

**T.C.
HİTİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BOR KAPLAMA YAPILAN St 50-2, AISI 1045 VE C-22
ÇELİKLERİNİN SERTLİK, MİKROYAPI VE
KOROZYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Bahar AKIN GÖDEK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Gökçe MEREY**

**TEMMUZ 2017
ÇORUM**

Bahar AKIN GÖDEK tarafından hazırlanan “Bor Kaplama Yapılan St 50-2, AISI 1045 ve C-22 Çeliklerin Sertlik, Mikroyapı ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması 11/07/2017 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ayşegül Ülkü METİN

Doç. Dr. Gökçe MEREY

Yrd. Doç. Dr. İbrahim BİLİCİ

Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 03/08/2017 tarih ve 2017/149 sayılı kararı ile Bahar Akın GÖDEK’in Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Prof. Dr. Ali KILIÇARSLAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü ✓

TEZ BEYANI

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan ederim.

Bahar AKIN GÖDEK



**BOR KAPLAMA YAPILAN ST 50-2, AISI 1045 VE C-22 ÇELİKLERİNİN
SERTLİK, MİKROYAPI VE KOROZYON ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

Bahar AKIN GÖDEK

HİTİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEMMUZ 2017

ÖZET

Bu çalışmada St 50-2, C-22 ve AISI 1045 çeliklerinin katı (kutu) bor kaplama yöntemi ile kaplandıktan sonra sertlikleri, faz analizleri ve mikro yapıları incelenmiştir. 2, 4 ve 6 saat süreyle ve 860°C, 900°C ve 940°C sıcaklıklarda katı (kutu) bor kaplama yöntemiyle kaplanan St 50-2, C-22 ve AISI 1045 çeliklerinin yüzeyinde difüzlener bor tabakasının faz yapısı X-Ray Difraksiyon cihazıyla tespit edilmiştir ve 860°C, 900°C ve 940°C sıcaklıklarda bor kaplanan bu çeliklerin Vickers Sertlik Test cihazı ile sertlikleri incelenmiştir. 4 ve 6 saat süreyle 860°C, 900°C ve 940°C sıcaklıkta borlanan çeliklerin SEM analizi ile sıcaklık ve süre parametresi ile mikro yapısının değişimi ve bor tabakası kalınlıklarının değişimi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bor kaplama, Vickers sertlik testi, X-Ray difraksiyon analizi, SEM, Mikroyapı, Korozyon

**INVESTIGATION OF HARDNESS, MICROSTRUCTRE AND CORROSION
PROPERTIES OF BORON COATED St 50-2, AISI 1045 VE C-22 STEELS**

Bahar AKIN GÖDEK

HITIT UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

JULY 2017

ABSTRACT

In this study, strengths, phase analyses and microstructures of St 50-2, C-22 and AISI 1045 steels were investigated after being coated with solid (box) boron coating. The phase structures of the boron layer diffused on the surface of the St50-2, C-22 and AISI 1045 steels coated by the solid (box) boron coating were detected by X-ray diffraction instrument. Hardnesses of boron coated steels were obtained after 2, 4, and 6 hours at 860°C, 900°C and 940°C with Vickers Hardness Tester. SEM analysis of the boron steels was carried out to investigate the variation of microstructure and boron layer thicknesses by temperature and time parameters after 4 and 6 hours at 860°C, 900°C and 940°C.

Keywords: Boron coating, Vickers hardness test, X-Ray diffraction analysis, SEM, Corrosion, Microstructure

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca göstermiş olduğu yakın ilgi ve desteğinden dolayı değerli danışmanım Doç. Dr. Gökçe MEREY'e teşekkürlerimi sunarım. Laboratuvar çalışmalarım süresince engin bilgilerinden faydalandığım Metalurji ve Malzeme Mühendisi Abdullah AKTAŞ ve UNCULU ISIL İŞLEM çalışanlarına teşekkür ederim. Mekanik laboratuvarlarından faydalandığım KIZILIRMAK DÖKÜM A.Ş. ve çalışanlarına teşekkür ederim.

İlgi ve desteğiyle her zaman yanımda olan, mesleki ve teknik bilgilerinden faydalandığım sevgili eşim Serhan Samet GÖDEK'e teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi manevi destekleriyle her zaman yanımda olan çok değerli annem Fatma AKIN, babam Mustafa AKIN ve kardeşim Kubilay AKIN'a içtenlikle teşekkür ediyorum ve bu yüksek lisans tezini çok kıymetli aileme ithaf ediyorum.

Bu tez çalışmasına MUH19004.14.007 numaralı proje kapsamında vermiş oldukları destekten dolayı, Hitit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teşekkür ederiz.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
RESİMLER DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. TEORİK KISIM.....	2
2.1. Bor Minerali.....	2
2.1.1. Dünyada ve Türkiye’de ki bor rezervleri ve üretimi.....	4
2.1.2. Bor mineralleri.....	5
2.1.2.1. Boraks (Tinkal) ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$).....	5
2.1.2.2. Kernit ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$).....	5
2.1.2.3. Üleksit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$).....	6
2.1.2.4. Kolemanit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot \text{H}_2\text{O}$).....	6
2.1.2.5. Probertit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$).....	6
2.1.2.6. Pandemit ($\text{Ca}_2\text{B}_{10}\text{O}_{19} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).....	6
2.1.2.7. Hidroborasit ($\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).....	6
2.1.3. Bor ürünleri hakkında genel bilgi.....	7
2.2. Çelik.....	8
2.2.1. Çeliklerin temel özellikleri.....	8
2.2.2. Çeliklerin karbon oranına göre sınıflandırılması.....	8
2.2.2.1. Düşük karbonlu çelikler.....	8
2.2.2.2. Orta karbonlu çelikler.....	9
2.2.2.3. Yüksek karbonlu çelikler.....	10
2.2.2.4. Yüksek karbonlu takım çelikleri.....	10
2.3. Borlama.....	10
2.3.1. Borlama işleminin avantajları.....	13
2.3.2. Borlama işleminin dezavantajları.....	14
2.3.3. Borlama metodları.....	14
2.3.3.1. Katı (Kutu) borlama.....	15

Sayfa

2.3.3.2. Sıvı borlama.....	17
2.3.3.3. Plazma borlama.	18
2.3.3.4. Gaz ortam borlaması.....	19
2.4. Endüstriyel Uygulamalar Ve Literatür	20
2.5. Bor Tabakasının Özellikleri	22
2.5.1. Bor tabakasının oluşumu	25
2.5.2. Geçiş bölgesi.....	25
2.6. Alaşım Elementlerinin Bor Tabakası Üzerine Etkisi	26
2.6.1. Karbon.	27
2.6.2. Silis ve Alüminyum.	27
2.6.3. Nikel.....	27
2.6.4. Krom	27
2.7. Bor Tabakasının Kalınlığı	27
2.8. Sertlik	28
2.9. Korozyon	29
2.9.1. Korozyon çeşitleri.....	29
2.9.1.1. Uniform (homojen) korozyon	30
2.9.1.2. Galvanik korozyon.....	30
2.9.1.3. Çukur (Pitting) korozyonu	30
2.9.1.4. Taneler arası korozyon.....	31
2.9.1.5. Filiform (İpliğimsi) korozyon.....	31
2.9.1.6. Seçimli korozyon	31
2.9.1.7. Erozyonlu korozyon.....	32
2.9.1.8. Yorulmalı korozyon	32
3. MATERYAL VE YÖNTEM	33
3.1. Deneyleerde Kullanılan Çelikler	33
3.2. Sertlik Analizleri	36
3.3. X Işınları Kırınım Analizleri	36
3.4. Mikroyapı Analizi	38
4. DENEYSEL SONUÇLAR	42
4.1. SEM Analiz Sonuçları.....	42
4.2. X- Işını Kırınım Analizleri Ve Sonuçları	52

Sayfa

4.3. Sertlik	65
4.4. Bor Kaplama İşleminin Korozyona Olan Etkisi.....	70
5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER	73
KAYNAKLAR	76
ÖZGEÇMİŞ	82



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Bor elementinin fiziksel özellikleri (Arslan ve ark., 2000)	3
Çizelge 2.2. Ticari öneme sahip bor mineralleri	3
Çizelge 2.3. Dünya Bor Rezervleri Eti maden	4
Çizelge 2.4. Bazı bor ürünlerinin kullanım alanları	7
Çizelge 2.5. Sıvı ortam borlamasında kullanılan ana bor kaynakları ve özellikleri ..	17
Çizelge 2.6. Gaz halindeki borlayıcı bileşikler ve özellikleri	19
Çizelge 2.7. Demir borürlerin bazı fiziksel özellikleri.....	24
Çizelge 3.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Çeliklerin Kimyasal Kompozisyonlar	34
Çizelge 3.2. Borlama deney programı ve numune kodlamaları.....	35
Çizelge 4.1. 4 ve 6 saatlik sürelerle 860, 900, 940°C sıcaklıklarda borlanmış AISI1045, C-22 ve St 50-2 numunelerinin ortalama bor tabakası kalınlıkları	43
Çizelge 4.2. Borlanmamış çelik numunelerin yüzey sertlik değerleri (HV _{0,05}).....	66
Çizelge 4.3. Yüzeyi bor ile kaplanmış AISI 1045 çeliğinin farklı sıcaklık ve sürelerde yüzey sertlik değerleri (HV 0,05)	66
Çizelge 4.4. Yüzeyi bor ile kaplanmış C-22 çeliğinin farklı sıcaklık ve sürelerde yüzey sertlik değerleri (HV _{0,05})	67
Çizelge 4.5. Yüzeyi bor ile kaplanmış St 50-2 çeliğinin farklı sıcaklık ve sürelerde yüzey sertlik değerleri (HV _{0,05}).....	69

