



BOR DERGİSİ

JOURNAL OF BORON

Journal homepage: www.journal.boren.gov.tr



DIN 1.2842 çeliğinin borlanması ile oluşan borür tabakası üzerine borlama sıcaklık ve süresinin etkileri

Polat Topuz*

Gedik Üniversitesi, MeslekYüksek Okulu, 34913 İstanbul, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi

İlk gönderi 19 Ocak 2016
Revize gönderi 11 Mart 2016
Kabul 11 Mart 2016
Online yayınlanması 24 Mart 2016

Anahtar kelimeler:

90MnCrV8,
akışkan yataklı fırın,
borlama,
borür fazları
termal genleşme

ÖZET

Bu çalışmada soğuk iş takım çelikleri sınıfında yer alan DIN 1.2842 (90MnCrV8) çeliğinin, borlama zaman ve sıcaklığına bağlı olarak yüzeyinde oluşan borür tabakasındaki değişimlerin incelenmesi ve sonuç olarak bu tip çelik için optimum borlama sıcaklık ve süresinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Borlama deneyleri için 850 °C, 950 °C ve 1050 °C sıcaklıklar seçilmiştir. Her bir sıcaklık için 1 ve 4 saatlik iki ayrı süre belirlenmiştir. Deneyler indirekt ısıtılmalı akışkan yataklı fırın içerisinde EKabor 1™ borlama ajanı kullanılarak kutu borlama yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Deneyler öncesinde kullanılması planlanan 90MnCrV8 çeliğinin, optik emisyon spektrometresi yardımıyla kimyasal analizi yapılmış ve deney numuneleri eşit ebatlarda hazırlanmıştır. Borlama deneyleri tamamlanan numunelerin kesitleri metalografik etüt için hazırlanmış, numunelerin yüzeyinde oluşan borür tabakalarındaki değişimlerin tespiti amacıyla XRD analizleri, mikro yapı görüntüleri, sertlik ölçümleri, borür tabakası kalınlıkları ve tabaka morfolojileri ayrı ayrı incelenmiştir. Gerçekleştirilen tüm bu incelemeler neticesinde borlama zamanından ziyade borlama sıcaklığının borür tabakasını oluşturan fazlar arasında ayrılmalara yol açtığı ve bu durumun literatürde de belirtildiği üzere borür tabakasını oluşturan FeB ve Fe₂B fazlarının termal genleşme katsayıları arasındaki farktan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 19 January 2016
Received in revised form 11 March 2016
Accepted 11 March 2016
Available online 24 March 2016

Keywords:

90MnCrV8,
fluidized bed furnace,
boronizing,
boron phases,
thermal expansion

ABSTRACT

In this study, DIN 1.2842 Steel located in cold work tool steels class was boronized. The boride layer changes depending on the boronizing time and temperature formed on the surface of steel were examined and aimed to determine the optimum boronizing temperature and time for this type of steel. About the boronizing experiments, 850 °C, 950 °C and 1050 °C were selected and 1 and 4 hours were determined for each temperatures. The experiments were carried out with the pack boronizing method using EKabor 1™ boronizing agent in indirect heated fluidized bed furnace. Prior to experiments, which is planned to be used 90MnCrV8 steel was analyzed obtained with the aid of optical emission spectrometer and test samples were prepared in identical dimensions. The sectional areas of the boronized samples were prepared for the metallographic study. XRD analysis, microstructure images, hardness measurements, layer thicknesses and layer morphologies were examined separately in order to determine the changes on boronized layer formed on the samples. The realization of all these investigations result, the boronizing temperature led to the separation between the phases constituting boride layer rather than the boronizing time and in this case, as reported in literature; to the conclusion that the difference between the thermal expansion coefficients of the boride layer which is constituting FeB and Fe₂B were reached.

