

SADE KARBONLU BİR ÇELİĞİN BORLAMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

^aKamil DELİKANLI, ^bAdnan ÇALIK ve ^cH. Ali UZUN

^aS.D.Ü.MMF.Makine Müh.Bl. ISPARTA delikan@mmf.sdu.edu.tr

^bS.D.Ü.TEF.Makine Eğitimi Bl. ISPARTA Tel: 0246 2111363 acalik@tef.sdu.edu.tr

^cEti Holding Emet Tesisleri KÜTAHYA

ÖZET

Bu çalışmada, alaşımsız ve düşük karbonlu asil çelik firmasından temin edilen Ç1050 çeliğinin yüzeyine bor emdirilmiş ve malzeme yüzeyinin kimyasal bileşimi değiştirilerek borlama ısıl işlemi yapılmıştır. Bu yöntemin avantajları; diğer yüzey sertleştirme yöntemleriyle elde edilemeyen yüksek sertlik, yüksek aşınma direnci, düşük sürtünme katsayısı, yüksek korozyon direnci gibi özellikler elde edilebilmektedir.

Borlama ısıl işlem deneyleri, 1200 °C sıcaklık kapasiteli ± 5 °C hassasiyetli mikro işlemci kontrollü, elektrik rezistanslı, dijital göstergeli ve 200x250x200 mm kapasiteli kül fırınında yapılmıştır. Hazırlanan dikdörtgen prizma şeklindeki (20x20x30mm) çelik numunelere % 80 susuz boraks (tinkal) ile %20 ferro silisyum tozunun karışımı bulunan ortamda 950 °C de 3 saat bekletip havada soğutarak borlama işlemi uygulanmıştır. İşlemler, çelik borulardan hazırlanan potalarda yapılmış ve katı borlama yöntemi kullanılmıştır. SEM ve EDS analizleri yapılarak elde edilen borür tabakasının morfolojisi, tabaka kalınlığı ve sertlikleri incelenmiş, deney sonuçları tartışılarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sade karbonlu çelik, Borlama, Yüzey sertleştirme

EXAMINATION OF BORONIZING PROPERTIES

OF THE PLAIN CARBON STEEL

ABSTRACT

In this study, unalloy and low carbon SAE 1050 that provided from Asil Çelik firm was boron succed and boronizing heat treatment applied to materials to change its surface chemical compount. The avantages of this method thats couldn't be obtained from other surface hardening processes are high hardness, high wear resistance, low friction coefficient and high rust resistance etc.

Boronizing heat treatment experiments have been done, useying ashes furnace which dimentionis are 200x250x200 mm and the capacity of 1200 °C temperature with ± 5 °C sensitivity of micro operation controller and electrical resistance, dijital indicator.

Prepared rectangular prizm shaped (20x20x30mm) steel samples were applied at 950 °C, 3 h in the 80 % waterless borax and 20 % ferro silisium mixtured environments. The processes were made in the steel crucible and solid boronizing process was used. The morfology of boride layer that obtained from SEM and EDS analizes, boride layer thickness and microhardness, were examined and the experiment results were discussed.

Keywords : Plain carbon steel, Boronizing, Surface hardening .

1. GİRİŞ

Bor, yerkabuğunun 51. yaygın elementi olup, doğada serbest halde bulunmayan daima bileşik halinde bulunan, kimyasal sembolü "B" olup periyodik cetvelin III A grubunun metal olmayan tek elementidir. Boratlar, önemli ölçüde boroksit (B_2O_3) içeren borik asitlerin tuzları veya esterleri olarak tanımlanır ve endüstri tarafından borik asit sağlayan bileşikler olarak bilinir (Ediz & Özdağ, 2001).

Bor, karbon ve silisyum elementlerine benzerliği en fazla ve oksijene karşı afinitesi en yüksek olan elementtir. Bor, çok sayıdaki minerallerle bileşik halinde bulunur. Bor mineralleri

genellikle bor oksitleri içerirler ancak ticari anlamda bunlardan en çok üç tanesi dünya da önemli sayılmaktadır, bunlar; boraks (tinkal), kolemanit ve üleksit'tir (Roskill, 1995).