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Demir-Bor denge diyagramı	12
Şekil 2.2. Katı borlama işleminin şematik gösterimi	15
Şekil 2.3. Borür tabakalarının sınıflandırılması	23
Şekil 2.4. Borlama sırasında borür tabakasının oluşumu	25
Şekil 2.5. Bor tabakası kalınlığına çeliklerde bulunan alaşım elementlerinin etkisi .	26
Şekil 4.1. 860°C sıcaklıklarda ve 4 ve 6 saat sürelerde AISI 1045, C-22 ve St 50-2 numunelerinin tabaka kalınlığı ölçümleri	50
Şekil 4.2. 900°C sıcaklıklarda ve 4 ve 6 saat sürelerde AISI 1045, C-22 ve St 50-2 numunelerinin tabaka kalınlığı ölçümleri	51
Şekil 4.3. 940°C sıcaklıklarda ve 4 ve 6 saat sürelerde AISI 1045, C-22 ve St 50-2 numunelerinin tabaka kalınlığı ölçümleri	51
Şekil 4.4. (C4 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 860°C’de 4 saat süre ile borlanmış C-22 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni	53
Şekil 4.5. (C5 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 900°C’de 4 saat süre ile borlanmış C-22 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni	53
Şekil 4.6. (C6 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 940°C’de 4 saat süre ile borlanmış C-22 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni	54
Şekil 4.7. (C7 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 860°C’de 6 saat süre ile borlanmış C-22 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni	55
Şekil 4.8. (C8 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 900°C’de 6 saat süre ile borlanmış C-22 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni	55
Şekil 4.9. (C9 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 940°C’de 6 saat süre ile borlanmış C-22 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni	56
Şekil 4.10. (A4 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 860°C’de 4 saat süre ile borlanmış AISI 1045 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni	57

Şekil	Sayfa
Şekil 4.11. (A5 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 900°C’de 4 saat süre ile borlanmış AISI 1045 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni.....	57
Şekil 4.12. (A6 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 940°C’de 4 saat süre ile borlanmış AISI 1045 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni.....	58
Şekil 4.13. (A7 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 860°C’de 6 saat süre ile borlanmış AISI 1045 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni.....	59
Şekil 4.14. (A8 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 900°C’de 6 saat süre ile borlanmış AISI 1045 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni.....	59
Şekil 4.15. (A9 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 940°C’de 6 saat süre ile borlanmış AISI 1045 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni.....	60
Şekil 4.16. (S4 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 860°C’de 4 saat süre ile borlanmış AISI 1045 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni.....	61
Şekil 4.17. (S5 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 900 °C’de 4 saat süre ile borlanmış AISI 1045 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni.....	61
Şekil 4.18. (S6 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 940°C’de 4 saat süre ile borlanmış AISI 1045 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni.....	62
Şekil 4.19. (S7 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 860°C’de 6 saat süre ile borlanmış AISI 1045 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni.....	63
Şekil 4.20. (S8 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 900°C’de 6 saat süre ile borlanmış AISI 1045 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni.....	63
Şekil 4.21. (S9 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 940°C’de 6 saat süre ile borlanmış AISI 1045 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni.....	64
Şekil 4.22. Fe-B ikili denge diyagramı	65

RESİMLER DİZİNİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Borlama sonrası FeB ve Fe ₂ B fazlarının görünüşü.....	22
Resim 3.1.a) Borlama işleminin gerçekleştirildiği 10x10x10cm ³ ebatlarındaki paslanmaz çelik b) Borlama işlemi için hazırlanmış çelik numuneler c) Borlama işlemi düzeneği d) Borlama işlemine tabi tutulmuş numuneler.....	36
Resim 3.2. Bragg kanunu	37
Resim 3.3. Shimadzu marka XRD- 6000 model X ışınları Kırınım Cihazı.....	38
Resim 3.4. Hassas Kesme Cihazı.....	39
Resim 3.5. Bakalit cihazı	39
Resim 3.6. Zımparalama ve parlatma cihazı.....	40
Resim 3.7. Taramalı elektron mikroskobu.....	41
Resim 4.1. 860°C'de 4 saat süre ile borlanan çeliklerin SEM görüntüsü a) AISI 1045 b) C-22 c) St 50-2.....	44
Resim 4.2. 860°C'de 6 saat süre ile borlanan çeliklerin SEM görüntüsü a) AISI 1045 b) C-22 c) St 50-2.....	45
Resim 4.3. 900°C'de 4 saat süre ile borlanan çeliklerin SEM görüntüsü a) AISI 1045 b) C-22 c) St 50-2.....	46
Resim 4.4. 900°C'de 6 saat süre ile borlanan çeliklerin SEM görüntüsü a) AISI 1045 b) C-22 c) St 50-2.....	47
Resim 4.5. 940°C'de 4 saat süre ile borlanan çeliklerin SEM görüntüsü a) AISI 1045 b) C-22 c) St 50-2.....	48
Resim 4.6. 940°C'de 6 saat süre ile borlanan çeliklerin SEM görüntüsü a) AISI 1045 b) C-22 c) St 50-2.....	49

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar	Açıklamalar
C	Karbon
B₂H₆	Diboran
B₄C	Bor karbür
BCl₃	Bortriklorit
FeB	Demir borür bileşiği
Fe₂B	Demir di borür bileşiği
H₂SO₄	Sülfürik asit
HCl	Hidroklorür
HNO₃	Nitrik asit
NaCl	Sodyum klorür
µm	Mikrometre
Fe₃C	Sementit
Fe₇C₃	Demir karbür
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
HV	Vickers sertliği
AISI	Amerikan Demir Çelik Enstitüsü
ASTM	American Society for Testing and Materials
XRD	X ışınları difraktometresi
Ekabor2	Katı borlamada kullanılan ve patentlerle korunan bor alaşimleri tozu

1. GİRİŞ

Aşınma mekanizması endüstriyel alanda ekonomik kayıplara sebep olmakta, makine ve ekipmanların çalışma verimini olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Olumsuz koşullar malzemelerin yüzeyinde ve mikro yapısında ciddi sorunlara sebep olmaktadır. Bu sebeple yüzey ve mikro yapıyı iyileştirmek adına bir çok akademik ve endüstriyel çalışmalar yapılmıştır ve devam edilmektedir. Bunlardan birisi de yüzey sertleştirme yöntemi olan borlama işlemidir.

Yüzey sertleştirmenin amacı sertlik, korozyon direnci, mikro yapı, aşınma direnci gibi tribolojik özelliklerin iyileştirilmesini sağlamaktır.

Bir çok gelişmiş ülkenin aşınmaya karşı teknolojik araştırmalara ve malzeme kalitesini arttırmaya yönelik çalışmalara bütçelerinde yüksek miktarlarda pay ayırdığı bilinmektedir. Bu çalışmalarla beraber metalik ekipmanların yüzeylerine pürüzsüzlük ve düşük sürtünme katsayısı gibi özellikler kazandırması yanında yüksek yüzey sertliği özelliği kazandırmasından dolayı borlama tercih edilen bir yöntem olmuştur (Barış, 2007).

Borlama ısı işlemi genel olarak çelik alaşımlara uygulanmakta olan termokimyasal bir yüzey sertleştirme yöntemi olup, işlem, bor elementinin yüksek sıcaklıklarda çeliğin yüzeyine difüzyonu ile gerçekleşir. Çeliğin yüzeyinde Fe_2B ve FeB fazları oluşur ve çeliğin yüzeyinde sağlam ve sert bir tabaka oluşmasını sağlar. Borlama işlemi sonucunda oluşan bu fazlar malzemenin sürtünme katsayısının azalmasını ve aşınma dayanımının artmasını sağlar.

Bu tez çalışmasında alaşımsız düşük karbonlu C-22, AISI 1045 ve St 50-2 çelikleri borlanarak incelenmiştir. Borlama işlemi katı ortamda borlama tekniği kullanılarak yapılmıştır. Borlama malzemesi olarak ticari şekilde piyasada bulunan Ekabor 2 tozu kullanılmıştır. Borlama süresinin ve sıcaklığın artırılmasıyla bor katman kalınlığı, sertlik ve korozyon dayanımları incelenmiştir. X-ışını kırınım analizi ve SEM ile borürlerin şekli ve yapısı ve de aşınma yüzeyleri incelenmiştir.

2. TEORİK KISIM

2.1. Bor Minerali

Bor, endüstriyel ve teknolojik uygulamalarda kullanılır. Doğada bütün canlıların yaşamını sürdürmesi için vazgeçilmez elementlerdendir. Bor elementinin Çizelge 2.1.'de de verilen fiziksel özellikleri, yeryüzünde toprakta (10-20 ppm), kayalar ve suda (deniz suyu 0.5-9.6 ve tatlı suda 0.01-1.5 ppm aralığında) yaygın olarak bulunmaktadır. Periyodik tablonun 3A grubunda bulunur. Bor elementinin simgesi (B), atom numarası 5'tir. Atom ağırlığı 10.81 g/mol ve ergime noktası 2190°C'dir, iki kararlı izotoptan oluşur (Ertuğrul, 2004).

Endüstride borun çok fazla kullanılması, borun çoğu metal ve ametalle bileşik oluşturabilme özelliğindedir. Borun metal dışı bileşikler gibi davranması bir çok yararlı bileşik oluşturmasını ve endüstride kullanılmasını sağlamıştır. Saf bor, karbon gibi elektrik iletkenidir. Kristalize bor minerali görünümü itibariyle elmasa benzemekte ve sert bir yapıda olup saf bor karbon elementi gibi elektrik iletkenidir (Sarıhan, 2006).

Dünya bor rezervi açısından Türkiye ilk sırada yer almaktadır. Yeni borat rezervlerinin tespit edilmesi için MTA ve Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü'nün ortak çalışmaları sonucu şu ana kadar 1 milyar tonluk rezerve ulaşılmıştır. Türkiye'nin toplam bor rezervi miktarı dünyadaki toplam rezervinin %72'sini oluşturmaktadır (Anonim, 2007).

Çizelge 2.1. Bor elementinin fiziksel özellikleri (Arslan ve ark., 2000)

Özellik	Değeri
Atom ağırlığı	10.811±0.005 veya 0.007
Ergime noktası	2190+20°C
Kaynama noktası	3660°C
Isıl genleşme katsayısı (25-1050°C arası, 1°C için)	5x10 ⁻⁶ -7x10 ⁻⁶
Knoop sertliği	2100-2580 HK
Vickers sertliği	5000 HV

230'a yakın bor minerali bulunmaktadır ve bu minerallerin çok az bir kısmı ticari öneme sahiptir (Çizelge 2.2.). Çizelge 2.2.'de ki ilk üç mineral ülkemizin asıl bor mineral rezervini oluşturmaktadır ve magnezyum, silis ve demir gibi bor bileşiklerini üretiminde problemler yaratan bu üç minerali içeriğinde bulundurmamaktadır.