*Sorumlu yazar: polat.topuz@gedik.edu.tr

1. Giriş

Bor, periyodik tablonun IIIA grubunda B simgesi ile gösterilen, atom numarası 5, atom ağırlığı 10,81 olan geçiş elementidir. Bor atomunun yarıçapı 0,098 nm ve ergime sıcaklığı 2092 °C'dir. Bor elementinin yoğunluğu $2,33 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$, değerlik elektron sayısı "3" ve iyon yarıçapı 0,023 nm'dir [1,2]. Bor tabiatta serbest halde olmayıp boratlar halinde bulunmaktadır [3]. Doğada yaklaşık 230 çeşit bor minerali vardır. Çeşitli metal veya ametal elementlerle yaptığı bileşiklerin gösterdiği farklı özellikler, endüstride birçok bor bileşiğinin kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bor bileşiklerinin elektrik iletkenliği azdır, ancak saf bor iletkendir. Kristalize bor görünüm ve optik özellikleri açısından elmasa benzer ve neredeyse elmas kadar serttir [2,4,5,6].

Akışkan yatak, akışkan özellik gösteren akışkan-katı karışım ihtiva eder. Akışkan yataklar, gazlar ve katılar arasında yüksek değerlerde bağlantı kurmak için teknikte kullanılmaktadır. Akışkan yataklı fırın, alttan hava beslemeli dikey silindirik şekilli bir ünitedir, diğer ısı işlem kaynaklarına oranla pek çok avantajı vardır. Çalışır halde iken, aynı kaynayan sıvı banyosuna benzemektedir, bu da hızlı bir şekilde, her yönde eşit bir ısı transferi sağlamaktadır. Akışkan yataklı fırınlar ucuz işlem maliyeti ve güvenli kullanım kolaylığı sağlamaktadırlar.

Termal-difüzyon yüzey işlemi olan borlama, Alman Endüstriyel Standardı DIN 17014'te, "iş parçasının yüzeyini bor ile zenginleştirmek için yapılan termo kimyasal ısı işlem" olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir deyişle termokimyasal bir yüzey sertleştirme işlemidir ve metallerin yüzeyine bor atomu difüzyonu olarak da tanımlanabilir [7]. Borlama ile nitrasyon, sementasyon vb. yöntemlere göre yüzeyde daha sert bir tabaka elde edilmektedir [8]. Uygun malzemelere uygulandığında aşınma ve sürtünme dayanımı sağlar. Borürler, oksitleyici mineral asitlerine karşı düşük, hidroklorik asite kısmen, diğer asitlere ise yüksek oranda direnç sağlar, şekilli parçalara uygulanabilir ve takım ömrünü artırır. Demir esaslı, demir dışı ve seramik malzemelere uygulanır. Borlama işlemi 800-1000 °C sıcaklık aralığında 1-12 saat süre katı, sıvı, gaz, pasta ayrıca plazma ve akışkan yatak ortamlarında uygulanır [9]. Borlama işlemiyle oluşan borürler, çeliğin tribolojik özelliklerini geliştirirler [10]. Borür fazlarının en önemli özellikleri yüksek sertlik (1400-5000 HV) ve yüksek ergime sıcaklığına (1400-1550 °C) sahip olmasıdır [9,10]. Özellikle çeliklerde yüksek sertlik değerleri 650 °C'ye kadar muhafaza edilebilmektedir. Yüzey sertliklerinin çok yüksek olması ve yüzeylerinde düşük sürtünme katsayılarının bir araya gelmesiyle aşınma mekanizmaları olan; adhezyon, tribooksidasyon, aşınma ve yüzey yorulmasına karşı da çok büyük avantaj sağlamaktadır [9].

