

Borlanmış Süper Östenitik Paslanmaz Çeliğin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi

Ersan MERTGENÇ¹, Yusuf KAYALI²

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Afyonkarahisar.

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

ersanmertgenc@hotmail.com <https://orcid.org/0000-0001-8247-2922>

Geliş Tarihi: 27.09.2019 ; Kabul Tarihi: 03.10.2019

Öz

Anahtar kelimeler

AISI 904 L; Kutu Borlama; Sürtünme Katsayısı; Aşınma.

İçeriğindeki alaşım elementlerinden dolayı yüksek korozyon direncine sahip kimya, petrokimya, nükleer, askeri gibi birçok endüstri alanında yaygın olarak kullanılan AISI 904 L paslanmaz çeliği 850 °C, 900 °C ve 950 °C sıcaklıklarda ve 4 saat süreyle kutu borlama yöntemi ile kaplanmıştır. Malzeme yüzeyinde oluşan borür tabakalarının yapısının karakterizasyonu, tabaka üzerinde oluşan fazlar incelenmiştir. Aşınma deneyleri ball-on-disk aşınma yöntemi ile 5 N yük altında 0.3 m/s hızında, 500 m mesafede gerçekleştirilmiştir.

Östenitik paslanmaz çeliğin kutu borlama yöntemi ile kaplamasında oluşan kaplama tabakasının düz bir yapı sergilediği, kaplama yüzeyinde FeB, Fe₂B, Cr₂B, Ni₂B ve CrB₂ fazlarının varlığı tespit edilmiştir. Tabaka kalınlığının sıcaklığın artışı ile arttığı, sertlik değerinin yaklaşık 5,5 kat iyileştiği ve aşınma testlerinde borlama sıcaklığının artışı ile aşınma direncinin arttığı tespit edilmiştir.

Investigation of Wear Behavior by Borided of Super Austenitic Stainless Steel

Abstract

Keywords

AISI 904 L; Pack Boriding; Coefficient of Friction ; Wear.

AISI 904 L stainless steel, which is widely used in many industries such as chemical, petrochemical, nuclear and military due to its alloying elements, is coated with box boring method at 850 °C, 900 °C and 950 °C for 4 hours. Characterization of the structure of boride layers formed on the surface of the material and the phases formed on the layer were examined. Abrasion tests were carried out by ball-on-disk abrasion method under a load of 5 N at a speed of 0.3 m / s at a distance of 500 m.

It was determined that the coating layer formed in the coating of austenitic stainless steel by box boring method had a flat structure and the presence of FeB, Fe₂B, Cr₂B, Ni₂B and CrB₂ phases on the coating surface was determined. It was observed that layer thickness increased with increasing temperature, hardness value improved about 5.5 times and abrasion resistance increased with increasing boron temperature in wear tests.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Paslanmaz çelikler Fe-Cr-Ni alaşımları olup %1,2'ye kadar karbon ve en az %10,5 krom içeren alaşımlardır (Gorunov and Gilmuddinov 2017). İse iyi korozyon dirençleri, mekanik ve ekonomik özelliklerinden dolayı mühendislik alanlarındaki uygulamaları da artmaktadır (Yin et al. 2019). Östenitik paslanmaz çelikler, iyi süneklik ve korozyon direnci özellikleri ile biyomedikal uygulamalarda en yaygın kullanılan paslanmaz çeliklerden biridir (Eskandari et al 2013). Diğer tüm paslanmaz çeliklerden önemli ölçüde daha yüksek Cr ve Mo içeriğinden oluşan süper paslanmaz çelikler, üstün korozyon direnci ve belirgin mekanik özellikleri nedeniyle genel olarak açık deniz endüstrilerinde, elektrik santrallerinin (Lee et al. 2018) yapımında kullanılmaktadır. Bu serideki paslanmaz çelikler yüksek oranda Cr, Mo, N ve %6'ya kadarda Mo içermektedirler (Joo et al. 2015, Qian and DuPont 2010, Fernandes et al. 2010, Zhang 2018). 904 L süper östenitik paslanmaz çelik (SASS), kimyasal, petrokimya, askeri ve okyanus endüstrisi gibi birçok agresif alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Zhang et al 2016).