Çizelge 2.2. Ticari öneme sahip bor mineralleri (Roskill, 2012)

Yapı	Mineral	Kimyasal formül	B ₂ O ₃ içeriği, %
Sodyum borat	Tinkal	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	36.5
	Tinkalkonit	Na ₂ B ₄ O ₇ .4H ₂ O	48.8
	Kernit	Na ₂ B ₄ O ₇ .4H ₂ O	51.0
Kalsiyum borat	Kolemanit	Ca ₄ B ₆ O ₁₁ .5H ₂ O	50.8
	İnyonit	Ca ₄ B ₆ O ₁₁ .13H ₂ O	37.6
	Pandermit	Ca ₄ B ₁₀ O ₁₉ .5H ₂ O	49.8
Sodyum-kalsiyum borat	Üleksit	NaCaB ₅ O ₉ .8H ₂ O	43.0
	Probertit	NaCaB ₅ O ₉ .5H ₂ O	49.6
Magnezyum borat	Aşarit	Mg ₂ B ₂ O ₅ .H ₂ O	41.4
	İnderit	Mg ₂ B ₆ O ₁₁ .15H ₂ O	37.3
	Pinnoit	MgB ₂ O ₄ .3H ₂ O	42.5
Magnezyum-kalsiyum borat	Hidroborasit	CaMgB ₆ O ₁₁ .6H ₂ O	50.5
Borosilikat	Datolit	Ca ₂ B ₂ Si ₂ O ₉ .H ₂ O	21.8
Magnezyum-demir borat	Ludvigit	Mg ₂ FeBO ₅	17.8
Magnezyum klorür çifte bazı	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	62.2
Hidrojen borat	Sassolit	H ₃ BO ₃	56.4

2.1.1. Dünyada ve Türkiye’de ki bor rezervleri ve üretimi

Dünya bor rezervinin yaklaşık olarak 170 milyon ton olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte dünyabaz rezerv miktarının 473 milyon ton B_2O_3 olduğu bilinmektedir. Türkiye dünyada bor yatakları rezervi açısından ilk sırada bulunmakla birlikte Türkiye’yi ABD’nin Kaliforniya eyaletindeki Mojave Çölü ve Rusya takip etmektedir.

Dünya bor rezervleri 3 bölgede toplanmaktadır (Yiğitbaşıoğlu, 2004):

- ABD’de Güney-Batı Mojave Çölü
- Güney-Orta Asya orojenik kemeri
- Güney Amerika, And dağları kuşağı

Dünya bor rezervinin ülkeler bazında dağılımı ve dağılım oranları Çizelge 2.3.’te verilmiştir.

Çizelge 2.3. Dünya Bor Rezervleri Eti maden (Anonim, 2014)

Ülke	Toplam Rezerv (Bin ton B_2O_3)	Toplam Rezerv (% B_2O_3)
Türkiye	864.500	72.1
A.B.D.	80.000	6.7
Rusya	100.000	8.4
Çin	47.000	3.9
Arjantin	9.000	0.8
Bolivya	19.000	1.6
Şili	41.000	3.4
Peru	22.000	1.8
Sırbistan	16.200	1.3
İran	1.000	0.0
Toplam	1.199.700	100

Türkiyedeki B_2O_3 üretim artışından dolayı, dünyadaki B_2O_3 üretimi, 1977'den bu yana yılda 1144 milyon tona (B_2O_3) yükselmiştir. Ülkemizdeki bor üretimi 1970'te 122000 ton B_2O_3 'den, 1996'da 494000 ton B_2O_3 'e yükselmiştir. Türkiyedeki bor artışı dünyadaki bor artışını önemli seviyede etkilemiştir (Arslan ve ark., 2001).

2.1.2. Bor mineralleri

Bor minerallerinin sayısı çok fazla olup sayılarının 100'e yakın olduğu bilinmektedir. Bazı mineraller her yatakta gözlenmez ve nadir bulunmaktadır. Örneğin Pandemit minerali dünyada sadece Balıkesir'in Susurluk yatağında bulunmaktadır. (Anonim, 2014).

Bor mineralleri; yapılarında farklı oranlarda bor oksit (B_2O_3) içeren minerallerdir. ülkemizde en çok bilinen mineraller tinkal, kolemanit ve üleksittir. Dünyada bulunan kolemanit mineralinin neredeyse tamamı Türkiye'de bulunmaktadır (Anonim, 2014).

2.1.2.1. Boraks(Tinkal)($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$)

Boraks mineralinin %36,5'i B_2O_3 'tir. Boraks renksiz ve saydam yapıdadır. Ancak yapısındaki safsızlıklardan dolayı pembe, sarı, gri renklerde yapıya da rastlanabilir. Tinkalin yapısındaki suyu kaybederek tinkalkonite dönüştüğü gözlenebilir. Tinkal Eskişehir-Kırka yatağında bulunmaktadır.

2.1.2.2. Kernit ($Na_2B_4O_7 \cdot 4H_2O$)

Kernit Mineralinin %51'inin B_2O_3 olduğu bilinmektedir. Renksiz, saydam beyaz görünüme sahiptir. Atmosferik koşullarda sağlandığında tinkalkonite dönüşmektedir. Dünya'da ABD ve Arjantin'de bulunduğu ve Kırka bölgesinde Na-Boratin derin kısmında bulunmaktadır

2.1.2.3. Üleksit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$)

Üleksit mineralinin %43'ü B_2O_3 'tir. Üleksit; kolemanit, probertit ve hidroborasit minerallerinin bulunduğu yerlerde bulunur. Saf üleksit beyaz renktedir. Gri renk tonlarında ve ipek parlaklığında olanları da vardır. Dünyada Arjantin'de, Türkiye'de Kırka, Bigadiç ve Emet bölgelerinde bulunmaktadır.

2.1.2.4. Kolemanit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot \text{H}_2\text{O}$)

Kolemanitin B_2O_3 içeriği %50'dir ve monoklinik sistemlerde kristallenmektedir. Kolemanit HCl'de hızlı bir şekilde çözünmektedir ve kil içerisinde cevher aralarında iri, parlak, saydam halde bulunmaktadır. Dünyada ABD'de, Türkiye'de ise Emet, Bigadiç ve Kestelek yataklarında bulunmaktadır.

2.1.2.5. Probertit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)

Probertit %49,6'sı B_2O_3 'tir. Probertit minerali kirli beyaz, açık sarımsı renklerde olup ışınal ve lifsi şekilli kristaller şeklinde bulunur. Emet'te birincil mineral olarak Kestelek yataklarında ise üleksit mineralinin yanı sıra ikincil mineral olarak bulunur.

2.1.2.6. Pandermit ($\text{Ca}_2\text{B}_{10}\text{O}_{19} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)

Pandermit mineralinin %49,8'i B_2O_3 'tir. Pandermit minerali kolemanit ve kalsite dönüşebilmektedir. Beyaz renkte ve yekpare olarak gözükmektedir. Kireç taşı ile benzer özellikler göstermektedir. Sultançayırı ve Bigadiç yataklarında bulunmaktadır.

2.1.2.7. Hidroborasit ($\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

Hidroborasitin %50,5'i B_2O_3 'tir. Hidroborasit beyaz renktedir. İçindeki safsızlıklardan dolayı sarımsı ve kırmızımsı renklerde bulunabilir. Hidroborasit minerali probertit, tunelit, kolemanit, üleksit ile birlikte bulunmaktadır. Türkiye'de Kestelek ve Emet-Doğanlar-İğdeköy sahası yataklarında bulunur (Sarıhan, 2006).

2.1.3. Bor ürünleri hakkında genel bilgi

Bor ürünlerinin yaklaşık 500'e yakın alanda kullanıldığı bilinmektedir. Bunlardan bazıları polimerik malzemeler ve nanoteknolojiler, metalürji ve otomotiv sektörü, hava araçları, nükleer uygulamalar ve askeri araçlar, yakıtlar, gibi alanlarda kullanılmaktadır. Bor ürünlerinin çok geniş alanda kullanım imkanı olsa da en çok tüketilen bor ürünlerinin %80'e yakını seramik-frit, cam, tarım, kimya ve deterjan sektörlerinde bulunduğu görülmektedir (Anonim, 2014). Bazı bor ürünlerinin kullanım alanları Çizelge 2.4.'te verilmiştir.

Çizelge 2.4. Bazı bor ürünlerinin kullanım alanları(Arslan ve ark., 2001)

Ürün	Kullanım Alanları
Amorf Bor ve Kristalin Bor	Askeri Proteknik, Nükleer Silahlar ve Nükleer Güç Reaktörlerinde Muhafaza
Bor Flamentleri Malzemeleri	Havacılık için Kompozitler
Özel Sodyum Boratlar	Fotoğrafçılık Kimyasalları, Yapıştırıcılar, Deterjan ve Malzemeleri, Yangın Geciktiricileri
Fluoborik Asit, Sodyum	Kaplama Solüsyonları, Fluoborat Tuzlar, Bor Hidrürler
Sodyum Bor Hidrürler	Özel Kimyasalları Saflaştırma, Kağıt Hamurunu Beyazlaştırma, Metal Yüzeylerin Temizlenmesi

2.2. Çelik

Çelik, bir Demir (Fe)- Karbon (C) alaşımıdır ve C dışında başka alaşım elementleri ve safsızlık yaratan empürite elementler bulunabildiği bilinmektedir. Çeliğin içeriğinde bulunan elementlerin kimyasal kompozisyonu ve çeliğin mikroyapısı çeliğe farklı yapıda özellikler kazandırmaktadır. Çeliğin içeriğine farklı miktarlarda alaşım elementleri eklenebilir. Bununla birlikte çeşitli ısıt işlemler ve yüzey sertleştirme işlemleri ile ihtiyaca uygun özelliklerde çelikler elde edilebilir. Hammaddeden kaynaklı elementler olan Mangan, Fosfor, Kükürt ve Silisyum çelik yapısında belirli oranlarda bulunur. Cr, Ni vb. elementlerde gereken miktarlarda çelik bünyesine ilave edilebilir.

2.2.1. Çeliklerin temel özellikleri

Kimyasal bileşimin dışında çelikler ısıt işlemlere karşı duyarlı olduğu için uygulanan ısıt işlemlerle istenilen mekanik, fiziksel ve elektriksel özellikler elde edilebilir. Aynı zamanda ısıt işlemler ile yüksek sıcaklığa ve korozyona dayanım özelliklerine sahip olabilirler. Çelik malzemeler metal kaplamaya, boyanmaya, emaye yapılmaya, boyanmaya uygundur. Çeliklerin kimyasal kompozisyonu uygun ise kaynak işlemi yapılabilir.

Çeliklerin şekillendirilmesi mikroyapılarının gerektirdiği ısıt işlemlerle gerekli sıcaklıklara kadar ısıtılması ile mümkündür (Anonim, 2011).

