

BORLANAN AISI 1040 VE AISI P20 KALIP ÇELİKLERİNİN BAZI MEKANİK ÖZELLİKLERİ

İlker USLU, Hüseyin CÖMERT

Özet - Borlama sert tabakalar üretmek için iş parçasının yüzeyine bor atomlarının difüzyonunu içine alan termokimyasal bir işlemdir. Mükemmel aşınma özellikleri ve 600-700 °C'ye kadar sıcaklıklarda iyi mukavemetinden dolayı ilgi çekicidir. Bor elementinin çeliğe yayılımı ile demir borür fazları FeB, Fe₂B oluşur.

Bu çalışmada borlama katı ortamda ticari Ekabor toz karışımı kullanılarak yapılmıştır. Borlanmış AISI 1040 ve AISI P20 çeliklerinin bazı mekanik özellikleri araştırılmıştır. Borlama işlemi 800, 875, 950 °C'de 2, 4, 6, 8 saat sürelerde yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler – Borlama, difüzyon, borürler, çelikler.

Abstract – Boronizing is a thermochemical diffusion process in which boron atoms diffuse into the surface of the workpiece to produce hard boride layers. Due to its excellent wear properties and a good resistance up to 600-700 °C, this process is interesting. The iron borides phases such as FeB, Fe₂B are produced by diffusion B atoms into the surface

In this study, boronizing was carried out in a pack media, commercially known as Ekabor powder. Some mechanical properties of the borided AISI 1040 and AISI P20 steels were investigated. Boronizing was performed in pack at 800, 875, and 950 °C for 2, 4, 6, and 8 hours.

Keywords – Boronizing, diffusion, borides, steels.

İ. Uslu : SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü
H. CÖMERT: SAÜ Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği
Bölümü, Esentepe Kampüsü, 54187, Sakarya

I.GİRİŞ

Yüzey işlemleri ile malzemenin sertlik, süneklik ve yorulma gibi mekanik özellikleri, sürtünme ve aşınma gibi tribolojik özellikleri ile oksidasyon özellikleri ve korozyon özellikleri geliştirilmektedir. Yüzey işlemleri çoğunlukla demir esaslı malzemeler üzerine uygulanmaktadır. Bu işlemleri kaplama ve dönüşüm işlemleri olarak ikiye ayırabiliriz. Kaplama metal yüzeyine bir element veya bileşiğin biriktirilerek bir tabaka oluşturması işlemi kapsamaktadır. Yüzey dönüşüm işlemlerinde ise, yüzeyin iç yapısı ve bileşiminin değişmesi söz konusudur[1,2]. Bu işlemlerin en önemli avantajı, ucuz bir altlık malzeme yüzeyine yapılacak işlemlerle yüzey ortam etkileşmesine dayanan optik, manyetik, elektrik, termal, kimyasal, korozyon, oksidasyon ve tribolojik gibi mühendislik özelliklerinin istenilen şekilde değiştirilebilmesidir. Bir termokimyasal yüzey sertleştirme yöntemi olan borlamada, bor atomları metal yüzeyine termokimyasal olarak yayılarak sert bor tabakası oluştururlar. Bu yöntem yaklaşık 800-1100 °C sıcaklıkta, değişik ortamlarda alaşımsız ve alaşımlı çeliklere, dökme demirlere, demir dışı metal ve alaşımlarına uygulanabilmektedir[1,3]. Borlama işleminin ostenit fazında gerçekleşmesi sebebiyle havada sertleşen çelikler, borlama sonrasında anında sertlik kazanırlar. Suda sertleşen parçalar borür tabakasının şoka maruz kalması sebebiyle su verilmesi gerekli durumlarda borlanmazlar [2]. Bir termokimyasal işlem olan borlama, çeşitli demir alaşımlarında aşınma dayanımı ve iyi sertlik değerleri için bor seramik kaplamalar geniş bir kullanıma sahiptir [4].

Borlama işleminde bor'un yüzeye yayılması sonucu parçanın en üst yüzeyinde bileşik tabaka adı verilen borlu bölge, onun altında yer alan geçiş bölgesi ve en iç kısımda ise matris yer alır. Kaplama tabakasında üstte FeB fazı, altta Fe₂B fazı oluşmaktadır[3]. Borürler oksit olmayan seramiklerdir ve oldukça gevrek olabilirler. Oluşan bu bor tabakaları oldukça sert ve yüksek aşınma dayanımı, iyi korozyon direncine sahiptir [5,6,7]. Yüzeyde oluşan FeB yüksek iç gerilmeye sahip olduğundan, FeB fazı arzu edilmez[8]. FeB (çekme) ve Fe₂B (basma) fazları birbirlerine basma ve çekme gerilmeleri uygulamakta ve çoğu zaman bu gerilmeler sebebiyle, iki faz arasında yüzeye paralel ve dik ilerleyen çatlaklar oluşmaktadır[3,9].