Metalik malzemeler üzerine bor kaplama işlemi ve bor bileşiklerinin kullanımı, insanlık tarihinin en eski teknolojilerinden günümüze kadar kullanıla gelmiştir. Günümüzde bu kullanım sahaları çok daha fazla genişlemektedir, özellikle 400'den fazla endüstriyel alanlarda uygulama alanı bilinmektedir (Çalık, 2002).

Babililer, 4000 yıl kadar önceleri Altını (Au) işlemek için ve kaynak işlemlerinde boraks minerali olduğu düşünülen kristalleri kullanmışlardır. Daha sonraları bor bileşiklerini temizleyici madde, yağlayıcı, korozyon önleyici ve cüruf yapıcı madde olarak kullanmışlardır (Özsoy, 1991).

Ülkemiz bor madeni bakımından dünya rezervlerinin yaklaşık %72'si gibi önemli bir orana sahip olmakla birlikte dünya borat üretiminin ancak %18 ini gerçekleştirebilmektedir. Gelişmiş ülkeler bu boratlardan saf borun yanında, bortrioksit (B_2O_3), borkarbür (B_4C) bornitrür (BN), diboran (B_2H_6) ve ferrobör (FeB) gibi rafine bileşikler üreterek çok çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılmaktadırlar (Özsoy, 2001).

Metal ve/veya alaşımlarının yüzeylerine bor elementinin yayındırıldığı ve borlama işlemi olarak isimlendirilen yöntem, ilk kez 1895 yılında Moisson tarafından Rusya'da uygulanmıştır (Matuschka, 1981).

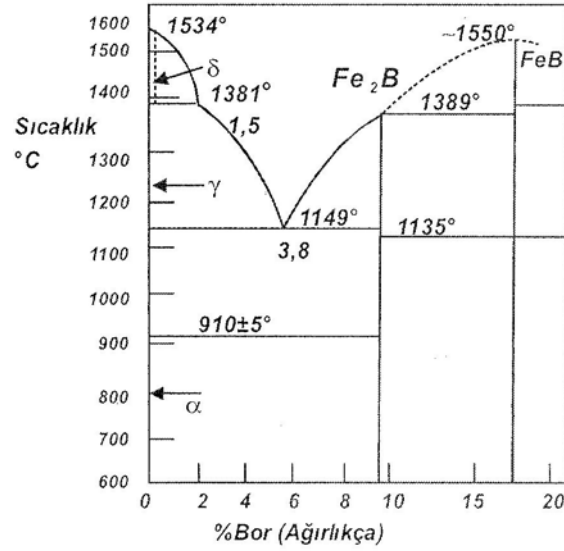
Bor ve bileşikleri özellikle çelik sanayinde üç önemli kullanım alanı bulmuştur. Bunlar; 1. Çelik üretiminde cüruf yapıcı, 2. Çeliklerde alaşım elementi olarak, 3. Çeliklerde yüzey kaplama ve sertleştirme ısıl işlemleri olarak kullanılmaktadır (Taşçı, 1993).

Bor ile yüzey sertleştirmenin diğer yüzey sertleştirme yöntemlerinden üstünlüğü; yüzey tabakasının çok sert, sürtünme katsayısının ise çok düşük olmasının yanı sıra, asit ve bazlarının oluşturacakları korozyona ve yüksek sıcaklık korozyonuna direnç göstermesidir. Ayrıca borlama işleminin alaşımsız çeliklere uygulanabilmesi ekonomik açıdan bir üstünlük teşkil etmektedir (Bozkurt, 1984).

Borun atom çapı demirden %25 daha küçük olduğundan bu elementte katı eriyik yapar (Mal & Tarkan, 1973).

Demirde bor erirliği sıcaklığa bağlı olarak ferrit fazında 20-80 ppm, ostenit fazında ise 55-260 ppm kadardır. Bor ostanitte ara yer katı eriyiği, α demirde ise yer alan katı eriyik yapar (Kaecun & Pickering, 1977).