2.2.2. Çeliklerin karbon oranına göre sınıflandırılması

2.2.2.1. Düşük karbonlu çelikler

%0,25'e kadar karbon içeren çelikler düşük karbonlu çeliklerdir. Düşük karbonlu çelikler mekanik özelliklerinden dolayı yumuşak çelikler olarak da tanımlanabilirler. Dünya çelik imalatının en geniş yelpazesini düşük karbonlu çelikler oluşturmaktadır. Özellikle yassı mamuller ile inşaat sektöründe kullanılan çelik çubuk ve profiller düşük

karbonlu çelikler sınıfında yer almaktadırlar. Düşük karbon ihtiva ettiği için, düşük karbonlu çelikler, ısı işlemler ile istenilen sertlik değerine getirilemezler. Bu nedenle bir takım yüzey sertleştirme işlemleri olan nitrasyon, sementasyon, borlama vb. ile yüzeyleri sertleştirilebilir.

Düşük karbonlu çelikler, çok yumuşak ve yumuşak çelikler olmak üzere iki grupta incelenebilirler:

Çok yumuşak çelikler: Soğuk şekillendirmeye uygun yapıda olan çok yumuşak çelikler %0,07 ile %0,15 arasında karbon içerirler. AISI 1070, AISI 1010 çok yumuşak çeliklerdir.

Yumuşak çelikler: %0,15 ile %0,25 oranında karbon içeren yumuşak çelikler yaygın olarak kullanılmakta olan alaşımsız çeliklerdir. Kaynak yapılmaya elverişlidirler. AISI 1025, St 37, St 42 yumuşak çeliklerdir.

2.2.2.2. Orta karbonlu çelikler

Orta karbonlu çelikler, ısı işleme uygun olup %0,25 ile %0,55 oranları arasında karbon elementi ihtiva ederler. Orta karbonlu çeliklerin yapıları ısı işlemlerle istenilen özelliğe getirilebilir. Bu çelikler, karbon oranlarına göre genel dövme çelikleri, mil çelikleri ve aşınmaya dayanıklı çelikler olmak üzere üç gruba ayrılır;

Genel dövme çelikleri: %0,25 ile %0,35 oranları arasında karbon ihtiva eden çeliklerdir. AISI 1020, St 50- 2 dövme çeliklerindedir..

Mil çelikleri: %0,35 ile %0,45 oranları arasında karbon ihtiva eden çelikler olup mil, tel ve dingil yapımında kullanılmaktadırlar. St 60, C 45, AISI 1045 mil çeliklerindedir.

Aşınmaya dayanıklı çelikler: %0,45 ile %0,55 arasında karbon ihtiva eden çelikler olup ray, ray tekerleği, silindir ve pres kalıplarının yapımında kullanılan çeliklerdir.

2.2.2.3. Yüksek karbonlu çelikler

Yüksek karbonlu çelikler %0,55 ile %0,9 arasında karbon ihtiva eden çelikler olup pres kalıp blokları gibi yüksek mukavemet ve aşınma direnci gerektiren alanlarda kullanılmaktadırlar. C 60 ve AISI 1050 çelikleri yüksek karbonlu çeliklerdir.

2.2.2.4. Yüksek karbonlu takım çelikleri

Yüksek karbonlu takım çelikleri yapılarında %0,9 ile %1,6 oranları arasında karbon ihtiva ederler. Torna kalemi ve matkap uçları gibi yüksek mukavemet gerektiren ve yüksek aşınma direnci yerlerde kullanılmaktadırlar (Anonim, 2014).

2.3. Borlama

Borlama ısıtıl işlemi uzun bir geçmişe sahiptir. Borlama ilk kez 1895 yılında Moissan tarafından yapılmıştır. Borun çeliğin yüzeyine difüzyonu ile gerçekleşen bir yüzey sertleştirme yöntemidir. Borlama işlemi, günümüzde teknolojik olarak son derece gelişmiş durumdadır. Borlama alternatif bir yüzey sertleştirme yöntemlerinden sadece birisidir. Dünyada bir çok ülkede ve bir çok alanda farklı yöntemler ile kullanılan borlama Rusya'da sıvı borlama, Almanya'da ise katı borlama olarak kullanılmaktadır. Alternatif yüzey sertleştirme işlemlerinden olan karbürizasyon, nitrürasyon vb. yüzey sertleştirme işlemlerinde 600-1100 HV'lık bir yüzey sertliğine ulaşılmaktadır. Bor kaplama işleminde 1500-2000 HV'lık sertliği elde edilmektedir. Bunun yanı sıra borlama işlemi sonucu çok düşük sürtünme katsayıları elde edilmektedir. Bor kaplama işlemi, yüksek sıcaklıklara çıkılarak borun çelik malzeme yüzeyine difüze olup Fe₂B, FeB gibi bileşiklerin oluşturulması işlemidir. Endüstriyel uygulamalarda, hem daha az gevrek ve kararlı yapıya sahip olması, hem de borlama sonrası ısıtıl işleme tabi tutulabilmesi açısından sadece Fe₂B'den oluşan tek fazlı bor tabakaları tercih edilmektedir (Üçkardeşler, 2013).

Araçlar ve makine parçalarının çoğu sık kullanımdan dolayı aşınmaya maruz kalmaktadır. Çalışma koşullarında önemli olan malzemelerin uzun ömürlü olması

açısından yüzey özelliklerinin kaliteli ve güvenilir olmasıdır. Yüzey sertleştirme işlemlerinin en iyisi olduğu bilinen borlama yöntemiyle aşınma direnci artırılabilir ve konu ile ilgili yüzey mühendisliği çalışmaları sürdürülmektedir. Borlama, çeliğin yüzeyine yüksek sıcaklık değerlerinde bor atomunun difüzyonu işlemidir. Borlama sonucunda, borür tabakası çift fazlı ya da tek fazlı olabilmekle birlikte yüzeyin aşınma direnci çok yüksektir ve yüzey sert bir yapıdadır. Borlama ile korozyona olan dayanımda artırılmaktadır (Stewart, 1997).

Aşınma mekanizması ve korozyona karşı, çeliklerin dayanımını arttırmak için bor kaplama yöntemi bir çok alanda kullanılan yüzey sertleştirme yöntemidir. (Mathew ve ark., 2014).

Endüstride bor kaplama işlemi genel olarak çeliklerin ve çelik alaşımlarının yüzeyinin sertlik ve aşınma direncini artırmak için kullanılır. Ticari bor kaplama uygulamalarında çelikler çoğunlukla basit ve ucuz bir mekanizmada yürütülmeleri sebebiyle toz borlama ya da macun borlama yöntemleri tercih edilir (Keddam, 2011).

Bor kaplama işlemi demir, demir dışı metaller ve seramik malzemelere uygulanabilen bir termokimyasal ısıl işlemdir. İşlem iyi temizlenmiş malzemenin yüzeyine 700-1000°C (1300-1830°F) aralığında, tercihen 1-12 saat ısıtılmasıyla uygulanır (Sinha, 1991).

önleyici, oksijeni tutarak redükleyici bir ortam oluşturan dolgu malzemesi ve deoksidan olarak kullanılan bileşikler SiC, Al₂O₃'tir. Dolgu malzemesi ve deoksidantlar aynı zamanda borlama malzemesinin çeliğe yapışmasını önlerler. Bor kaplama işlemi sırasında kullanılan yöntem, borlanacak malzemenin cinsi, borlama ortamının kimyasal bileşimi, işlem sıcaklığı ve işlem süresi elde edilen borür tabakası yapısına etki eden faktörlerdendir (Delikanlı ve ark. 2003).

Bor kaplama işleminin, yalnızca yüzey sertliği istenen çeliklerde ve düşük alaşımlı çeliklerde kullanılması avantajlıdır. Yüksek alaşımlı çeliklerin işlenmesi zor ve maliyetlidir ve bu çelikler borlamaya uygun değildirler.

Borlama dört ana grupta incelenmekte olup bunlar; katı, sıvı, gaz ve pasta halinde bor verici macun ile yapılan borlama yöntemleridir (Baştürk ve ark., 2006).

Bor kaplanan çelik yüzeyinin özellikleri, çeliğin kimyasal kompozisyonuna, borlama ortam sıcaklığına, süresine ve uygulanan ısıl işleme bağlıdır. Borlama işlemi sonucuna çeliğin yüzeyinde oluşan bor tabakası çok sert olduğu için sementasyon işlemindeki gibi yeniden sertleştirmeye gerek yoktur. Bor kaplı tabakada bor elementi Fe₂B ve FeB şeklinde bulunur. Bor, çeliklerde hem alaşım elementi, hem de yüzey sertleştirici olarak kullanılır. Bor elementi aynı zamanda çelik üretiminde cüruf oluşturucu olarak kullanılmaktadır (Uzun, 2002).

2.3.1. Borlama işleminin avantajları

Borlamanın en temel avantajı, borlanmış tabakayı oluşturan FeB ve Fe₂B fazlarının sertlik değerlerinin 1600-2000 HV'a kadar yükselmesi ve borlu tabakaların erime noktası değerlerinin çok yüksek olmasıdır. Diğer avantajları da şu şekilde sıralanabilir:

-Diğer sertleştirme işlemlerine kıyasla karbon çelikleri üzerine yapılan borlama işleminin sertliği çok yüksektir.

-Bor ile kaplanmış tabakanın aşınma mekanizması ile mücadelede büyük öneme sahip

yüksek sertlik ve düşük sürtünme katsayısı kombinasyonu elde edilir.

-Bor tabakasının sertliği nitrürleme ısıl işlemine göre yüksek sıcaklıklarda daha yüksektir.

-Yüzeyi bor kaplanmış materyallerin korozif ve oksitleyici ortamlarda kullanım ömrü oldukça uzundur.

-Bor kaplanmış çelik yüzeyler yüksek sıcaklıklara çıktığında da (750-850°C) oksitlenmeye dirençlidir (Yorulmaz, 2007).

2.3.2. Borlama işleminin dezavantajları

-Termokimyasal bir yüzey sertleştirme yöntemi olan bor kaplama ısıl işlemi diğer termokimyasal yüzey iyileştirme yöntemlerine (plazma nitrürleme ve karbürizasyon) nazaran pahalıdır. Yoğun çalışma yapmayı gerektirmektedir. Bakımı ve işletmesi ucuz ve kolay olan karbürizasyon ve plazma nitrürleme işlemleri beraber uygulandığında bor kaplama ısıl işlemine göre daha avantajlıdır.

-Borlama işlemi sonunda malzemenin kalınlığında oluşan tabaka kalınlığının %5 ile %20'si arasında değişen oranlarda artış olur. Örneğin 100 µm'lik bir tabaka kalınlığı 5-20 µm'lik kalınlık artışına sebep olur.