II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

II. 1 Borlama İşleminin Yapılışı

Deneylerde kullanılan AISI 1040 ve AISI P20 çeliklerinin kimyasal analizleri optik emisyon spektrometresinde belirlenmiştir. Borlama işlemi için AISI 1040 çeliğinden 16 mm ve AISI P20 çeliğinden 14 mm çapında, 5 mm kalınlığında numuneler 320, 400, 600 No'lu zımpara kademelerinden geçirilip borlama işlemine hazır hale getirilmişlerdir.

Borlama işlemi katı ortamda gerçekleştirilmiştir. Bor kaynağı olarak Ekabor® 2 ve deoksidan olarak Ekrit® toz karışımları kullanılmıştır. Borlama yapılacak potalar paslanmaz çelikten 60x20 mm ebatlarında yapılmıştır. Numuneler pota içerisine yerleştirilirken, ilk önce 20 mm kalınlığında bor tozu potanın dibine yerleştirilmiştir. Onun üzerine her bir potaya üçer tane numuneler yerleştirilip, üzerine 15 mm daha bor tozu kullanılarak en üste 5 mm kalınlığında Ekrit tozu yerleştirilerek potaların kapakları kapatılarak fırınlara konulmuştur. Borlama işlemi 800, 875, 950 °C sıcaklıklarda ve her bir sıcaklık için 2, 4, 6, 8 saat sürelerde bekletilmişlerdir. Fırından çıkartılan numuneler pota içerisinde soğutulmuştur. Tablo 1'de çeliklerin kimyasal bileşimleri verilmiştir.

Tablo 1. Çeliklerin kimyasal bileşimi (% ağırlıkça)

Çelik	C	Cr	Mn	Ni	Si
AISI1040	0,38	0,142	0,702	0,143	0,224
AISI P20	0,377	1,66	1,428	1,126	0,292

II. 2 Metalografik İncelemeler

Borlanan numuneler sulu ortamda kesici disk ile ortadan ikiye kesilerek bakalite alınmışlardır. Daha sonra 320, 400, 600, 800, 1000, 1200 No'lu zımparalardan geçirilmiştir. Zımparalama işleminden sonra alümina ve elmas pasta ile nihai parlatma yapılarak %5'lik nital ile dağlanmışlardır. Dağlanan numunelerin mikroyapıları optik mikroskopta incelenmiştir.

II. 3 Tabaka Kalınlığı, Sertlik ve Kırılma Tokluğu Ölçümleri

Oluşan bor tabakası kalınlığı optik mikroskoba bağlı bir aparat ile ölçülmüştür. Numunelerin sıra sertlik değerleri mikro sertlik cihazında Vickers uç kullanılarak yapılmıştır. Burada 100 gr'lık yük kullanılıp 15 sn süre beklenmiştir. Yüzeyden 20 µm ileriden başlayarak matrise doğru sertlik değerleri ölçülmüştür. Kırılma tokluğu ölçümü için mikro sertlik cihazında 1 kg yük altında 20 sn beklenerek tabaka üzerinde çatlak

oluşturulup bu çatlağın yarı boyu ölçülüp elde edilen değerler Eşitlik 1'de yerine koyularak bulunmuştur.

$$K_c = 0,028 \left[\frac{E}{Hv} \right]^{1/2} \left[\frac{P}{c^{3/2}} \right] \quad (1)$$

E : Elastisite modülü (kg/mm²)

HV : kaplama tabakasının Vickers sertliği (kg/ mm²)

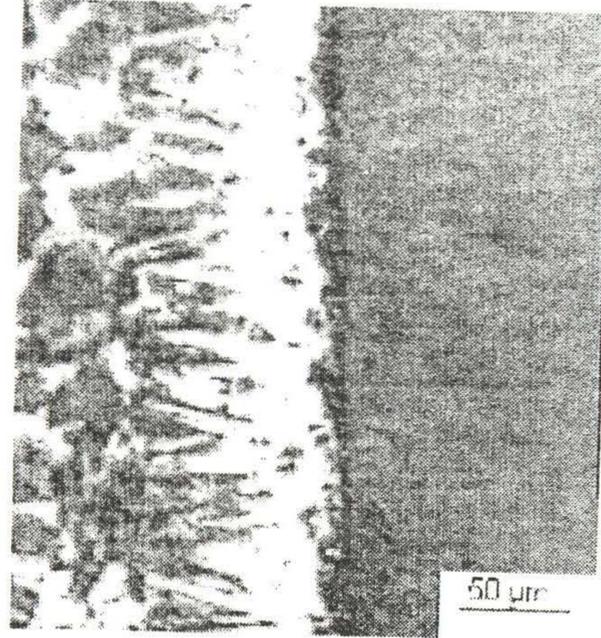
P : uygulanan yük (kg)

c : çatlak yarı boyu (m)