Geleneksel metotlar olan gaz borlama işleminde ortam zehirli ve gazlar dolayısıyla patlama riski vardır, sıvı borlamada tesisat pahalıdır, işlem sonunda yüzeyde tuz tabakası birikir ve borlama banyosundaki ısı dağılı-

mı homojen olmadığında tabaka kalınlığı her yüzeyde eşit olmaz, pasta borlama işleminde ön ısıtma ya da kurutma işlemleri söz konusu olduğundan zaman ve maliyet kaybının yanı sıra tabaka kalınlığının homojen olması için parça yüzeyine sürülen pastanın her bölgede eşit olması gerekir, kutu borlama yönteminde özellikle büyük boyutlu parçaların borlanması oldukça zor ve maliyetlidir [11]. Bu dezavantajlara karşılık akışkan yataklı fırında borlama, geleneksel metotlara oranla ekonomik verim, düşük işlem zamanı ve çok iyi ısı transferi gibi avantajlara sahiptir.

Borlama işlemi sonucunda oluşan borür fazları, borlama ortamının aktif bor konsantrasyonuna bağlı olarak yüzey çizikleri ve pürüzlülükler gibi makro hataların, tane sınırları [12,13] ve dislokasyonlar [14] gibi mikro hataların bulunduğu bölgelerde başlamaktadır. Borür tabakasının oluşumu difüzyon kontrollüdür. Sıcaklık arttıkça borlanan demir esaslı yüzeylerde oluşan borür tabakasının kalınlığı da artar. Borlama işlemi sırasında, bor atomlarının çelik malzeme yüzeyine difüzyonu sonucu sert borür fazları meydana gelir. Oluşan bu tabakalar ya tek fazlı Fe_2B tabakası veya ikili bir intermetalik faz olan $\text{FeB}+\text{Fe}_2\text{B}$ tabakasıdır. Borür tabakasının şekli, büyüklüğü ve oluşan fazların kompozisyonu ana malzemenin kimyasal kompozisyonuna, bor tabakasının sertliği ise oluşan bor tabakasının şekline ve ana malzemenin kimyasal kompozisyonuna bağlıdır [8,15]. Bor bakımından daha zengin olan FeB fazı Fe_2B fazından daha kırılmandır. Difüzyon tabakasında FeB ve Fe_2B fazlarının birlikte oluşmasının dezavantajı FeB ile Fe_2B fazlarının termal genleşme katsayıları arasındaki fark ve FeB fazının gevrekliğinden kaynaklanmaktadır. Borlama işlemi sırasında gerilme ve artık gerilmeler sonucu FeB ve Fe_2B fazlarının temas ettikleri ara yüzeylerde, yüzeye paralel çatlaklar, tabaka ayrılmaları, ısı ve mekanik şoklara karşı dirençsizlik görülür. Bu nedenle borlama işlemi sırasında kırılğan FeB fazının en az şekilde oluşması istenir [9,16]. Borlamada, borür tabakasının kalınlığı arttıkça porozite oluşumu ve tabaka kalkması riski artmaktadır. Çift fazlı tabakalarda yüzeyin hemen altında porozite oluşumu meydana geldiği için çift fazlı $\text{Fe}_2\text{B}+\text{FeB}$ tabakası, tek fazlı Fe_2B tabakasına göre tercih edilmez. Demir esaslı malzemelerin borlanması sonucunda Fe_2B fazının hakim olduğu dış yapısına benzer bir yapının oluşması tercih edilir.

Borlama sonucu oluşan faz FeB'dan ibaretse kalıcı gerilim çekmeye eğilimli, eğer faz Fe_2B 'dan ibaretse basmaya eğilimlidir. Bu nedenle de çift fazlı borür tabakalarında fazlar birbirlerine çekme-basma kuvveti uygularlar [17]. Borlamadan hemen sonra yapılan homojenleştirme tavlama ile kırılğan FeB fazı bor difüzyonu ile Fe_2B fazına dönüştürülür, oluşan iki fazlı yapı ile borür tabakasının kırılğanlığı azaltılır [9].

2. Malzemeler ve yöntemler

Endirekt ısıtmalı akışkan yataklı fırın içerisinde kutu borlama metodu ile gerçekleştirilen deneyler için DIN 1.2842 (90MnCrV8) soğuk iş takım çeliği malzeme kullanılmıştır. Borlama deneylerinde EKabor 1™ tes-cilli markalı borlama tozu kullanılmıştır.