-Borlanmış yüzeylerin geleneksel takımlarla işlenmesi sonucu yüzeyde kırılma ya da çatlamaya neden olması açısından uygun değildir. Bu olumsuz durumların görülmemesi için ve hassas toleranslar elde etmek için taşlama işleminin elmas uçlarla yapılması gerekir. Borlama işlemi geniş yüzeyli parçalarda daha çok tercih edilen bir yöntemdir (Yorulmaz, 2007).

2.3.3. Borlama metodları

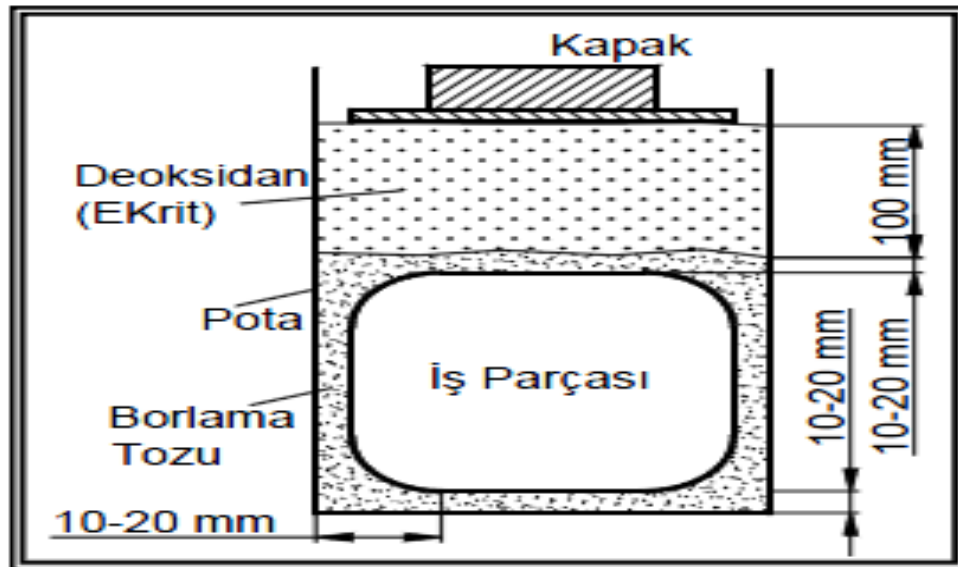
Paket borlama ve pasta borlama olmak üzere katı faz borlama, sıvı faz borlama, gaz

fazı borlama, plazma fazı borlama gibi farklı borlama teknikleri vardır.

2.3.3.1. Katı (Kutu) borlama

Paket borlama: Bu borlama yöntemi yüksek sıcaklıklara dayanıklı çelik kutuda bulunan çeliklerin borlama tozu içerisinde borlanmasını sağlar.

Şekil 2.2.'de görüldüğü gibi, toz halindeki bor verici ortam içinde borlama işlemi yapılacak olan parça genel olarak 900- 1000°C sıcaklık aralığında ve 4-10 saat süreyle borlama ortamında bekletilerek borlama işlemi gerçekleştirilmiş olur. Borlama, inert atmosferde yapılmaktadır. Ancak üzeri sıkı kapatılmış, hava ile temas etmeyen, borlama için uygun kutularda olmak üzere normal atmosfer ortamında da gerçekleştirilebilir. Bor tozlarının tane büyüklükleri 5-10 μ arasında olmalıdır. Bor verici ortam ve borlama ortamının ana bileşeni olarak bor karbür, amorf bor ve ferro-bor olabilir. Bor karbür diğerlerine göre ucuz olması dolayısıyla daha fazla tercih edilmektedir. Ana borlayıcı kaynağa bor tabakasının düzenli bir şekilde oluşmasını sağlayıcı olarak NH_4Cl , BaF , NaBF_4 , NH_4F , Na_2CO_3 , KBF_4 ve NaAlF_6 gibi aktivatörler kullanılmaktadır (Arat, 2011).



Şekil 2.2. Katı borlama işleminin şematik gösterimi (Dilektaşlı, 2014)

Katı ortam borlamasında kullanılan borlama ortam bileşiklerine ait örnekler % ağırlık

olarak aşağıda verilmiştir (Anonim, 2012) :

- %60 B₄C + %5 B₂O₃+ %5 NaF + %30 Demir oksit
- %50 Amorf bor + %1 NH₄F.HF + %49Al₂O₃
- %100 B₄C
- %(7,5-40) B₄C + %(2,5-10) KBF₄+ %(50-90) SiC
- %84 B₄C + %16 Na₂B₄O₇
- %95 Amorf bor+%5KBF₄
- %20 B₄C + %5KBF₄+ %75 Grafit
- %(40-80) B₄C + %(20-60) Fe₂O₃
- %80 B₄C + %20 Na₂CO₃
- %5 B₄C + %90 SiC + %5 KBF₄
- %50 B₄C + %45 SiC + %5 KBF₄
- %85 B₄C + %15 Na₂CO₃
- %95 B₄C + %5 Na₂B₄O₇
- %84 B₄C + %16 Na₂B₄O₇

Katı ortam borlama işleminde farklı bileşim oranlarına sahip bu borlama ortamları kullanılabilirlikle birlikte, borlama işlemlerinde kullanılmak üzere üretilmiş ticari bor tozları aşağıdaki gibidir:

Ekabor 1:Optimum tabaka kalınlığı elde edilmesi için kullanılan toz bir karışımdır. Genel amaçlı demir ve çeliklerde kullanılır. Yüzey pürüzlülüğü açısından yüksek kaliteye erişilmesinde kullanılan toz karışımdır.

Ekabor 2 : Granüllü bir yapıda ve yüzey pürüzlülüğü açısından çok yüksek kaliteye sahiptir.Düşük alaşımlı çeliklerin borlanması için kullanılır.

Ekabor 3 : Ekabor 2 gibi granüllü ve Ekabor 2'den daha iri tanelidir. Yüzey kalitesi oldukça yüksektir. Yüksek alaşımlı çeliklerin borlanması için kullanılır.

Ekabor HM: Sert metallerin borlanması için özel olarak üretilmiş bir borlama ortamıdır.

Ekabor Pasta: Macun şeklindedir. Çelik malzemelerin borlanması istenen bölgelerine sürülerek uygulanır (Taşçı, 1993).

Pasta borlama: Bu yöntem paket borlama yöntemine göre daha çok tercih edilir. Paket borlama yöntemi daha zor ve pahalı olduğu için pasta borlama yöntemi daha çok tercih edilmektedir. Pasta borlama yönteminde borlayıcı pasta olarak geleneksel borlaştırıcı toz ya da %55 Cryolite ve %45 B₄C'den oluşan borlama pastası 1-2 mm kalınlığında parçanın yüzeyine püskürtülür ya da borlanacak malzemenin yüzeyine fırça ile sürülüp inert atmosfer içerisinde (N₂, NH₃, Ar) ve bir fırında 900-1000°C'ye kadar ısıtılır. Pasta borlama yöntemi kısmi borlama gereken yerlerde ve büyük parçaların borlanması işleminde çok kullanışlı olan bir borlama yöntemidir.

2.3.3.2. Sıvı borlama

Çizelge 2.5. Sıvı ortam borlamasında kullanılan ana bor kaynakları ve özellikleri (Arat, 2011)

Malzeme	Formül	Molekül Ağırlığı	Teorik Bor Miktarı (%)	Ergime Sıcaklığı
Boraks	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	381,42	11,35	-
Susuz Boraks	Na ₂ B ₄ O ₇	201,26	21,5	741
Meta bor asidi	HBO ₂	43,83	24,69	-
Sodyum Bor Florid	NaBF ₄	109,81	9,85	-
Borik Oksit	B ₂ O ₃	69,64	31,07	450
Bor Karbür	B ₄ C	55,29	78,28	2450

Sıvı borlama elektrolitik tuz banyosu prosesi (elektroliz ortamda) ve normal sıvı borlama yöntemi olarak 2 grupta toplanır.

Normal sıvı borlama yöntemi: Normal sıvı borlama yöntemi 900-950°C sıcaklıkta gerçekleştirilir. Yöntem%30 B₄C eklenmiş boraks bazlı ve bor kompozisyonlu eriyik içerisine metal malzemenin daldırılmasıyla gerçekleştirilir. Erimiş tuz banyosu değişik oranlarda, boraks, susuz boraks, metabor asidi, sodyum borflorid, borkarbür, B₂O₃, KCl, HBO₂, NaCl ihtiva eder. SiC eklenmesi difüzyonu önemli ölçüde iyileştirir. Demir-bor fazı tabakalarının kalınlıkları 50-250 µm'ye ulaşır.

Normal sıvı borlama yönteminde kullanılan ve açığa çıkan maddelerin zehirli, patlayıcı olmasından ve doğayı kirletmesi gibi dezavantajları vardır. Bu dezavantajları yöntemin uygulanmasını kısıtlamaktadır. Bu yöntem, uygulanabilirlik bakımından basittir. Atmosfer ortamı koruması gerektirmiyor olması, kullanılan malzemelerin ucuz olması bakımından avantajlıdır. Bu yöntemin laboratuvar boyutundan ziyade, endüstriyel boyutta uygulanmasında ergimiş boraksın yüksek viskozitesi bir banyodaki sıcaklığın homojen olmamasından kaynaklı borlama sonucunda düzensiz kalınlıklar meydana gelir. Borlama işlemi sonunda numune yüzeylerine temizlenmesi, tuz banyosu artıklarının yapışması nedeniyle zordur, bu artıkların temizlenmesi maliyetli ve zaman alıcıdır (Çalık, 2005).

Elektrolitik tuz banyosunda (elektroliz ortamda) borlama: Bu yöntem yüksek sıcaklıkta yapılan elektroliz uygulamasına benzer. Elektrolitin ana bileşenleri boraks ve borik asit olmakla birlikte borik aside NaF, NaCl, NaH+ B₂O₃; B₂O₃ + Na₂CO₃; Na₂PO₄, Na₂SO₄, NaOH; B₄C+NaCl; B₂O₃+MF, B₂O₃+MOH, B₂O₃+M₂CO₃ (M=Li, Na, K) gibi banyonun akışkanlığını arttıran aktivatörler ilave edilmektedir. Akım yoğunluğu 0.2-0.7 A/cm², gerilim 2-14 volt olarak uygulanır. İşlem 0.5-5 saat süreyle yapılır.