Demir-bor denge diyagramında ağırlıkça % 8.83 bor oranında Fe_2B , yine ağırlıkça % 16.23 bor oranında FeB arabileşikleri meydana gelmektedir. Ağırlıkça % 3.8 bor oranında ergime sıcaklığı $1149^\circ C$ olan ötektik faz oluşmaktadır (Şekil 1). Dolayısıyla borlanmış yüzey bu sıcaklığa kadar ısıdan etkilenmektedir (Atik, 2001). Şekil 1'de demir-bor denge diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 1. Demir-bor denge diyagramı (Atik, 2001)

2. BORLAMA

Demir ve demir dışı birçok alaşım ile sinterkarbür ve seramik malzemelere uygulanabilen termokimyasal bir yüzey sertleştirme ısıl işlemidir. Borlanacak malzemeler, özelliklerine göre 700–1000 °C sıcaklık aralığında, yaklaşık 1-12 saat süre ile katı, macun (pasta), sıvı veya gaz

fazındaki bor verici ortamlarda bekletmek suretiyle yapılan bir işlemdir (Çalık & Özsoy, 2002).

Demirli malzemelerin borlanması da, malzeme yüzeyinde FeB ve Fe₂B ile bu bileşiklerin karışımından oluşan tek veya çift fazlı borür tabakaları elde edilir. Alaşımli çeliklerde ve diğer malzemelerde kendi alaşım elementlerinin borürleri oluşur. Tablo 1’de çeşitli malzemelerde borlama ile elde edilen borürler ve mikrosertlik değerleri verilmiştir (Sinha, 1991). Özellikle demir ve çelik türü malzemelerde, borlama işlemi sonucunda ana yapının dışında borür tabakası ve geçiş bölgesinden oluşan iki farklı yapı ortaya çıkmaktadır.

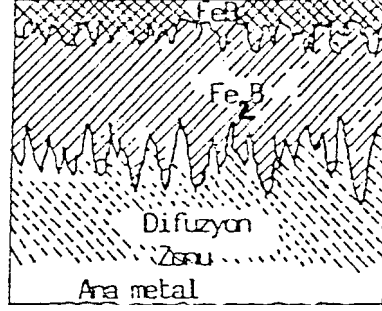
Borlanan alt yüzey	Borür tabakasındaki fazlar	Borür tabakasının sertliği (HV)
Fe	FeB Fe ₂ B	1900-2100 1800-2000
Co	CoB Co ₂ B Co ₃ B	1850 1500-1600 700-800
Ni	Ni ₄ B ₃ Ni ₂ B Ni ₃ B	1600 1500 900
Mo	Mo ₂ B MoB ₂ Mo ₂ B ₅	1660 2330 2400-2700
W	W ₂ B	2600
Ti	TiB TiB ₂	2500 3370
Nb	NbB ₂ NbB ₄	2200 -
Ta	Ta ₂ B TaB ₂	- 2500
Hf	HfB ₂	2900
Zr	ZrB ₂	2250
Re	ReB	2700-2900

Tablo 1. Çeşitli metallerde elde edilen borür fazları ve mikro sertlikleri (Sinha, 1991).

2.1. Borür Tabakası

Bu tabaka malzemenin en dış yüzeyi ile yüzeyin altındaki parmaklı (dişli) kısım arasına verilen addır. Bu bölgeye difüzyon bölgesi de denmektedir. Bu tabaka borlayıcı ortamdan sağlanan aktif bor, FeB veya Fe₂B oluşumu için, esas malzeme tarafından tüketilen miktardan

daha fazla olduğu işlem şartlarında sadece FeB veya Fe₂B oluşmaz aynı zamanda Fe₂B'a göre borca daha zengin olan reaksiyon ürünleri de meydana gelebilir. Borür tabakasının kalınlığı malzemenin kimyasal bileşiminin yanı sıra işlem sıcaklığı, işlem yöntemi ve süresine bağlıdır(Qian & Stone, 1995). Şekil 2' de bor tabakası, geçiş bölgesi ve ana yapının şematik resmi verilmiştir.



Şekil 2. Bor tabakası, geçiş bölgesi ve ana yapının şematik resmi (Taşçı, 1993).