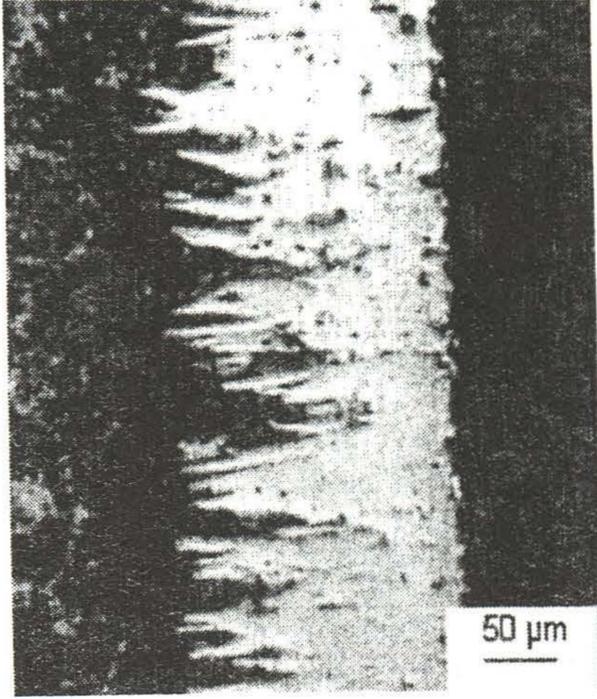
III. SONUÇLAR

III. 1 Metalografik İncelemeler

Şekil 1'de farklı sıcaklıklarda borlanmış numunelerde oluşmuş bor tabakasının mikroyapıları verilmiştir. Bor tabakasının kalınlığı borlama süresi ve sıcaklığı arttıkça arttığı gözlemlenmiştir. Düşük sıcaklıklarda (800 °C) uzun süre beklenmesi bile 950 °C'deki 2 saat süreli borlama değerinin çok altında olduğu görülmektedir.



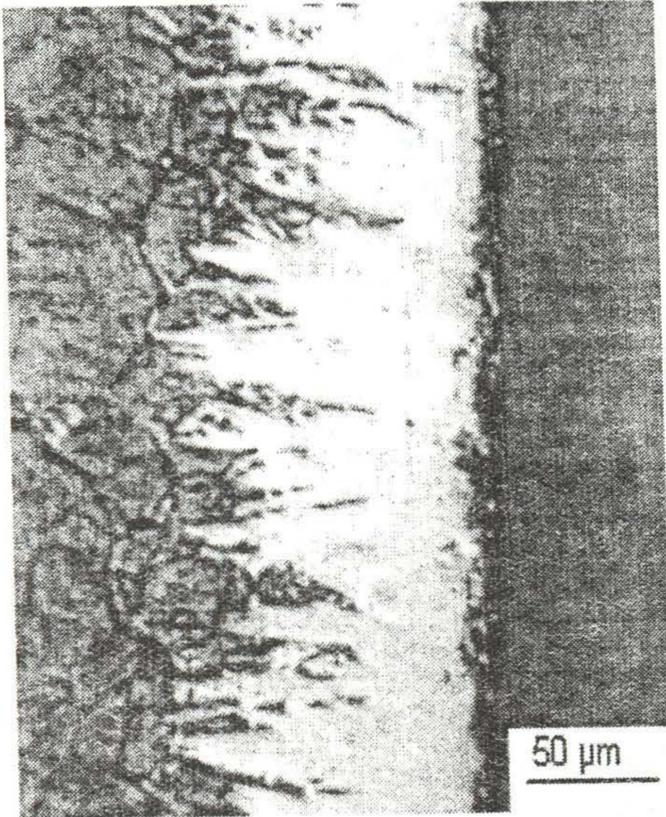
Şekil 1a. 875 °C'de 4 saat süreli borlanmış 1040 çeliğinin mikroyapısı.



Şekil 1b. 950 °C'de 8 saat süreli borlanmış 1040 çeliğinin mikroyapısı.



Şekil 1d. 950 °C'de 8 saat süreli borlanmış P20 çeliğinin mikroyapısı.