Katot ve bir grafit anot olarak hareket eden bir metal parça eriyik boraksa 950°C'de daldırılır. Kaynamış tuz banyosu boru serbest bırakmak için borik asit ile reaksiyona girerek sodyum iyonları ve borik asit içerisinde parçalanır. (Arat, 2011)

2.3.3.3. Plazma borlama:

Plazma borlama yönteminde $B_2H_6-H_2$ veya BCl_3-H_2-Ar karışımları kullanılabilir. Bu yöntemde bor tabakasının kalınlığının ve bileşiminin kontrolü mümkündür. Ancak plazma borlamada açığa çıkan bir çok zehirli gaz bu teknolojinin kullanımının yaygınlaşmasını engellemektedir.

2.3.3.4. Gaz ortam borlaması:

Gaz ortam borlamasında kullanılan maddelerin çoğu oldukça hassastır. Gaz ortam borlamasında kullanılan bor verici ortam olarak BF_3 , BCl_3 , B_2H_6 , $(C_2H_3)_3B$ 'dir. Bunlardan di boran (B_2H_6), H_2 ile beraber uygulandığında çok olumlu sonuçlar alınmaktadır. Gaz halindeki borlayıcı bileşikler ve özellikleri Çizelge 2.6.'da verilmiştir.

Çizelge 2.6. Gaz halindeki borlayıcı bileşikler ve özellikleri (Arat, 2011)

Malzeme	Formül	Molekül Ağırlığı	Teorik Bor Miktarı	Donma Noktası °C
Bor triflorid	BF_3	67,82	15,95	-128,8
Bor triklorid	BCl_3	117,9	9,23	-107,3
Bor tribromid	BBr_3	250,57	4,32	-46
Di- boron	B_2H_6	26,69	39,08	-165,5
Bor trimetil	$(C_2H_3)_3B$	55,92	19,35	-161,5
Bor trietil	$(C_2H_5)_3B$	98,01	11,04	-94

Gaz ortamında borlamanın avantajları ve dezavantajları aşağıda listelenmiştir;

Avantajları;

- Bor gaz sirkülasyonunun sonucu olarak daha iyi yayılır.
- Katı borlama işlemine göre gelişmiş sıcaklık kararlılığı ve istenilen özellikleri elde edebilme kolaylığı

- Parça boyutu önemli değildir
- Kaplama homojen yapıda gerçekleşir

Dezavantajları;

- Trimetil bor borlama ile beraber C yayınına neden olup tabaka kalitesini bozar.
- Tesisatı pahalıdır ve kullanılan gazlar zehirlidir.
- Patlama tehlikesi vardır.

Gaz ile borlama prosesinin dezavantajları kullanım alanlarını kısıtlamaktadır fakat diğer metotlara oranla daha homojen bir kaplama elde edilebilmesi önemli avantajlarından biridir. Daha fazla kullanım alanı bulmasının sebebi de diğer borlama metodlarına göre daha sağlıklı bir kaplama yüzeyi elde edilebilmesidir (Arat, 2011).

2.4. Endüstriyel Uygulamalar ve Konu İle İlgili Bilimsel Çalışmalar

Borlanmış parçalar endüstriyel olarak geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. Borlama malzemeleri, özellikle aşındırıcı parçacıkların neden olduğu aşındırma durumuna dayanmak üzere yüksek sertlik özellikleri ile uygun hale getirir. Temas gerilmeleri ve pürüzlülük minimize edildiğinde yüksek aşınma direnci performansı elde edilir. Demir malzemelerde bor tabakasının sertliği alaşımlardan daha yüksek ve 1800-2100 HV arasındadır. Borlama işlemi aşınma durumunda, sürtünerek kullanılan parçaların ömrünü artırmıştır. Endüstriyel uygulamalar, ekstruzyon vidaları, silindirler, tekstil nozulları, zımbalama kalıpları, presleme kalıpları, seramik ve plastik kalıpları, döküm kalıpları, pres makaraları, miller vb. malzemelerin borlanması içerir. Borlama düşük alaşımlı çeliklerin asitlere karşı direncini artırabilir.

Şen (1998), yapmış olduğu doktora çalışmasında termokimyasal borlama işlemiyle AISI 5140, AISI 4140 ve AISI 4340 çeliklerinin yüzey performanslarının geliştirilmesi konusunu ele almıştır. Borlama işlemi, boraks, borik asit ve ferro silisyum esaslı sıvı banyoda, değişik süre ve sıcaklıklarda gerçekleşmiştir. Bor tabakası kalınlıkları, borlama süresi ve sıcaklığına bağlı olarak bir artış sergilediğini ve çeliklerin kimyasal bileşiminde bulunan alaşım elementinin etkili olduğunu, aşınma deneylerinde

borlanmış malzemelerdeki aşınma miktarı borlanmamış malzemelere kıyasla yedi kat daha az olduğu ve aşınma sırasında ölçülen sürtünme katsayısı değerlerinin 0.40-0.66 arasında değiştiğini borlama sonrasında kısa süreli tavlama ısıl işlemleri ile bu değerlerin 0.096-0.16 'ya düşebileceğini tespit etmiştir.

Çalık ve Özsoy (2002), çalışmalarında Ç1010 çeliğine iki türlü borlama işlemi uygulamıştır. Birinci grup deney koşullarında 900°C sabit sıcaklıkta 205 dakika süreyle Ç1010 çeliği normal borlamaya tabi tutulmuştur. İkinci grup deney koşullarında ise çelik aynı koşullarda 900°C sıcaklıkta 60 dakika bekleyerek ve sonra potayı fırın dışına alarak 5 dakika süre ile havada soğumaya terk edildikten sonra tekrar 900°C sıcaklıktaki fırında borlama işlemine devam edilmiştir. Bu işlem üç defa tekrarlanmış ve çelik yapılı numunelerin iç yapıları, sertlikleri ve tabaka kalınlıkları incelenmiştir. Normal borlama yöntemiyle tabaka kalınlığının termal çevrimli borlama yöntemine göre daha yüksek çıktığını tespit etmişlerdir.

Bozkurt (1984), bor yayınıyla çeliklerde yüzey sertleştirme konusunda çalışmıştır. Borlama maddesi olarak boraks kullanılmış ve sıvı ortamda borlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bor tabakasının özellikleri araştırılmıştır. Tabaka özelliklerine alaşım elementlerinin etkisi konusu incelenmiştir.

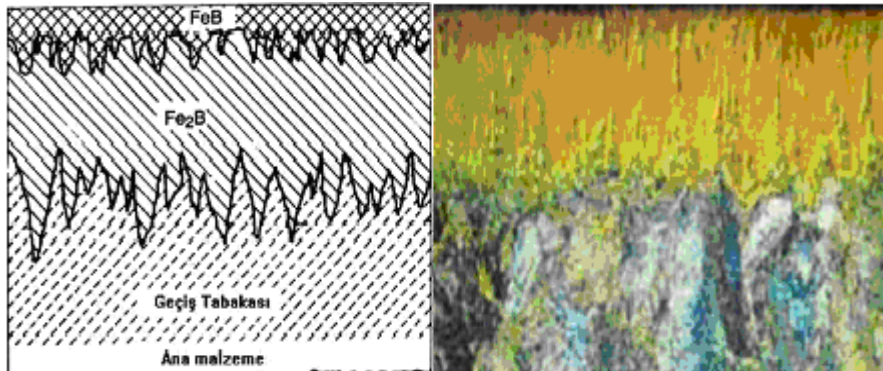
Taşçı (1993), borlanmış çeliklerin aşınma ve korozyon dirençleri ile ilgili bir araştırma yapmıştır. Borlanan çeliklerin birtakım asitlere karşı direnç kazandığını, kopma ve akma mukavemetlerinin %10-20, yorulma dayanımının %25 ve korozyonlu yorulma ömrünün %200 artırdığını ve buna bağlı olarak plastisite özelliklerini azaldığını bulmuştur.

Matiasovsky (1988), 2 grup, farklı kimyasal bileşimlere sahip çeliğe %80 boraks, %20 NaCl karışımında, 50 mA/cm² akım yoğunluğu ve 850°C'de, 2 çeliğe 1-6 saat borlama uygulanmıştır. 1.grup çeliğin kimyasal bileşimi %0,79 C, %0,17 Cr, %0,40 Si ve %2 Mn'dir. 2. Grup çeliğin kimyasal bileşimi %1,85 C, %11,25 Cr, %0,50 Si ve %0,26 Mn'dir. 1 numaralı çeliğin 1 saat borlama işlemine tabi tutulması sonucu elde edilen tabaka kalınlığı 70µm, maksimum sertliği ise 2324 HV'dir. 2 numaralı

çeliğin 4 saat borlanması sonucu elde edilen tabaka kalınlığı 105 μm , maksimum sertliği ise 2487 HV'dir.