Genellikle, bor tabakasında testere dişi şeklinde tek bir Fe₂B fazının oluşumu istenir. FeB ve Fe₂B çift fazlı tabakanın oluşmasından daha fazla arzu edilir, çünkü FeB fazı borca zengindir. Bu faz yaklaşık ağırlıkça % 16.23 oranında bor içerir. Bu istenmez çünkü FeB fazı diğer demir bor fazlarından daha gevrekler. Fe₂B fazı ağırlıkça % 8.93 bor içerir. FeB ve Fe₂B fazları çok farklı ısıl genleşme katsayılarına sahiptir. α FeB fazının ısıl genleşme katsayısının $23 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ iken, α Fe₂B fazınıninki ise $7.85 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ dir. Borür tabakasında, çatlak oluşumu ve kabuk gibi kalkma ve yırtılmalar çift fazlı tabakalarda ve FeB fazında çok sık oluşur. Bu çatlaklara bir mekanik yük uygulandığı zaman pul pul ve yaprak yaprak dökülmelere yol açmaktadır (Vipin & Jain & Sundarara, 2002).

FeB ve Fe₂B fazları birbirlerine çekme ve basma gerilmeleri uygulamakta ve fazlar arasında yüzeye paralel ve dik çatlaklar oluşturmaktadır. Dolayısıyla borür tabakasında mümkün olduğunca çok az oranda FeB fazının oluşturulmasına çalışılmalıdır. Borür tabakasının kalınlığı, kaplanan malzemenin kimyasal bileşiminin yanı sıra işlem sıcaklığı, süresi ve yöntemine bağlıdır (Oian & Stone, 1995 ile Yıldırım & Başpınar & Taktak & Emrulloğlu, 2000).

2.2. Geçiş Bölgesi

Bu bölge, borür tabakası ile ana yapı (matris) arasında kalan bölgeye verilen addır. Borlama işlemi esnasında, çelik bileşiminde bulunan elementler bu bölgede yeniden dağılarak şekillenirler. FeB ve Fe₂B tabakalarının karbon, silis gibi elementleri çözündürememesi nedeniyle bu elementler yüzeyden içeri doğru itilir. Bu bölgede bulunan bor, borür oluşturamayacak miktardadır. Bunun neticesiyle de bu geçiş bölgesinin meydana geldiği bilinmektedir. Geçiş bölgesi, mikroyapı bakımından esas malzeme ve borür tabakasından farklıdır. Bu bölgenin kalınlığı, borür tabakasının kalınlığının 10-15 katı kadardır (Bozkurt & Geçkinli, 1983). Bor tane irileşmesine sebep olduğundan geçiş bölgesinde malzemenin taneleri irileşmekte ve sertliği de artmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada makine, otomotiv ve imalat sanayiinin yanı sıra özellikle cer kancaları, dişliler, kazıcılar, transmisyon milleri, raylar ile kazma ve kürek yapımında çok kullanılan Ç1050 çeliğine, yüzeyin kimyasal bileşimini değiştirerek yapılan borlama işlemi ile sertleştirilmesi ve oluşan borür tabakalarının özellikleri ile morfolojisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Deney numunesi 20x20x30 mm dikdörtgenler prizması şeklinde frezede hazırlanarak borlama işlemine hazır hale getirilmiştir. Deneyleerde kullanılan numunelerin kimyasal bileşimleri Tablo 2’de verilmiştir.

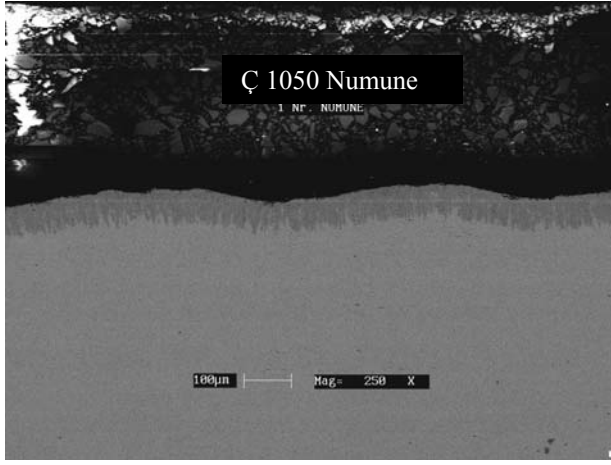
Tablo 2. Deney malzemesinin kimyasal kompozisyonu (Ağırlık%)

Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Fe
Ç1050	0.45	0.21	0.67	0.041	0.047	Kalan

