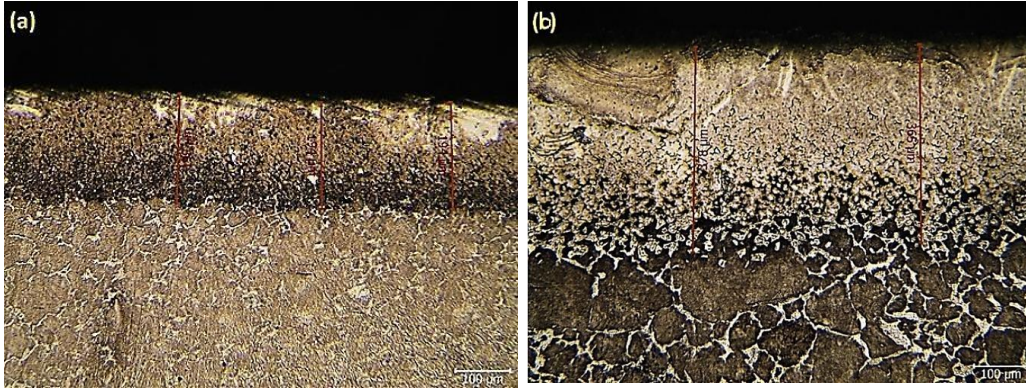
Şekil 5. Pin Formunda Aşınma Numuneleri



Şekil 6. Pin on ring Aşınma Test Cihazı

3. Sonuçlar

Şekil 7.'de 950  C'de 2,5 ve 7,5 saat olmak üzere farklı borlama sürelerinde borlanmış DIN 20MnCr5 elik çubukların optik mikro yapıları, Tablo 2'de kaplama tabakalarının kalınlıkları verilmiştir. DIN 20MnCr5 elik çubukların borlama süresinin artmasıyla borür kaplama kalınlığı artmıŐtır.

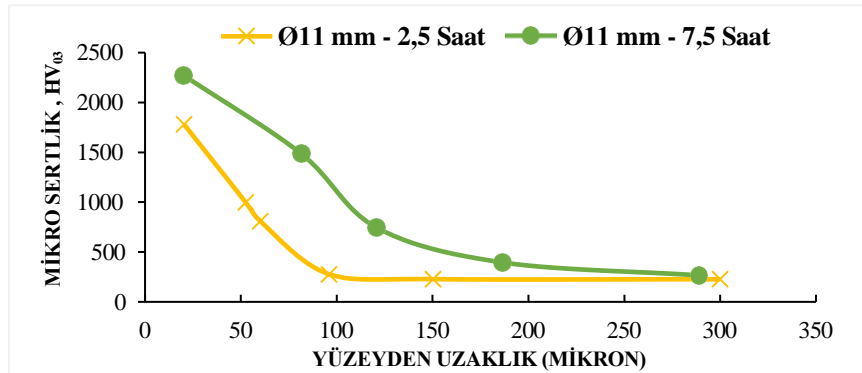


Şekil 7. 950  C'de (a) 2,5 Saat Ve (b) 7,5 Saat Borlama Sonucu  11 mm çapındaki DIN 20MnCr5 elik ubukların Optik Mikroyapısı Ve Tabaka Kalınlıkları.

Tablo 2. Kutu Borlama Sonrası DIN 20MnCr5 eliğin Borür Tabaka Kalınlığı

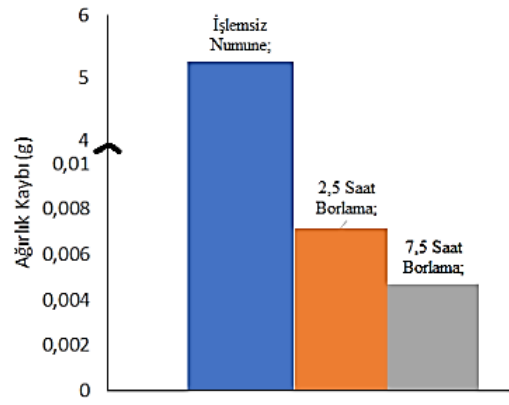
Borlama S�resi (saat)	Ortalama Kaplama Tabaka Kalınlıkları (�m)
2,5	195,6
7,5	371,5

2,5 saat borlama ve 7,5 saat borlama sonrasında DIN 20MnCr5 eliği (Şekil 8)  zerinde oluşan borür tabakası sırasıyla 1780 HV ve 2272 HV sertliğe sahiptir. Bununla birlikte matrisin sertliği ise ortalama 244 HV olarak bulunmuŐtur. sabit sıcaklık ve borlama süresinin artması ile  11 mm çapındaki elik çubuğun kaplama tabakasının sertliğinde artıŐ meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 8.  11 mm çapındaki DIN 20MnCr5 eliğinin 950  C Sıcaklıkta 2,5 Saat ve 7,5 Saat Kutu Borlama Sonucu Mikro Sertlik EĞrileri.

Şekil 9'da işlem görmemiş ve 950 C'de farklı borlama sürelerinde borlama işlemi uygulanan numunelerde aşınma testi sonrası ağırlık kayıplarının 10000 m kayma mesafesinde ve 20 N yük altındaki deĐiŐim değerleri verilmiştir. Şekil 9'a göre işlem görmemiş numuneler, aşınma nedeniyle borlanmış numunelere göre daha fazla ağırlık kaybeder. Numunelerin aŐınmaya bağlı ağırlık kaybı bu durumda borlama işlemi ile azaltılmıŐtır ve borlamanın malzemenin aşınma direncini arttırdığı açık bir Şekilde görülmüştür.