Süper östenitik paslanmaz çeliklerin belirtilen üstün özelliklerinin yanında diğer türdeki paslanmaz çeliklerde olduğu gibi yüzey dayanımları oldukça düşüktür ve servis ömürlerini uzatmak için fiziksel buhar biriktirme yöntemi (PVD), elmas benzeri karbon kaplama (DLC), Cr₂B sprey kaplama, sert krom kaplama, sol-jel metodu ile hidrokssihepatit kaplama, plazma nitrüleme, plazma nitrür karbürleme ve borlama gibi birçok kaplama metodu kullanılmaktadır (Kayalı 2014).

Diğer kaplama yöntemlerine nazaran kutu borlama yöntemi, daha uzun işlem süresi ve daha yüksek işlem sıcaklığı sınırlamaları dışında, daha yüksek yüzey sertliği, daha iyi aşınma ve korozyon dirençleri ve daha basit işlem ve ekipman gibi bazı önemli avantajlar göstermektedir (Li et al. 2018).

Bu çalışmada 904 L süper östenitik paslanmaz çeliğin yüzey özelliklerini iyileştirerek, servis ömrünü arttırmak, kullanım alanlarını genişletmek

için kutu borlama yöntemiyle 850 °C, 900 °C ve 950 °C'de 4 saat süre ile borlama işlemine tabi tutulmuş ve aşınma direnci araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Altlık malzeme olarak kullanılan 904 L süper östenitik paslanmaz çeliğinin kimyasal bileşimi Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. 904 L Süper Östenitik Paslanmaz Çeliğinin Kimyasal Bileşimi (%).

| C | Mn | Si | P | S | Cr | Ni | Mo | Cu |
|------|-----|-----|-------|------|-------|-------|-----|-------|
| 0.02 | 2.0 | 1.0 | 0.045 | 0.01 | 19.22 | 24.24 | 4-5 | 1.2-2 |

Test numuneleri Ø16x6 mm boyutlarında kesilerek 120, 320, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 grit zımparalarla yüzeyleri zımparalanarak, alkolle temizlenmiştir. Kutu borlama ile kaplama işlemi için, test numuneleri içerisine ticari bor tozu (Ekabor-2) konulmuş paslanmaz çelik pota içerisine yerleştirilerek belirlenen süre ve sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Borlanmış numuneler, oda sıcaklığına kadar soğutuldu ve daha sonra test numuneleri kutudan çıkarılarak soğumaya bırakılmıştır. Borlanmış numunelerden kesilen parçaların kesiti metalografik olarak hazırlanmıştır. Yüzeyler sırasıyla 120, 320, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 grit zımparalardan geçirilerek zımparalandıktan sonra 1 µm'luk alümina ile parlatılmıştır. Daha sonra paslanmaz çelik dağılayıcısı ile (HCl: HNO₃: H₂O to 1: 1: 1) dağılanan numuneler optik mikroskop (Olympus BX-60) ile incelendi. Kaplama tabakasında oluşturulan bor varlığı CuKα (λ = 1.5406 Å) radyasyonu kullanan X-ray difraksiyonu (Shimadzu XRD-6000) ile teyit edilmiştir. Borür kalınlığı optik mikroskoba (Olympus BX60) bağlı bir dijital kalınlık ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Borlanmış numunelerin sertlik değerleri mikro-sertlik cihazında (Shimadzu HM-2) 50 gr. yük altında yüzeyden matrise doğru sıra sertlik alınarak gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri, en az 10 farklı ölçümlerinin ve standart sapmalar ortalama değerleri dikkate alınarak yapılmıştır.

Aşınma deneyinde bilye olarak 1895 HV sertliğe sahip WC-Co bilyeler kullanılmış, bilye disk

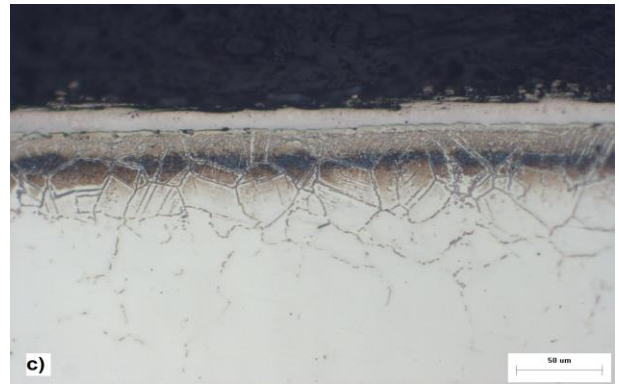
sisteminde oda sıcaklığında kuru sürtünme şartlarında, ASTM 99 standardına uygun olarak tasarlanan aşınma cihazında 5 N yük altında 0.3 m/s kayma hızında, 500 metre mesafede gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyi öncesi ve sonrasında her numune ve aşındırma elemanı alkolle temizlenmiştir. Aşınma hızı ise aşağıda verilen 1 numaralı eşitlikle hesaplanmıştır.