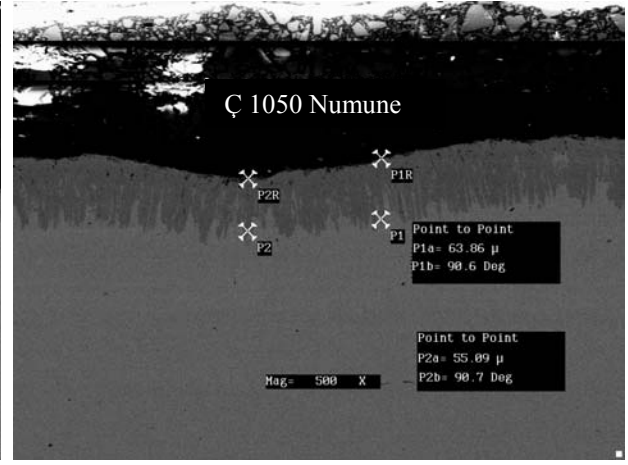
Deneyleerde, şimdiye kadar bilimsel çalışmalarda ithal edilerek kullanılan Ekabor tozu yerine, bor kaynağı olarak, Türkiye de hammaddesi ve rafinesi bol miktarda bulunan susuz boraks (tinkal) ve ferrosilisyum tozu kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar neticesinde Ekabor tozu ile aynı sonuçlara ulaşılmıştır. Böylece borlamada kendi bor kaynaklarımızı kullanılabileceğimiz görülmüştür. Borlama işlemi kutu borlama tekniği ile katı ortamda, öğütülerek karıştırılan hacimce % 80 susuz boraks ile % 20 ferrosilisyum ihtiva eden karışım çelik pota içinde

yapılmıştır. Borlama işlemi 1200°C sıcaklık kapasitesi ± 5 °C hassasiyetli mikro işlemci kontrollü elektrik rezistanslı, dijital göstergeli ve 200x150x250 mm kapasiteli tav fırınında gerçekleştirilmiştir.

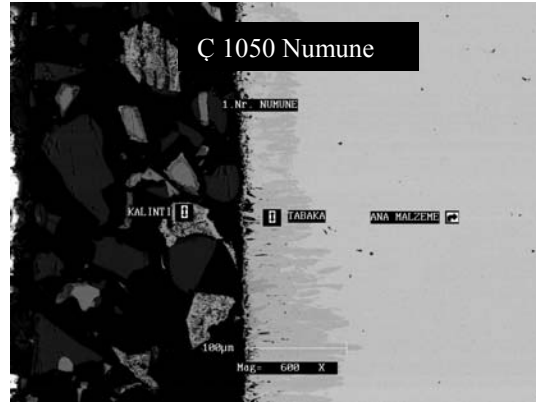
Borlama deneyleri 950 °C de 3 saat bekleme ve havada soğutma yapılmış, numunelerin potadan çıkarılması zor olmuştur. Ekabor ile karşılaştırıldığında tek olumsuz durum bu olmuştur. Deney numunelerinin yüzeylerine bor cürüfları çok az yapışmıştır. Bunlar elle ve zımpara ile bor tabakasına zarar vermeyecek şekilde temizlenerek, metalografik ve mikro sertlik deneyleri için hassas kesme ile kesilmiş ve çeşitli zımpara kademelerinden geçirilerek 3 mikronluk elmas pasta ile çuhada parlatılmıştır. Yüzeyleri parlatılan numunelerin borür tabakalarını net görebilmek ve ölçebilmek için dağlanmadan SEM (Scanning Electron Microscopy - LEO 440) ve optik mikroskop ile fotoğrafları çekilmiş ve oluşan tabaka kalınlıklarının maksimum ve minimum değerleri ölçülmüştür. Şekil 3 (a, b ve c)'de SEM fotoğrafları ile şekil 4 (a, b, c ve d)'de optik mikroskop fotoğrafları gösterilmektedir. Borür tabakasının, geçiş bölgesinin ve ana yapının mikro sertlik değerleri de Micromet 2100 cihazı ile 100 gram yük altında ölçülmüştür. Tablo 3' de gösterilmektedir.