Şekil 1'de borlama deneylerinde kullanılan numunelerin borlama öncesi ve sonrası görüntüleri yer almaktadır ayrıca Çizelge 1'de borlama deneyleri öncesi optik emisyon spektrometresi yardımıyla elde edilen kimyasal analiz sonucu yer almaktadır. Borlama işlemleri için 850 °C, 950 °C ve 1050 °C sıcaklıklar ile 1 ve 4 saat işlem süreleri uygulanmıştır.



Şekil 1. Deneylerde kullanılan numuneler

Çizelge 1. Deneylerde kullanılan DIN 1.2842 çeliğinin kimyasal analizi

| Malzeme cinsi | Alaşım elementleri (% kütlece) | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| DIN 1.2842 (90MnCrV8) | C | Mn | Si | Cr | Ni | V | W |
| | 1,02 | 2,01 | 0,24 | 0,22 | 0,01 | 0,09 | 0,04 |

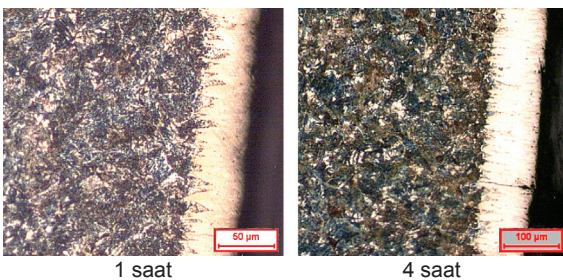
Deneyler öncesi Vickers Sertlik ölçme yöntemiyle 100 g ağırlık kullanılarak alınan sertlik değeri ortalaması Çizelge 2'den de görüleceği üzere 198 HV_{0,1} olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 2. Deneylerde kullanılan DIN 1.2842 çeliğinin sertlik ölçümü

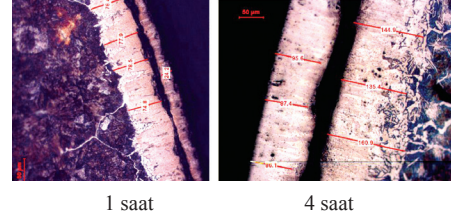
| Malzeme cinsi (DIN) | Sertlik (HV _{0,1}) |
|---------------------|------------------------------|
| 1.2842 | 198 |

3. Sonuçlar ve tartışma

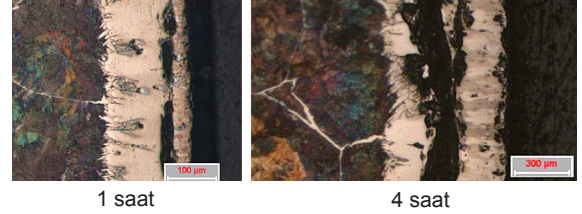
Borlama deneyleri tamamlanan numunelerin yüzeyinde oluşan borür tabakalarının morfolojileri, tabaka kalınlıkları ve sertliklerinin tespiti amacıyla metalografik inceleme için numuneler hazırlanmıştır. Mikroskop altında alınan görüntüler Şekil 2, 3 ve 4'te yer almaktadır.



Şekil 2. DIN 1.2842 malzemenin 850 °C'de 1 ve 4 saatlik borlanması sonucu oluşan borür tabakaları



Şekil 3. DIN 1.2842 malzemenin 950 °C'de 1 ve 4 saatlik borlanması sonucu oluşan borür tabakaları



Şekil 4. DIN 1.2842 malzemenin 1050 °C'de 1 ve 4 saatlik borlanması sonucu oluşan borür tabakaları