$$w = \frac{V}{F.S} \text{ (mm}^3/\text{Nm)} \dots \dots \dots (1)$$

Bu formülde “W” aşınma hızını, “V” aşınma hacim miktarı, “F” uygulanan yükü, “S” ise kayma mesafesini göstermektedir.

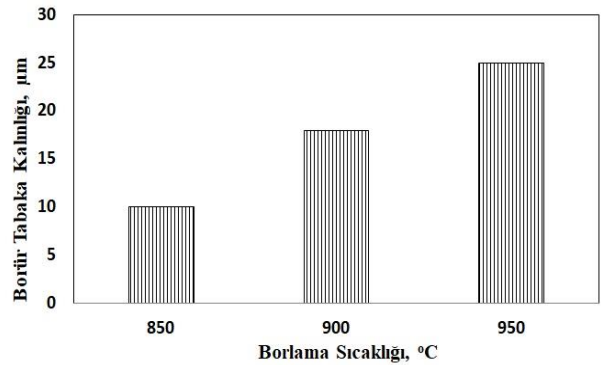
3. Bulgular ve Tartışma

904 L süper östenitik paslanmaz çeliğin borlanması ile elde edilen mikroyapı görüntüleri Şekil 1’de verilmiştir. Kaplama tabakası matris ara yüzeyinde düz bir yapı sergilediği tespit edilmiştir. Borür tabakası ve matris arayüzeyinin belirgin bir şekilde birbirinden ayrıldığı ve tabaka kalınlığının sıcaklıkla beraber arttığı belirlenmiştir.



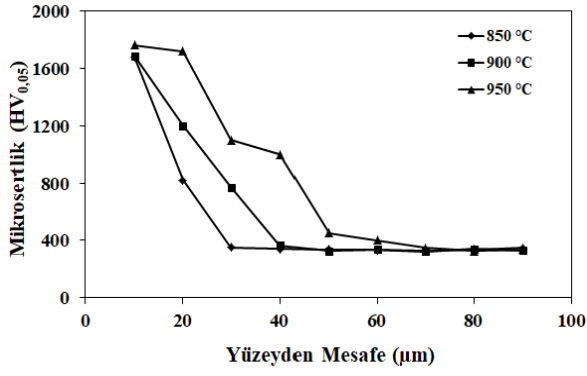
Şekil 1. a) 850 °C, b) 900 °C, c) 950 °C 4 Saat Süre ile Borlanmış 904 L Süper Östenitik Çeliğin Mikroyapı Resimleri (200 X).

Sıcaklığa bağlı tabaka kalınlıklarının değişimleri Şekil 2’de verilmiştir. Borür tabakası kalınlığı 850 °C sıcaklıkta 10 µm, 900 °C sıcaklıkta 18 µm ve 950 °C sıcaklıkta borlanan 904 L süper östenitik paslanmaz çelikte ise 25 µm olarak ölçülmüştür. Artan sıcaklıkla beraber borür tabaka kalınlığının arttığı tespit edilmiştir (Mertgenc et al. 2019).



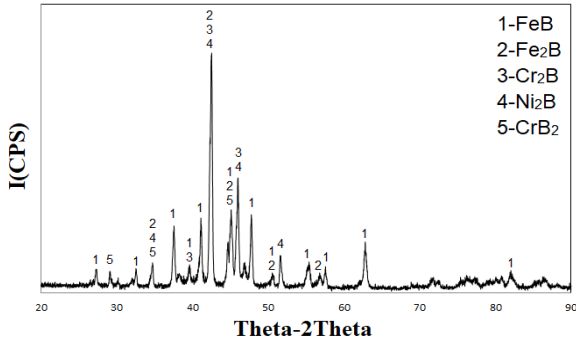
Şekil 2. 4 Saat Süre ile Borlanmış 904 L Süper Östenitik Çeliğin Tabaka Kalınlığı.