a

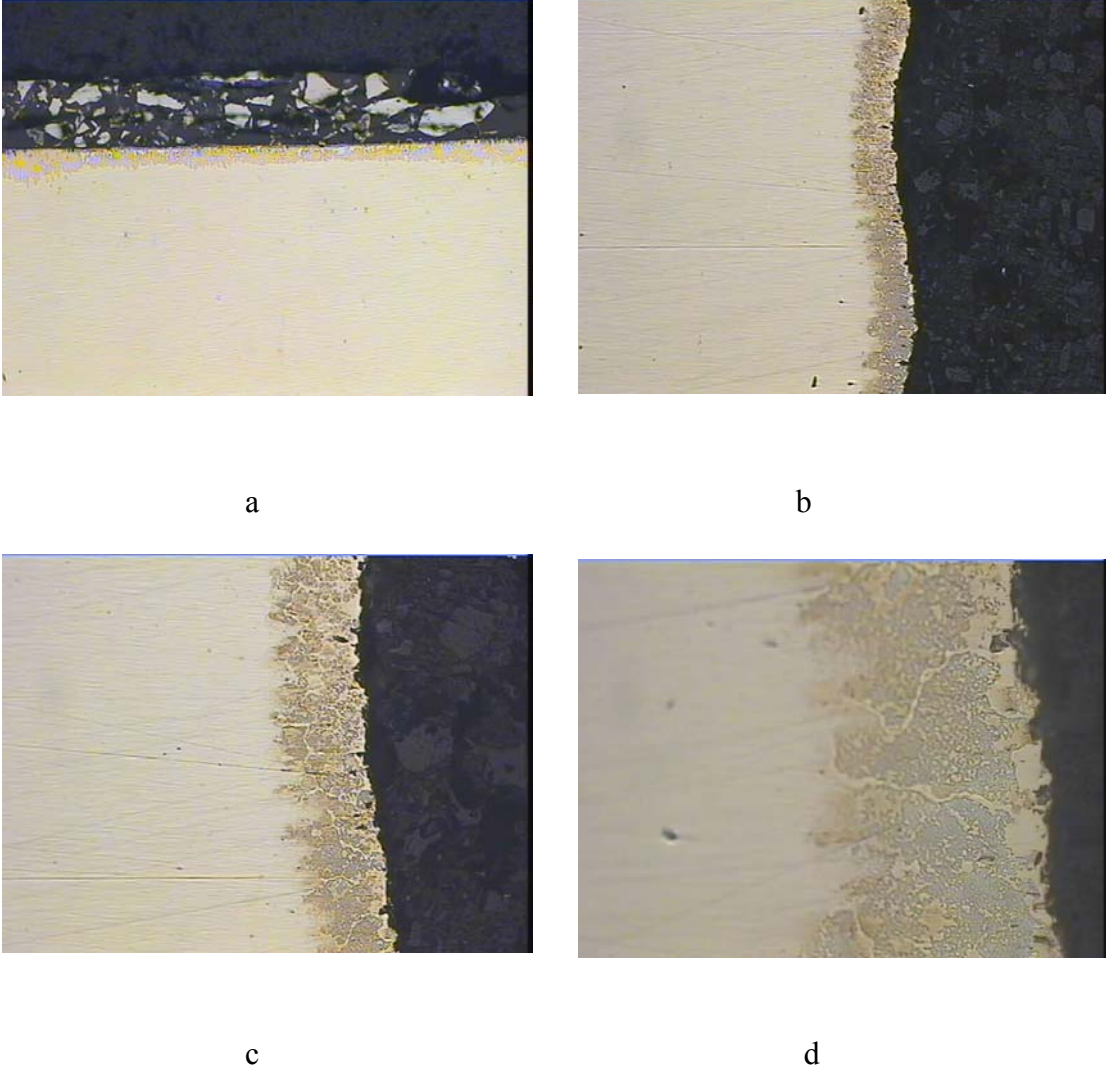


b



c

Şekil 3. (a, b, c) Numunelerin SEM fotoğrafları



Şekil 4. (a, b, c, d) Numunelerin 50, 100, 200 ve 500 büyütmelelerdeki optik mikroskop resimleri

Tablo 3. Borlanmış numunede ölçülen mikro sertlik değerleri

Mikro Sertlik	Bor Tabakası	Geçiş bölgesi	Ana Yapı
HV 0.1 kg	1290 - 946	334 - 300	266 - 260