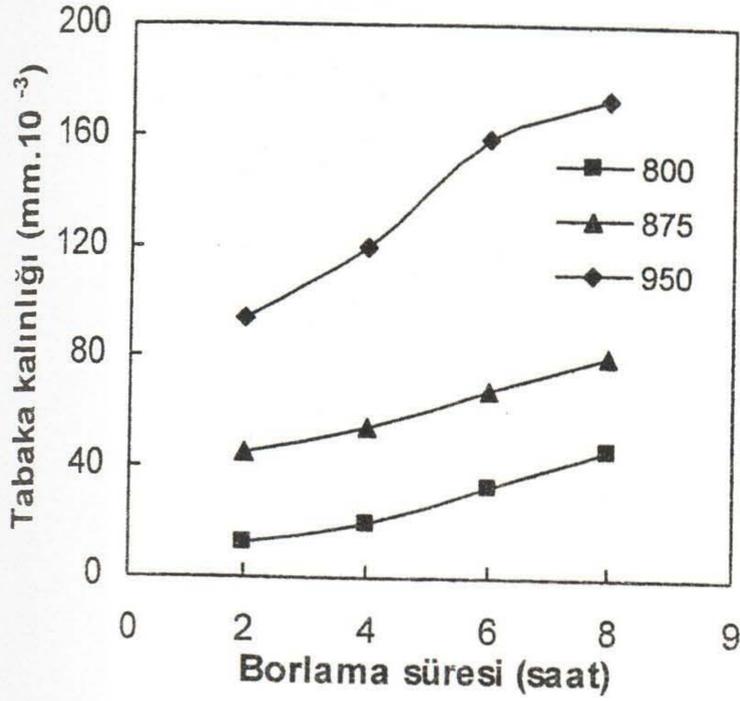


Şekil 1c. 875 °C' de 8 saat süreli borlanmış P20 çeliğinin mikroyapısı

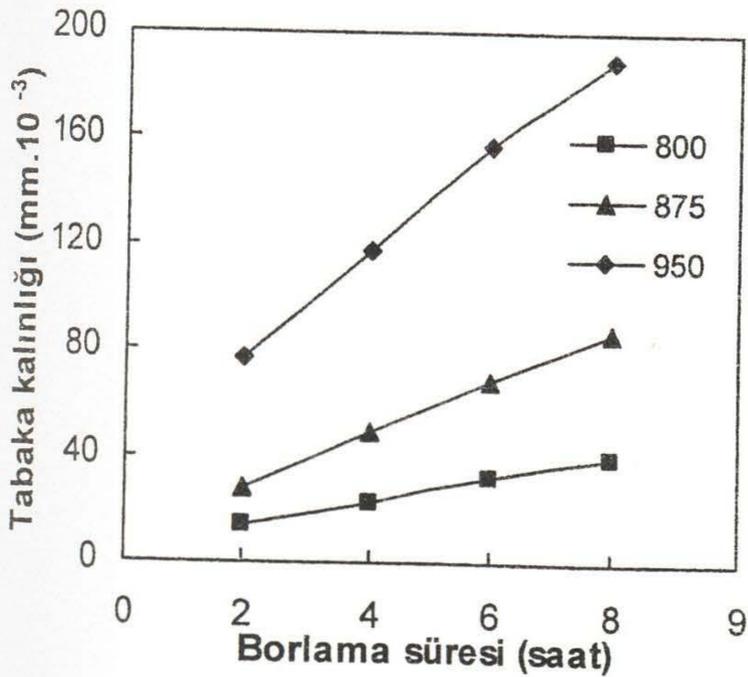
III. 2 Bor Tabakası

Tabaka kalınlıkları her iki numunede de sıcaklığın ve sürenin artması ile artış göstermiştir. Tablo 2.'de kalınlık değerleri verilmiş ve grafik halinde işlem süresinin fonksiyonu olarak Şekil 2 ve 3 de gösterilmiştir.

Tablo 2. Tabaka Kalınlığının süre ve sıcaklığa göre değişimi.



Şekil 2. Borlanan AISI 1040 çeliğinin tabaka kalınlığı dağılımı



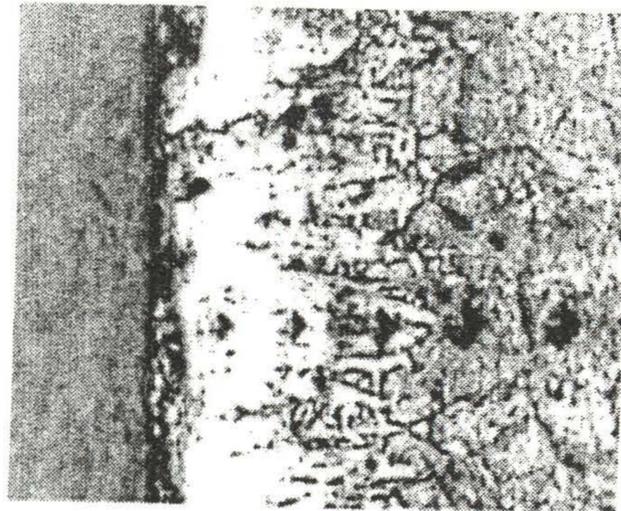
Şekil 3. Borlanan AISI P20 çeliğinin tabaka kalınlığı dağılımı