Şekil 3’de borlanmış 904 L süper östenitik paslanmaz çeliğin, borür tabakasından matrise doğru değişen sertlik değerleri verilmiştir. Borlanmamış malzemenin sertlik değeri 326 Hv_{0.05} iken sıcaklığa bağlı olarak borlanan malzemelerin yüzeylerinin sertlik değerleri 1.680 Hv_{0.05}’den 1765 Hv_{0.05}’e değişerek yaklaşık 5,5 kat artmıştır. Yüzeyden matris içine gidildikçe sertliklerde ani düşüşler görülmesine rağmen, artan sıcaklıklarla beraber sertliklerin arttığı görülmektedir (Kayalı vd. 2013).



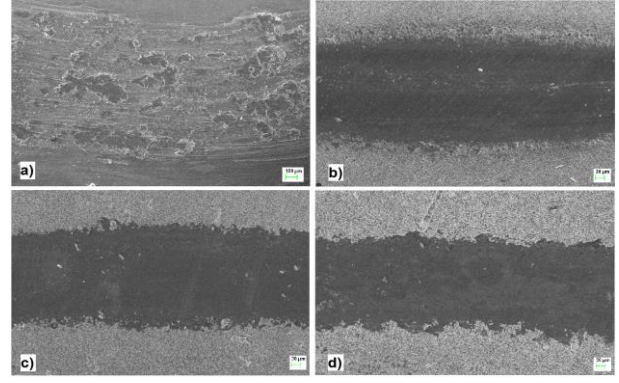
Şekil 3. a) 850 °C, b) 900 °C, c) 950 °C 4 Saat Süre ile Borlanmış 904 L Süper Östenitik Çeliğin Sertlik Değişimi.

Borlanmış 904 L süper östenitik paslanmaz çeliğine ait XRD analizi Şekil 4’de verilmiştir. Kutu borlama yöntemi ile yapılan kaplamada borür tabakasında FeB, Fe₂B, Cr₂B, Ni₂B ve CrB₂ fazlarının oluştuğu görülmektedir.



Şekil 4. 900 °C sıcaklıkta 4 saat süre ile Borlanmış 904 L Süper Östenitik Paslanmaz Çeliğinin XRD Analizi.

Borlanmamış ve borlanmış 904 L süper östenitik paslanmaz çeliğin, 5 N yük altında yapılan aşınma testleri sonucu elde edilen aşınma izlerine ait mikroyapı resimleri Şekil 5’de, aşınma hızında ve sürtünme katsayısında meydana gelen değişimler ise Çizelge 2’de verilmiştir.



Şekil 5. a) Borlanmamış, b) 850 °C, c) 900 °C, d) 950 °C Sıcaklıklarda 4 Saat Süre Borlanmış Numunelerin Aşınma İzleri.

Şekil 5 deki aşınma izleri incelendiğinde, borlama sıcaklığının artmasıyla birlikte aşınma izlerinin genişlikleri azalmaktadır (Balusamy 2013, El-Bahloul 1996). Borlanmamış numunelerde abrasiv ve adhesiv aşınma mekanizmaları beraber görülürken, artan sıcaklıkla beraber aşınma izlerinde adhesiv aşınma mekanizmasının arttığı görülmektedir.

En yüksek aşınma hızı borlanmamış numunede görülürken, artan sıcaklık ve borür tabakasının artışı ile en düşük aşınma hızı 950 °C’de 4 Saat borlanmış numunelerde tespit edilmiştir. Borlanmış numunelerin sürtünme katsayıları literatürde 0.5-0.7 arasındadır (Kayalı 2013, Kayalı 2014). Bu çalışmada elde edilen sürtünme katsayı değerleri literatürle uyumludur.

Çizelge 1. 904 L Süper Östenitik Paslanmaz Çeliğinin Kimyasal Bileşimi (%).

| Deney Numunesi | Sürtünme Katsayısı | Aşınma Hızı x 10 ⁻⁶ (mm ³ /Nm) |
|---------------------------|--------------------|--|
| Borlanmamış 904 L | 0,863 | 64,079 |
| 850 °C – 4 Saat Borlanmış | 0,654 | 0,082 |
| 900 °C – 4 Saat Borlanmış | 0,627 | 0,071 |
| 950 °C – 4 Saat Borlanmış | 0,601 | 0,032 |

4. Sonuçlar

Kutu borlama yöntemiyle 850 °C, 900 °C ve 950 °C sıcaklıklarda 4 saat süre ile yapılan 904 L süper östenitik paslanmaz çeliğinin kaplanmasında elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