Şekil 9. İncelenen Numunelerin Aşınma Sonuçları

4. Genel Sonuçlar

Bu çalışma sonucunda;

1. Optik mikro yapı görüntüleri gösteriyor ki Ø11 mm çapındaki numunenin borür kaplama kalınlığı 950°C'de 2,5 saat borlama sonucu 195,6, 950°C'de 7,5 saat borlama sonucu 371,5 olarak ölçülmüştür. İşlenmemiş Ø11 mm numunenin sertliği 244 HV olarak ölçülmüştür.
2. Artan kaplama tabakası kalınlığı ile, ana matris ile borid kaplama arasındaki arayüz, düz bir arayüzden süreksiz dalgalı bir arayüz morfolojisine geçiş yapmıştır.
3. 950°C'de 2,5 saat borlanan Ø11mm çapındaki numunenin borür kaplama sertliği 1780 HV ve 950°C'de 7,5 saat borlanan Ø11 mm çapındaki numunenin borür kaplama sertliği 2272 HV olduğu görülmüştür.
4. Aşınma sonuçlarına göre 7.5 saat borlama süresinde , 950°C'de borlanmış Ø11 mm numunesinin ağırlık kaybı aşınma bölgelerine göre en düşük (0.0047 g) ve işlem görmemiş Ø11 mm numunesinde ise en yüksek (5.26 g) olmuştur. Aşınma çıktılarının sertlik verileri ile paralel olduğu ortaya çıkmıştır.

Teşekkürler

Yazarlar, desteğinden dolayı Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Koordinatörlüğüne (KBÜBAP-22-YL-027) teşekkür ederiz.

Referanslar

- Aksöz, S., Kaplan, Y., & Tan, E. (2019). Boro-sinterleme işleminin ham T/M parçaların mikroyapı ve sertlik özelliklerine etkilerinin incelenmesi. *Bor Dergisi*, 4(2),77-84 .
- Bariş, M. (2007). Farklı Borlama Sürelerinin Transmisyon Çeliğinde Abrasiv Aşınma Davranışlarına Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- Bozbay, A. B. (2019). Lastik koruyucu zincirlerinde kullanılan 20MnCr5 ve 8620 malzemelerinin farklı ısıl işlem şartları için yorulma ve aşınma dirençlerinin iyileştirilmesi, Yüksek Lisans, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye.
- Boztepe, M. H. (2014). Effect of boronizing temperature and time on abrasion and corrosion resistance of AISI 1050 steel, Msc Thesis, Çukurova University, Adana, Türkiye.
- Ergun, Y., Güneş, İ., Erdoğan, M., & Cankaya, N. (2017). Effect of boriding treatment on the corrosion behavior of steels. *Journal of nanoscience and nanotechnology*, 17 (12), 8946–8951 .
- Ersöz, A. (2008). Elektrokimyasal borlama ile çeliklerin yüzey özelliklerinin geliştirilmesi, Yüksek Lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

- Er, Ü., & Par, E. (2004). Bor yayınımla yüzeyi sertleştirilmiş aisi 1030 ve aisi 1050 çeliklerinin abrazif aşınma dayanımlarının incelenmesi. Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 17(1)
- Kayali, Y. (2015). Investigation of diffusion kinetics of borided aisi P20 steel in micro-wave furnace. *Vacuum*, 121, 129–134.
- Koçaslan, A. (2016). 16MnCr5 Çeliğinin borlama ve termal çevrimli borlama özelliklerinin araştırılması, Yüksek Lisans, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye.
- Krumes, D., Stubičar, M., Kladarić, I., Milinović, A., & Ducu, C. (2011). Improvement of surface layer properties of some constructional steels induced by applying thermodiffusional duplex treatment, *Int. J. Of Microstructure And Materials Properties*, 6 (5), 425–434.
- Liszewski, M., Kasprzycka, E., Krupicz, B., & Tarasiuk, W. (2016). The analysis of the selected processes of thermo chemical heat treatment of 20MnCr5 steel in the context of abrasive wear, *Tribologia International*, 269(5), 183–193.
- Sen, S., Özbek, İ., Sen, U., & Bindal, C. (2001). Mechanical Behavior Of Borides Formed On Borided Cold Work Tool Steel. *Surface And Coatings Technology*, 135, 173–177.
- Şeşen, F. E. (2015). Çelik yüzeylerinde elektrotermokimyasal ve termokimyasal difüzyon tabakası oluşumuna ve difüzyon tabakalarının özelliklerine işlem parametrelerinin etkisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Tarakci, M., Gencer, Y., & Calik, A. (2010). Comparative study of effect of pure vanadium under a controlled atmosphere", *Applied Surface Science*, 256 (24), 7612–7618 .
- Topuz, P. (2009). Akışkan yataklı fırında farklı çeliklerin borlanması ve borlama parametrelerinin geliştirilmesi, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Topuz, P. (2016). DIN 1.2842 çeliğinin borlanması ile oluşan borür tabakası üzerine borlama sıcaklık ve süresinin etkileri. *Bor dergisi*, 1(1), 15(19).
- Uluköy, A. & Can, A. Ç. (2006). Çeliklerin Borlanması. *Pamukkale Üniveristesi*, 12(2).
- Yang, J., Wang, L., Zheng, Y., & Zhong, Z. (2021). Strain modified constitutive equation and processing maps of high quality 20MnCr5(sh) gear steel, *Crystals*, 11 (5), 536.