III. 3 Sertlik Sonuçları

Ölçülen sertlik değerlerinin seramik karaktere sahip borür fazlarından oluşan kaplamada en yüksek değere ulaştığı, daha sonra geçiş zonunda bir düşüşe geçerek matris sertliğine yaklaştığı görülmektedir. Sertlik değerlerindeki artış borlama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak değişmektedir. Düşük süre ve sıcaklıklarda elde edilen değerler daha az iken, sıcaklık ve süre arttıkça

AISI 1040		
Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	Kalınlık (µm)
800	2	13
800	4	21
800	6	33
800	8	47
875	2	45
875	4	55
875	6	68
875	8	83
950	2	92
950	4	119
950	6	159
950	8	178
AISI P20		
800	2	14
800	4	23
800	6	32
800	8	40
875	2	28
875	4	49
875	6	66
875	8	86
950	2	76
950	4	118
950	6	156
950	8	186

sertlik artmıştır. Çeliklerin bileşimine bağlı olarak sertlik dağılımlarının küçük değişimler dışında benzerlik gösterdiği görülmüştür. Bunun sebebinin çeliklerin bileşimindeki karbon miktarının aynı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 4'te ölçülen sertlik değerinin izleri görülmektedir. Tablo 3,4,5,6'da sertlik değerleri verilmiştir. Sertlik dağılımları yüzeyden itibaren mesafenin fonksiyonu olarak Şekil 5,6,7 ve 8'de görülmektedir.



Şekil 4. 875 °C'de borlanan P20 çeliğinde ölçülen sertlik izleri

Tablo 3. 875 °C'de borlanan AISI 1040 çeliğinin borlama süresine bağlı olarak yüzeyden itibaren sertlik değerleri

yüzeyden itibaren mesafe (μm)	Sertlik (HV)	
	Borlama süresi (saat)	
	6	8
20	1295	1436
50	894	1300
80	353	790
110	230	240
140	210	210

Tablo 6. 950 °C'de borlanan AISI P20 çeliğinin borlama süresine bağlı olarak yüzeyden itibaren sertlik değerleri

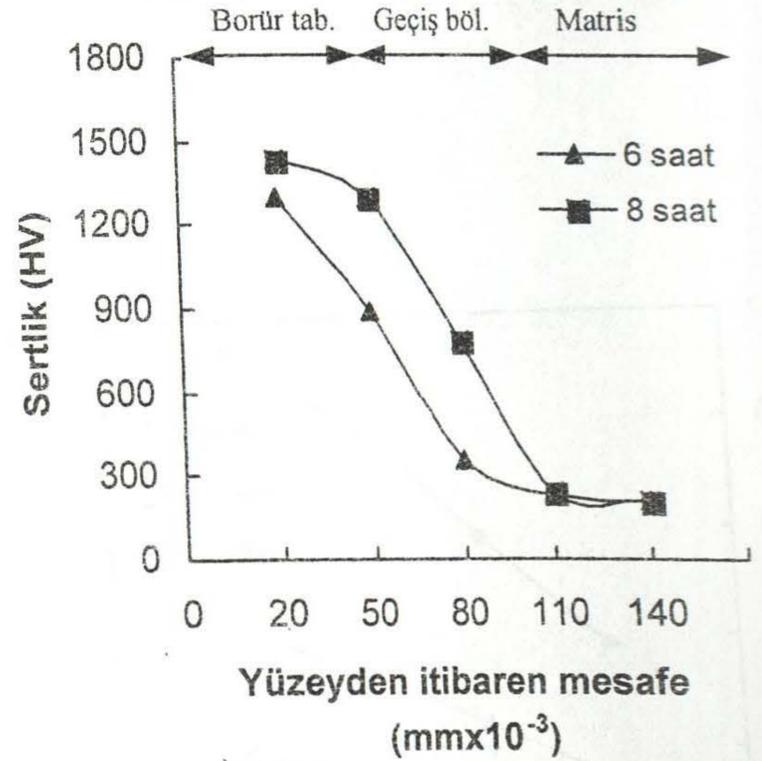
yüzeyden itibaren mesafe (μm)	Sertlik (HV)	
	Borlama süresi (saat)	
	6	8
20	1432	1650
60	1378	1620
100	1320	1452
140	724	1400
180	705	1250
220	620	680
260	580	630
300		620