2.5. Bor Tabakasının Özellikleri

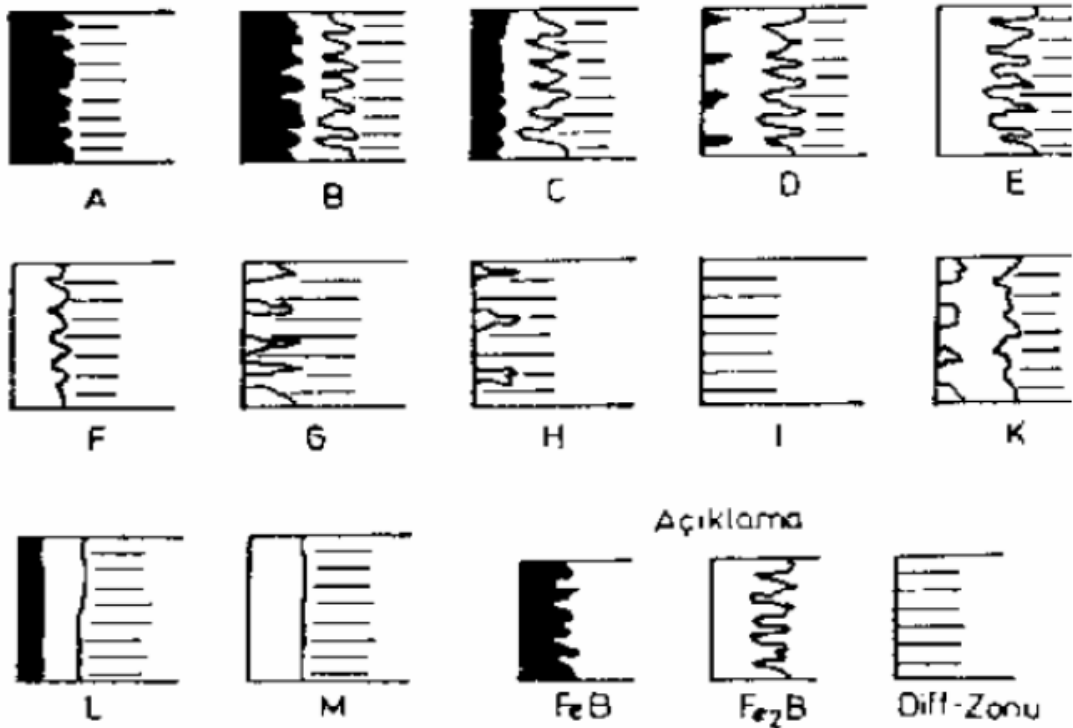
Çelik alaşımlarının borlanması işlemi tek fazlı ya da çift fazlı tabakaların oluşumu ile gerçekleşir. Tek fazlı bor tabakası Fe_2B içerir, çift fazlı bor tabakası da iç kısımda Fe_2B fazı ve dış kısımda ise FeB fazı içerir. FeB fazı yüksek gerilim altında kırılğan bir faz oluşturur. Borlama sonrası FeB ve Fe_2B fazlarının görünüşü Resim 2.1.'de verilmektedir. Bor kaplamada kırılğanlığının az olması, sünekliğinin iyi olması, sertliğinin yüksek olması sebebiyle Fe_2B tercih edilir. Az miktarda da olsa çoğu bor tabakasında FeB fazına rastlanır. FeB fazı sürekli değil ise mekanik özelliklere zararı olmaz, ancak sürekli olan bir FeB tabakası bir çift faz tabakasının $\text{FeB}/\text{Fe}_2\text{B}$ ara fazında çatlak oluşumuna yol açabilir. Borlu tabakaya bir kuvvet uygulandığında ve mekanik yada termal etki uygulandığında bu çatlaklar çift faz tabakasının parçalanma ya da ayrışmasına öncülük edebilir. Neyse ki sürekli FeB tabakaları oluşsa bile difüzyonla (tavlama) sertleştirme yöntemleri ile minimize edilebilmektedir. Aynı zamanda FeB oluşumunu en aza indirmek için kolayca elde edilebilen borlama tozları geliştirilmiştir. Bor tabakasının faz bileşimi ana malzemedeki alaşım elementlerinden de etkilenebilir. Tercih edilen yapı düşük karbonlu çelikler yada düşük alaşımlı çeliklerden elde edilen testere dişli yada tırtıklı bor tabakası yapısıdır. Bununla birlikte borlanmış tabakanın ortalama sertliği bor tabakası bileşimine ve ana malzemenin bileşimine de bağlıdır (Davis, 2002).



Resim 2.1. Borlama sonrası FeB ve Fe_2B fazlarının görünüşü (Şimşek, 2005)

Karbon pratikte demir borürler içerisinde çözünmediğinden, difüzyon bölgesinde karbon bariyeri oluşturarak borür katmanı altında çözünmeden kalacaktır. Difüzyon bölgesindeki karbon içeriğinin artışı sadece bor tabakası kalınlığını azaltır, aynı zamanda dış yapıda azalır. Testere dişli yapı yüksek alaşım elementi içeren çeliklerde ve yüksek karbon içeren çeliklerde daha az belirgindir. Yüksek karbonlu çeliklerin borlanması işleminde, bor tabakası ana malzemeye düz ve zayıf bağlanma eğilimindedir (Milinović ve ark., 2012).

Borlama işlemi sonucunda demir matrisli malzemelerde yüzeyde FeB, Fe₂B ve geçiş bölgesi oluşabilmektedir. Bu faz yapıları tek olarak ya da birkaç yapı bir arada olacak şekilde kombine olabilirler. Şekil 2.3.'te bu faz yapılarının kombinasyonları verilmiştir (Ayter, 2005).



Şekil 2.3. Borür tabakalarının sınıflandırılması

- A: Tek fazlı tabaka, sadece FeB
- B: İki fazlı tabaka, Fe₂B ve FeB. (Tam tabaka)
- C: İki fazlı tabaka, FeB tabakası B'dekinden daha ince.

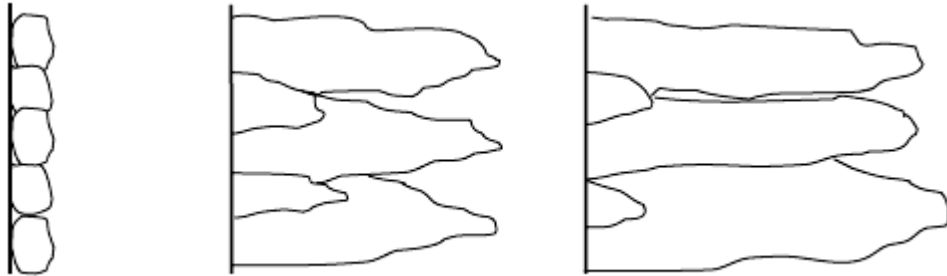
- D: İki fazlı tabaka, fakat FeB dişleri izole edilmiş.
 E: Tek fazlı tabaka, sadece Fe₂B, güçlü dişler.
 F: Tek fazlı tabaka, sadece Fe₂B, daha az kuvvetli dişler.
 G: Bağımsız Fe₂B dişli tabaka.
 H: İzole edilmiş Fe₂B tabakası.
 I: Geçiş bölgesi
 K: Dejenere olmuş tabaka.
 L: İki fazlı FeB ve Fe₂B tabakası, düzgün gelişmiş, dişsiz
 M: Tek fazlı FeB ve Fe₂B tabakası, düzgün gelişmiş, dişsiz

Çizelge 2.7. Demir borürlerin bazı fiziksel özellikleri (Matuchka, 1980)

ÖZELLİK	Fe ₂ B	FeB
Bileşim (%B ağı.)	8.83	16.23
Kafes yapısı ve parametreleri (°A)	Tetragonal h.m a=5.078, c=4.249	Ortorombik a=4.053, b=5.495, c=2.946
Teorik yoğunluk (g/cm ³)	7.43	6.75
Ergime noktası (°C)	1390	1550
Isıl iletkenlik (w) katsayısı(w/cm°C)	0.2-0.3	0.1-0.2
Isıl genleşme katsayısı (K ⁻¹) 200-600°C	7. 85. 1 O ⁻⁶	23.10 ⁻⁶
100-800°C	9.2.1 O ⁻⁶	
Young modülü (kg/mm ²)	30000 29000	60000
Özdirenç (20°C) (μohmem)	38	80
Curie sıcaklığı (°C)	742	325

2.5.1. Bor tabakasının oluşumu

Borlamanın ilk aşaması borlayıcı ortam ve metalin yüzeyinde reaksiyon başlamasıdır. Bor taneleri yüzeyde çekirdek oluşturur. Borlama süresinin artması sonucu ara yüzeyde çekirdek oluşumu artar ve ince bir bor fazı tabakası oluşur. Bor, çeliğin yüzeyinde Fe_2B ve FeB şeklinde yayılır. Şekil 2.4.'te görüldüğü gibi borlama işlemi sürecinde, ilk borür çekirdeği çeliğin yüzeyinde oluşur, oluşan ilk borür çekirdeği numune içinde büyür. Bor atomları kafes yapıda FeB ve Fe_2B olarak 001 boyunca yönlenir ve FeB/Fe_2B 001 yönünde yani yüzeye dik olarak diğer yönlerden daha hızlı büyür. Borür tanelerinin diğer yönlerde büyümesi 001 yönüne göre daha yavaş olduğundan kolonsal yapı oluşmaktadır. Yüzeyde önce Fe_2B fazı oluşur, daha sonra ortamda yeterli bor konsantrasyonu bulunuyorsa kırılğan ve çok sert bir yapıya sahip FeB fazı da oluşur. Çeliğin yüzeyinde oluşan Fe_2B fazı uzun bir sürede büyür. Borlamanın son aşamasında sadece FeB fazı oluşur. FeB fazı Fe_2B fazından daha kısa sürede büyür. Bu yüzden FeB fazı, Fe_2B fazı kadar güçlü değildir (Xu, 2000).



Şekil 2.4. Borlama sırasında borür tabakasının oluşumu (Bayça ve Şahin 2004)

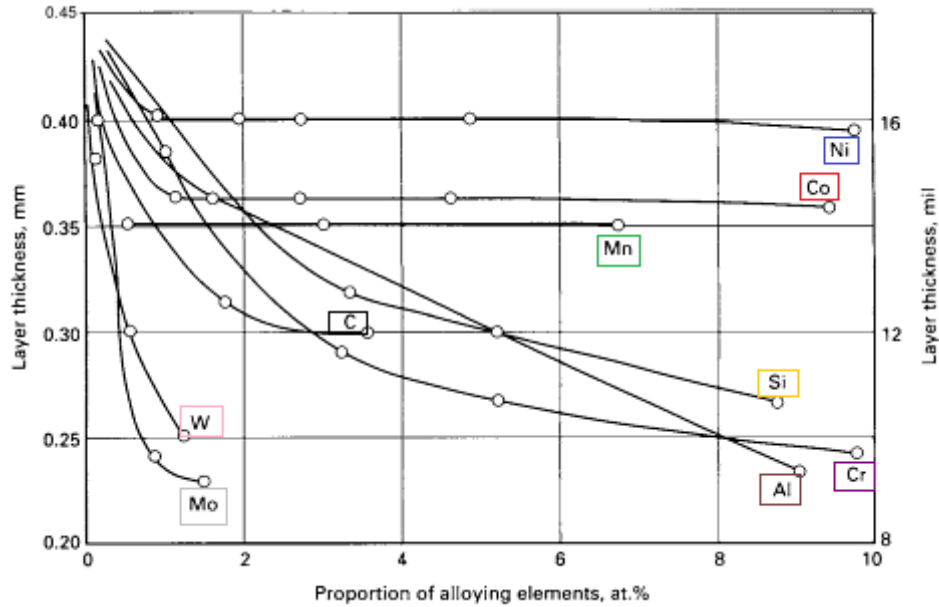
2.5.2. Geçiş bölgesi

Borür tabakası ile ana yapı arasında kalan bölgeye geçiş bölgesi denilmektedir. Çeliğin bileşiminde bulunan alaşım elementleri, empürite elementler geçiş bölgesinde borlama işlemi esnasında sıcaklığın etkisi ile yeniden dağılıp şekillenirler. FeB ve Fe_2B fazları C, Si gibi elementleri çözündüremediği için yüzeyden içeri doğru itilir ve geçiş bölgesi oluşur. Geçiş bölgesinde bulunan bor, borür bileşikleri oluşturamayacak kadar az

sayıdadır ve sonuç olarak bu geçiş bölgesinin meydana geldiği bilinmektedir. Geçiş bölgesinin yapısı, mikro yapı bakımından ana yapı ve bor tabakasından farklı olmakla birlikte bu bölgenin kalınlığı, borür tabakasının kalınlığının 10-15 katı kadardır. Bor, tane irileşmesine neden olduğundan geçiş bölgesinde malzemenin taneleri irileşmekte ve sertliği azalmaktadır. Malzeme yüzeyinde açık renkli oluşan dış şeklindeki borür tabakası ile ana malzeme arasında geçiş bölgesi olarak isimlendirilen bölge oluşur (Çarkçı, 2012).