- Bütün sıcaklıklarda borür tabakası ile matris geçiş bölgesinde düz ve pürüzsüz bir yapı elde edilmiştir.
- Borlanmış 904 L süper östenitik paslanmaz çeliğin yüzeyinde FeB, Fe₂B, Cr₂B, Ni₂B ve CrB₂ fazlarından oluştuğu tespit edilmiştir.
- Borlanan süper östenitik paslanmaz çeliğin yüzeyinde oluşan borür tabakasının kalınlığı artan sıcaklıkla birlikte 10 µm'den 28 µm'na artmıştır.
- Borlama işlemi ile beraber süper östenitik paslanmaz çeliğin yüzey sertliği 5,5 kata kadar artmıştır.
- Borlama işleminde artan sıcaklıkla beraber aşınma direnci artmıştır.
- Borlanmamış numunede abrasiv ve adhesiv aşınma mekanizması görülürken, artan borlama sıcaklığı ile beraber aşınma mekanizması adhesiv aşınmaya dönüşmüştür.

Kaynaklar

Balusamy, T., Sankara Narayanan, T.S.N., Ravichandran, K., Song, P.II, and Lee, M.H., 2013. Effect of surface mechanical attrition treatment (SMAT) on pack boronizing of AISI 304 stainless steel. *Surface&Coatings Technology*, **232**, 60–67.

El-Bahloul, A.M.M, 1996, Surface capacity of gears of circular-arc tooth-profile. *Wear*, **193(2)**, 146-154.

Eskandari, M., Zarei-Hanzaki, A. and Abedi, H.R., 2013. An investigation into the room temperature mechanical properties of nanocrystalline austenitic stainless steels. *Materials and Design*, **45**, 674-681.

Fernandes, F.A.P., Heck, S.C., Pereira, R.G., Picon, C.A., Nascente, P.A.P. and Casteletti, L.C., 2010. Ion nitriding of a superaustenitic stainless steel: Wear and corrosion characterization. *Surface and Coatings Technology*, **204(18-19)**, 3087-3090.

Gorunov, A.I. and Gilmutdinov, A.K., 2017. Investigation of coatings of austenitic steels produced by supersonic laser deposition. *Optics & Laser Technology*, **88**, 157-160.

Joo, M.S., Noh, K.-M., Kim, W.-K., Bae, J.-H. And Lee, C.-S., 2015. A study of metallurgical factors for defect formation in electric resistance welded API steel pipes. *Metallurgical and Materials Transactions E*, **2(2)**, 119-130.

Kayali, Y., 2014. The Corrosion and Wear Behavior of TiN and TiAlN Coated AISI 316 L Stainless Steel. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, **50(3)**, 412-419.

Kayali, Y., Büyüksağış, A. and Yalçın, Y., 2013. Corrosion and wear behaviors of boronized AISI 316L stainless steel. *Metals and Materials International*, **19(5)**, 1053-1061.

Lee, C., Lee, Y., Lee, C., and Hongb, S., 2018. Possibility of Mn substitution of Ni through evaluation of mechanical properties and corrosion resistance in superaustenitic stainless steel weld metal. *Materials Science & Engineering A*, **733**, 16-23.

Mertgenç, E., Kesici, O.F. and Kayali, Y., 2019. Investigation of wear properties of borided austenitic stainless steel different temperatures and times. *Materials Research Express*, **6(7)**, 076420.

Qian, M. and DuPont, J.N., 2010. Microsegregation-related pitting corrosion characteristics of AL-6XN superaustenitic stainless steel laser welds. *Corrosion Science*, **52(10)**, 3548-3553.

Yin, F., Yang, L., Wang, M., Zong, L. And Chang, X., 2019. Study on ultra-low cycle fatigue behavior of austenitic stainless steel. *Thin-Walled Structures*, **143**, 106205.

Zhang, S., Jiang, Z., Li, H., Binbin, Z., Fan, S., Li, Z., Feng, H. and Zhu, H., 2018. Precipitation behavior and phase transformation mechanism of super austenitic stainless steel S32654 during isothermal aging. *Materials Characterization*, **137**, 244-255.

Zhang, W., Zhang, J., Han, Y., Lio, R., Zou, D. and Qiao, G., 2016. Metadynamic recrystallization behavior of as-cast 904 L super austenitic stainless steel. *Journal of Iron and Steel Research, International*, **23(2)**, 151-159.