Tablo 4. 950 °C'de borlanan AISI 1040 çeliğinin borlama süresine bağlı olarak yüzeyden itibaren sertlik değerleri

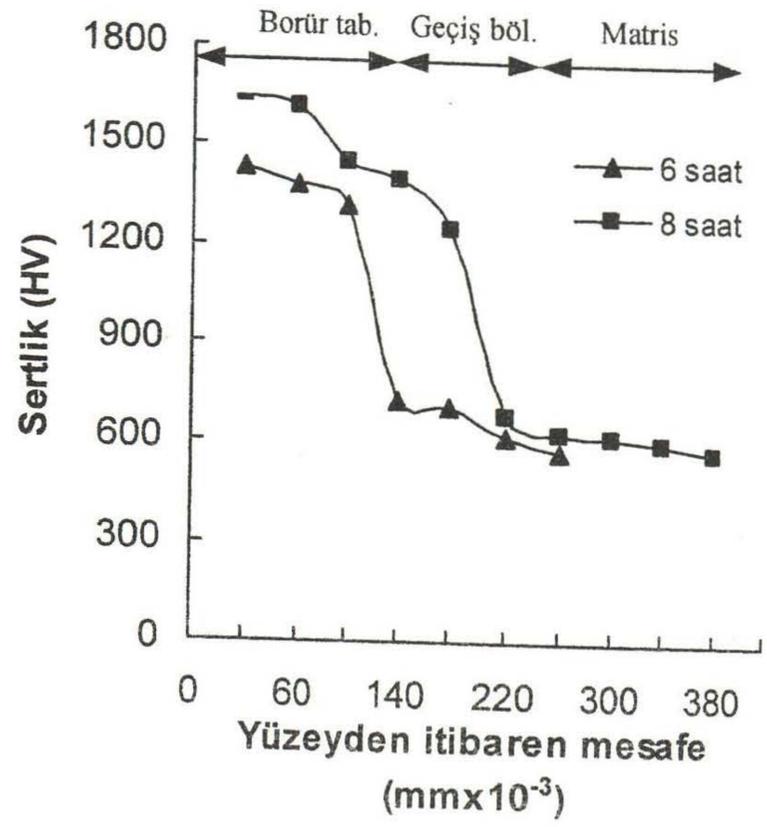
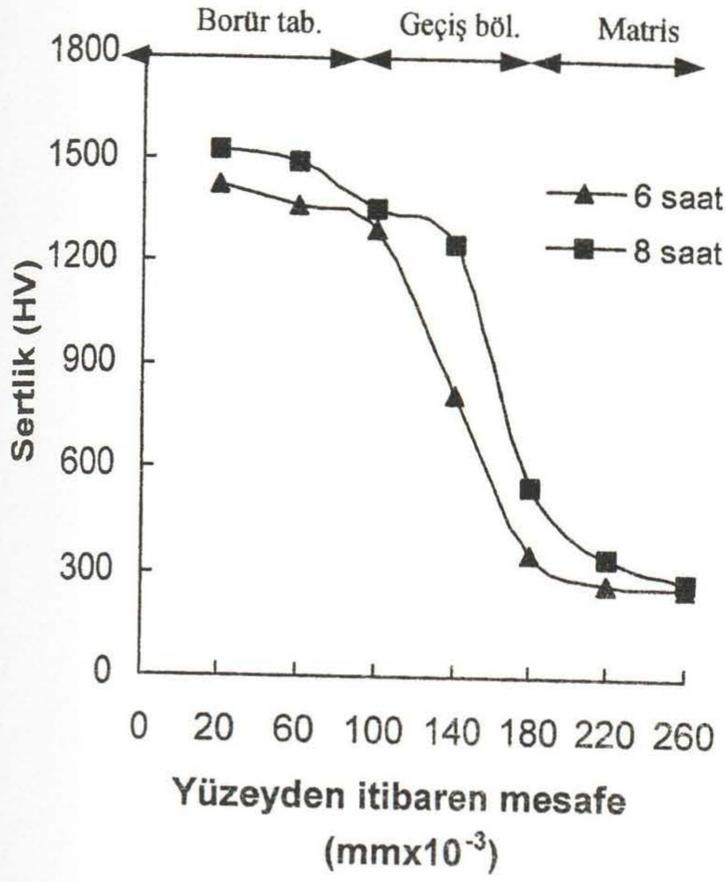
yüzeyden itibaren mesafe (μm)	Sertlik (HV)	
	Borlama süresi (saat)	
	6	8
20	1416	1520
60	1360	1490
100	1290	1350
140	810	1250
180	354	550
220	272	330
260	265	280