Malzemelerin yüzeylerinde oluşan borür tabakalarının kalınlıkları kalibrasyonu yapılmış Leica ICM 1000 markalı mikroskoba entegreli dijital kamera ve buna bağlı bilgisayardaki görüntü analiz yazılımı vasıtasıyla çizgisel analiz yöntemi uygulanarak ölçülmüş, tabakaların kalınlık değişimleri Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. DIN 1.2842 malzemede oluşan borür tabakalarının ortalama kalınlıkları

| Borlanan malzeme (DIN) | Borlama sıcaklığı (°C) | Borlama süresi (saat) | Borür tabaka kalınlığı (µm) |
|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| 1.2842 (90MnCrV8) | 850 | 1 | 44,4 ± 11,4 |
| | | 4 | 103,9 ± 5,3 |
| | 950 | 1 | 101,2 ± 3,8 |
| | | 4 | 230,4 ± 10,4 |
| | 1050 | 1 | 180,1 ± 10,0 |
| | | 4 | 455,5 ± 16,3 |

Mikro yapı görüntüleri elde edilip, tabaka kalınlıkları ölçülen numunelerin daha sonra sertlik ölçümleri Vickers Sertlik ölçme yöntemiyle 100 g ağırlık kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numunelerin dış yüzeyinden içeriye doğru 20, 50, 150 ve 280 µm aralıklarla alınan sertlik değerleri Çizelge 4'te yer almaktadır.

Çizelge 4. DIN 1.2842 malzemede oluşan borür tabakalarının ortalama sertlikleri

| DIN 1.2842 / HV _{0,1} | 20µm | 50µm | 150µm | 280µm |
|--------------------------------|--------|------|-------|-------|
| 850 °C | 1 saat | 1819 | 1666 | 209 |
| | 4 saat | 2107 | 1821 | 227 |
| 950 °C | 1 saat | 2416 | 1975 | 321 |
| | 4 saat | 2796 | 2102 | 1968 |
| 1050 °C | 1 saat | 2501 | 1931 | 1887 |
| | 4 saat | 2761 | 2216 | 2021 |

Borür tabakasını oluşturan fazların tespiti amacı ile XRD ölçümleri yapılmış, sonuçlar Şekil 5, 6 ve 7'de verilmiştir.

- [7] Baştürk S., Erten M., Borlama ile yüzey sertleştirme çalışmaları, Mühendis ve Makine, 47 (563), Aralık 2006.
- [8] Göy, Z., Borlama, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1984.
- [9] Sinha A. K., Boriding (Boronizing), *ASM Handbook, Vol 4, Heat treating*, Materials Park, OH:ASM International, 1991.
- [10] Maragoudakis N. E., Stergioudis G., Omar H., Pavlidou E., Tspas D.N., Boro-nitriding of steel US 37-1, *Materials Letters*, 57, 949-953, 2002.
- [11] <https://ferdionen.files.wordpress.com/2012/12/bor-celikleri.pdf>, 2016.
- [12] Shao H., Zhang Q., The eutectic reaction process of the structure of boriding layer on steel, *Trans. Met. Heat. Treat.*, Vol.16, Feb., China, 1983.
- [13] He X.L., Chu, Y.Y., Jonas J. J., Grain boundary segregation of boron during continuous cooling, *Acta Metall.*, 37 (1), 147-161, 1989.
- [14] Grinbers E. M., Chirkova F. V., The dislocation structure of diffusion layers of boron in iron, *Metallved. Term. Obrab. Met.*, 1, 20-23, Russian, 1989.
- [15] Reddy A. V., Investigation of aeronautical and engineering component failures, CRC Press, p.57, 2004.
- [16] Caruta B. M., Thin films and coatings: new research, p.155, 2005.
- [17] Jain V., Sundararajan G., Influence of the pack thickness of the boronizing mixture on the boriding on the steel, *Surface & Coatings Technology*, pp.21-26, 2002.
- [18] Topuz P., Akar O., Çiçek B., Kinetic investigation of AISI 304 stainless steel boronized in indirect heated fluidized bed furnace, *Int. Journal of Mining and Metallurgy-Sect. B Metallurgy*, 52(1) B, 63-68, 2016.