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

1. Tespit edilen deneysel sonuçlar literatür çalışmalarıyla uyumludur.
2. Borür tabakalarının sertliklerinin yüzeyden parmaklı uçlara doğru olan kısımlarında sertliğin azaldığı bundan dolayı da borür tabakasının en dış yüzeyinde FeB fazı, parmaklı bölgelerin ise Fe₂B fazından oluştuğu söylenebilir.
3. Mekanik testler sonucunda sertlik değerinin matris sertlik değerinden oldukça fazla olduğu ve mikro sertlik değerinin arttığı belirlenmiştir.
4. Deneysel borlama için denenen karışım, Ekabor tozu ile yapılan deneylerle hemen hemen aynı sonuçlar alınmıştır.
5. Katı ortam borlaması için farklı karışımlar ve bileşikler denenerek borlama süresi ve sıcaklığı düşürülebilir.
6. Bor'u kaplama ve sertleştirme işlemlerinde daha etkin ve daha çok kullanımını sağlamak için akademik çalışmaların endüstriyel uygulamalara yönlendirilerek desteklenmelidir.

5. KAYNAKLAR

- Ediz N., Özdağ H., 2001. "Bor Mineralleri ve Ekonomisi" DPÜ, FBE. Dergisi, Kütahya.
- Bozkır S.M., 1995. "Bor Ekonomisi" Roskill Information Servis Ltd. 2 Clampham Road London SW9 Oja. England. Sayfa 145.
- Çalık A., 2002. "Türkiye'nin Bor Madenleri ve Özellikleri" Makine ve Mühendis Dergisi, Sayı 508.
- Özsoy, A., 1991. "Çeliğin Borlanması ve Borür Tabakası, Geçiş Zonu ve Anamatriksin Özelliklerinin İyileştirilmesi" Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Özsoy, A., 2001. "Borlama ile İlgili Genel Bir Değerlendirme" Endüstriyel Yüzey Teknolojileri Dergisi, Sayı, 22, s.10-13, İstanbul.
- Matuschka, A.G.V. , 1980. "Boronizing" München, Wien: Hanser 100 s.
- Taşçı A., 1993. "Borlanmış çeliklerin Aşınma ve Korozyon Dayanımları", Y.Lisans. Tezi- İTÜ. İstanbul.
- Bozkurt N., 1984. "Bor yayınımla çeliklerde yüzey sertleştirme" Doktora tezi İTÜ İstanbul.
- Mal K.K., Tarkan S.E., 1973. "Diffused Boron Ups Hardness Wear Resistance of Metals" Materials Engineering 77, pp. 70-71.

- Keown S.R., Pickering F.B., 1997. "Some aspects of the occurrence of Gooran in Alay sheels
"Metal science 26,7,. H 225-234.
- Atik, E., 2001. "Farklı bir yüzey sertleştirme yöntemi: Borlama", Makina Metal Dergisi,
sayı:1.
- Çalık A., Özsoy A., 2002. "Termal Çevirimli Borlama İşleminin Ç1010 Çeliğine Etkileri" 11.
Uluslararası Malzeme Sempozyumu, İstanbul.
- Sinha, A.K., 1991. "Boriding (Boronizing)" American Society for Metals Handbook, V, 4
Heat Treating, Park Ohio.
- Oian L.L., Stone G.A., 1995. "Study of the behavior of borun diffusion in plain corbon steeks
Journal of Materials Performance V,4, N,1 Park Ohio.
- Jain V., Sandararayan G. 2002. "Influence of the pack thickness of the boranizing mixture on
the boriding of steels" Surface and Coating Technology 149 H. 21-26.
- Yıldırım E., Başpınar M.S., Taktak Ş. ve Emrullahoğlu Ö.F., 2000. "Termokimyasal yöntem
ile A1S1 1045 çelik yüzeyinin borlanması" AKÜ.FBE. Dergisi Sayı 2(1) Sayf. 21-28.
- Bozkurt, N., Geçkinli, E., Geçkinli, M., 1983. "Aturadiagraphic Study on Boronized Steel"
Materials Science and Engineering , V, 57, pp, 181-186.