Tablo 5. 875 °C'de borlanan AISI P20 çeliğinin borlama süresine bağlı olarak yüzeyden itibaren sertlik değerleri

Yüzeyden itibaren mesafe (μm)	Sertlik (HV)	
	Borlama süresi (saat)	
	6	8
20	1320	1442
50	1250	1350
80	580	1246
110	550	810
140	530	664
170	510	620
200		560
230		520



Şekil 5. 875 °C de borlanan AISI 1040 çeliğinde sertlik dağılımı



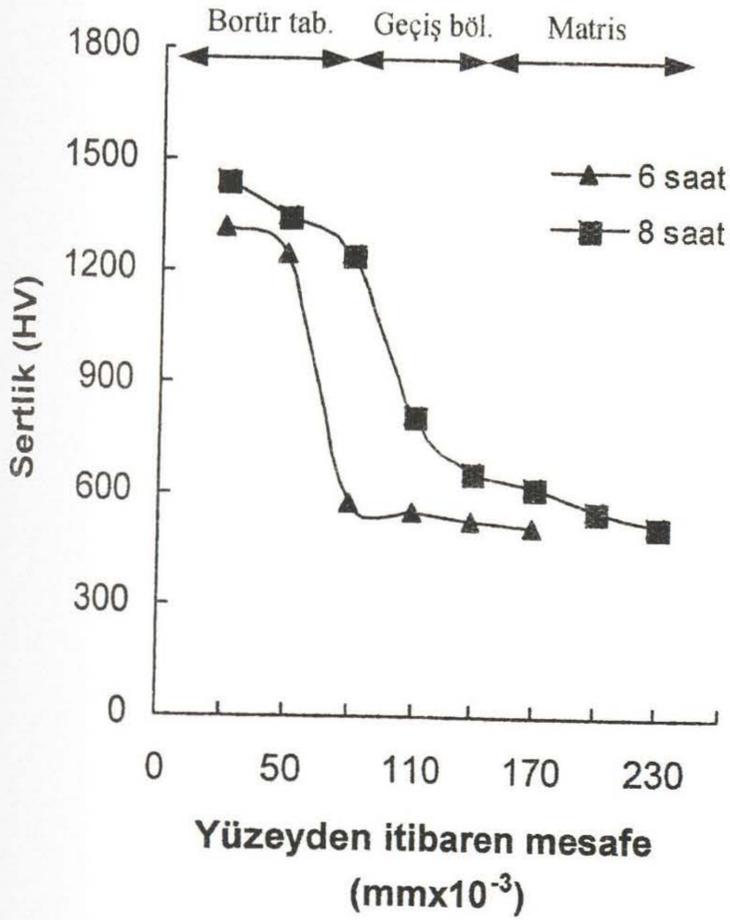
Şekil 8. 950 °C de borlanan AISIP20 çeliğinde sertlik dağılımı

III. 4 Kırılma Tokluğu Sonuçları

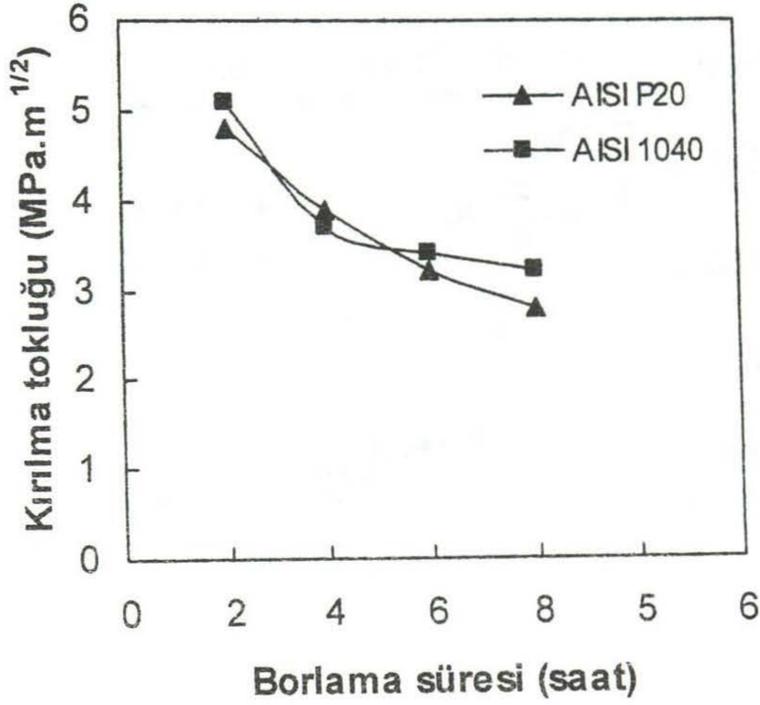
Borür tabakaları yüksek sertliklerinden dolayı kırılma tokluk değerleri, malzeme bileşimine, borlama süresi ve sıcaklığa bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Kırılma tokluğu değerleri en az üç ölçümün ortalamasıdır. Borlama süresindeki artış kırılma tokluğu değerlerinin düşmesine sebep olmuştur. Çünkü borlama süresinin artması ile daha sert ve gevrek olan FeB fazının oluşumu artmaktadır. Tablo 7'de kırılma tokluğu değerleri verilmiş ve Şekil 9'da grafik olarak gösterilmiştir.

Tablo 7. Kırılma tokluğu değerleri

Borlama sıcaklığı °C	Borlama süresi	Kırılma tokluğu MPa.m ^{1/2}
AISI 1040		
950	2	5,1
950	4	3,7
950	6	3,4
950	8	3,2
AISI P20		
950	2	4,79
950	4	3,9
950	6	3,22
950	8	2,79



Şekil 7. 875°C de borlanan AISI P20 çeliğinde sertlik dağılımı



Şekil 9. Kırılma tokluğu grafiği

IV. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma sonucu AISI 1040 ve AISI P20 çeliklerinin yüzeylerinde oluşan borürlerin kolonsal karakterde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 1.a,b,c,d).

Tabaka kalınlıklarının işlem süresi ve proses sıcaklığı ile arttığı gözlenmiştir. Özellikle 950 °C'de yapılan borlama işlemi difüzyon kurallarına daha iyi uymaktadır. Buradaki artış lineerlikten ziyade parabolik bir trende sahiptir.

Sertlik dağılımları sonucu 3 ayrı bölge gözlenmiştir ;

- Borür tabakası (FeB, Fe₂B)
- Geçiş bölgesi
- Matris ki bordan etkilenmemiştir.

Nitekim, Özbek ve Bindal (10) yaptıkları çalışmada benzer sonuçları tespit etmişlerdir.

Kırılma tokluğu sonucu işlem süresi ve sıcaklığı artarken kırılma tokluğunun azaldığı görülmüştür. Bu azalmanın yapıda oluşan sert ve gevrek FeB fazından kaynaklandığına inanılmaktadır.

V. KAYNAKLAR

- [1]. ŞEN, Ş., " Termokimyasal Borlama İşlemiyle AISI 5140, AISI 4140 Ve AISI 4340 Çeliklerinin Yüzey Performansının Geliştirilmesi." Doktora Tezi, SAÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Haziran 1998.
- [2]. KARAKAN, M., ALSARAN, A., ÇELİK, A., " Plazma Borlama ", Mühendis ve Makine Dergisi, Sayı 512. sayfa 32-36, Eylül 2001.
- [3]. ÖZBEK, İ., " Borlama Yöntemiyle AISI M50, AISI M2 Yüksek Hız Çeliklerinin Ve AISI W1 Çeliğinin Yüzey Performansının Geliştirilmesi." Doktora Tezi, SAÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Aralık 1999.

- [4]. ŞEN, Ş., ÖZBEK, İ., ŞEN, U., BİNDAL, C., " Mechanical behavior of borides formed on borided cold work tool steel " Surface & Coatings technology, 135 (2001), p. 173-177
- [5]. ŞEN, U., ŞEN, Ş., " The fracture toughness of borides formed on boronized cold work steels " Materials characterization, 50 (2003), p 261-267
- [6]. SINHA, A.K., "Boriding (Boronizing)", Heat Treating, ASM Handbook, v.4. 1997, p.437-447
- [7]. ÜÇİSİK, A. H., BİNDAL, C., " Fracture toughness of boride formed on low-alloy steels" Surface & Coatings Technology, 94-95(1997) p. 561-565
- [8]. SELÇUK, B., İPEK, M.B., "AISI 5155 Ve AISI 1020 Çeliklerinin Çekme Özelliklerine Borlamanın Etkisi." 6. Denizli Malzeme Sempozyumu Bildirileri Kitabı, sayfa 60-69, Denizli, 12-14 Nisan 1995.
- [9]. KARAMIŞ, B.M., NAİR, F., SELÇUK, B., " Borlanmış Malzemelerin Tribolojik özellikleri. ", 6. Denizli Malzeme Sempozyumu Bildiriler Kitabı, sayfa 446-454, Denizli, 12-14 Nisan 1995.
- [10]. ÖZBEK, İ ve BİNDAL, C., "Mechanical Properties of Boronized AISI W4 Steel", Surface & Coatings Technology, 154 (2002), p. 14-20