2.6. Alaşım Elementlerinin Bor Tabakası Üzerine Etkisi

Borlanmış çeliklerin mekanik özellikleri bor tabakasının yapı ve bileşimine bağlıdır. Bor tabakasının karakteristik testere dişli yapısı saf demir, alaşımsız düşük karbonlu çelik ve düşük alaşımlı çeliklerde sık görülür. Alaşım elementlerinin çeliğin içerisine difüzyonu engellemesi nedeni ile borun difüzyonu engellenir. Alaşım elementleri bor tabakasının büyümesini engeller. Şekil 2.5.'te alaşım elementlerinin bor tabakasının kalınlığına etkisi gösterilmiştir (Davis, 2002).



Şekil 2.5. Bor tabakası kalınlığına çeliklerde bulunan alaşım elementlerinin etkisi (Davis, 2002)

2.6.1. Karbon

Karbon bor tabakası içerisinde çok iyi çözünmez ve bor tabakasına difüze olmaz. Borlama esnasında karbon elementi ana yapı ve bor tabakasından uzaklaştırılır, bor ile birlikte borosementit $Fe_3(B_4C)$ [ya da daha uygunu Fe- %0,08 C içeren $Fe_3(B_{0,67}C_{0,33})$ çeliğin] ana yapı ve Fe_2B arasındaki tabakada ayrıştırılır (Davis, 2002).

2.6.2. Silis ve Alüminyum

Silis ve Alüminyum, Karbon gibi bor tabakasında çözünmez ve bu elementler bor tarafından yüzeye itilir, Fe_2B tabakasının altında Fe_3SiB_2 ve $FeSi_{0,4}B_{0,5}$ önündeki yerini değiştirir. Ferrit formundaki elementlerin yüksek alaşımli çelikler borlamada kullanılamaz, çünkü normal bor tabakasının aşınma direncini azaltır. Bu bor tabakasının altında iç kısımdan daha yumuşak bir ferrit bölgesi oluşur (Davis, 2002).

2.6.3. Nikel

Yüksek nikel içeren çeliklerin dış yapısında ve bor kalınlığında bir derece azalma oluşabilir. Nikelin bor tabakasının altında yoğunlaştığı gözlenmiştir. Ni,Fe_2B tabakasına girer ve bazı örneklerde FeB tabakası Ni_3B çökmesini destekler (Davis, 2002).

2.6.4. Krom

Krom borlu tabakanın yapısını ve özelliklerini önemli ölçüde değiştirir. Ana malzemedeki krom içeriğinin artması, aşağıdaki etkileri ortaya çıkarır (Davis, 2002).

2.7. Bor Tabakasının Kalınlığı

Borür tabakasının kalınlığı borlanan çeliğin cinsi, borlama ortamının bileşimi, borlama işleminin şekli, sıcaklık ve süre gibi faktörlere bağlıdır. Bor tabakası kalınlığı teorikte sınırsızdır. Bu durum işlem süresi ve işlem sıcaklığının artmasıyla mümkün olabilir

(Baştürk, 2006).

Borlama işlemi sonucunda yüzeyde oluşan borür tabakası dış formundadır. Oluşan bu tabaka sıcaklığın etkisi ile yüzeyin kimyasal yapısının değişmesi sonucu meydana gelmektedir. Çeliğin yüzeyinde oluşan dişli yapıya sahip bor tabakasının bileşimi FeB ve Fe₂B bileşiklerinden oluşan kimyasal yapıya sahiptir. Bazen iki tabaka birlikte oluşur ya da tek tabakalı, sağlam yapılı Fe₂B fazı oluşur. FeB fazı Fe₂B fazından daha sert ve daha gevrek bir yapıya sahiptir. Tabaka kalınlığını engelleyen faktörlerden biri de kırılgenliktir. Bor tabakası kalınlığı arttıkça kırılgenlik de artar. Özellikle çift fazlı tabakalarda kalınlığın fazla olmaması gerekir (Arat, 2011).

Bor verici maddelerin borlama ortamında yeterli miktarda bulunması bor tabakası kalınlığını artırmada etkilidir. Bor tabakası oluşumu borlama işlemi sırasında bor kaynağında bor kalmaz ise durur. Bu yüzden ince bir borür tabakası oluşur. B₄C'den Bor elementinin serbest bırakılması için ortamda redüksiyonu sağlaması için redüktan bulunmalıdır. Redüktan bir madde olan SiC'ün B₄C ile aynı ortamda ısıya tabi tutulması ile elementel bor elde edilir. Serbest kalan borun oksijen ile tepkimeye girme isteği çok yüksektir, bunu önlemek için ortamda yeterince SiC bulunmalıdır (Bayça ve ark., 2004).

2.8. Sertlik

Borlama işlemi ile yüzeyde oluşan sertlik FeB ve Fe₂B fazlarına ve ana malzeme cinsine bağlıdır. Borlama işlemi sonucunda oluşan sertlik değeri oldukça yüksektir. Fe₂B fazı FeB fazına göre oldukça sağlam ve kararlı bir yapıdadır. FeB fazı kararsız, sert ve gevrek bir yapıya sahiptir. Borlama sonucu sertlik; karbon çeliklerinde 1800-2000 HV, alaşımlı çeliklerde 2500-2800 HV, titanyumda ise 3000 HV dolaylarındadır.

Borlu tabaka 900°C'a kadar sertliğini korur, bu durum çeliğe yapılacak ısıl işlemler için geniş bir sıcaklık aralığı oluşturmaktadır. Borlu tabaka daha sonraki ısıl işlemlerde de mevcut sertliğini korur. Borlama işlemi sonunda oluşan bor

tabakalarının yapıları ana malzeme içindeki alaşım elementlerine bağlı olarak değişebilmektedir (Baştürk, 2006).

Bor kaplama ile yüzey sertleştirme, termokimyasal bir yüzey sertleştirme yöntemidir. Bor kaplama işleminde bor yüksek sıcaklıkta çelik yüzeyine difüze olur. Borlamada çelik yüzeyinde tek fazlı, kararlı ve sert yapıdaki Fe_2B tabakası elde edilmesi amaçlanır. Borlanmış yüzeylerin aşınma direnci artar, sürtünme katsayısı azalır ve malzemenin yüksek sıcaklıklara çıkıldığında da sertlik ve aşınma dayanımı özellikleri en iyi seviyededir (Ünlü ve ark., 2006).

2.9. Korozyon

Ortamdaki kimyasal ve elektrokimyasallardan etkilenen metalik malzemelerde ortaya çıkan hasar ve kayıplara korozyon denir. Malzemeler rutubet ve kimyasal bileşenlerin bulunduğu bir ortamda reaksiyona girerler. Bu durum korozyonu, kuru hava ile reaksiyon ise oksidasyonu meydana getirir. Bu olumsuz sonuçları ortadan kaldırmak için malzemelerin yüzeyleri kaplanabilir (Uzun, 2002).

Bor ile kaplanmış olan malzemelerin aşınma ve korozyon dayanımını borlama işlemi artırır. Borlanmış çeliklerin yüzeyindeki porozite ve mikro çatlaklardan dolayı korozyon direnci azalmaktadır. Kaplama mekanizması porozite ve çatlağa sahip ise ana malzemeye korozyon ortamının girişine izin vermektedir (Campos, 2007).

Borür tabakasının korozyon direnci suya ve atmosfere karşı düşüktür ancak HCl, H_2SO_4 ve H_3PO_4 gibi asitlere karşı direnci yüksektir. Bunun yanı sıra alüminyum, kurşun ve çinko gibi metallerin sıvı banyolarında borlu malzemelerin korozyon direnci çok yüksektir (Bayça ve ark., 2004).

2.9.1. Korozyon çeşitleri

Korozyon dayanımları çeşitli ortamlarda değişik etki ve mekanizmalara karşı birbirinden farklı özellik göstermektedir. Korozyon; korozyona uğrayan metalin

türüne, korozif ortam türüne, metal ve alaşımına, korozyon mekanizmasına ve korozyondan korunma yöntemine göre farklı şekilde sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmalar aşağıda sırasıyla verilmektedir (Anatürk, 2012).

- Uniform (homojen) korozyon
- Galvanik korozyon
- Çukur (pitting) korozyonu
- Taneler arası korozyon
- Filiform (ipliğimsi) korozyon
- Seçimli korozyon
- Erozyonlu korozyon
- Yorulmalı korozyon

2.9.1.1. Uniform (homojen) korozyon

Birbirine yakın konumdaki mikroanot ve mikrokatot bölgeleri arasındaki elektrokimyasal etki ile ortaya çıkmaktadır. Genel korozyon olayı fazla tehlike oluşturmaz. Uniform korozyonda, metal kalınlığı her noktada aynıdır. (Yalçın ve ark., 1998).

2.9.1.2. Galvanik korozyon

Korozyon hızı, galvanik bir hücrede anot ve katot arasındaki potansiyel farkına bağlıdır. Polarizasyon sebebiyle bu fark zamanla azalır. Katot bölgesinde görülen polarizasyon galvanik korozyon hızına, çevre elektrolitin iletkenliği ile katot ve anot yüzey alanı oranları da etki yapmaktadır. Elektrolitin iletkenliği yüksek seviyede ise korozyon geniş bir alana yayılır. Galvanik korozyon iletkenliğin düşük olması durumunda iki metalin temas ettiği bölgede dar bir alanda ortaya çıkar (Perez, 2004).

2.9.1.3. Çukur (Pitting) korozyonu

Metal yüzeyinin herhangi bir noktasında oluşan bir anodik reaksiyon ile çukur korozyon başlar. Elektrolit çözeltinin hızla aktığı ortamlarda çukur korozyon

oluşamaz. Çukur korozyon yalnızca durgun çözeltiler içerisinde ortaya çıkabilir. Çukur korozyonu genel olarak, akış hızının azaldığı bölgelerde yani tanklarda ve borularda kendini gösterir (Yalçın ve ark., 1998).

2.9.1.4. Taneler arası korozyon

Metaller katı kristal halindeki yapılardır. Bu kristal yapı içinde metal atomları düzgün olarak dağılırlar. Demir ve çelik kübik merkezli kristal yapıya sahiptirler. Metallerin taneler arası korozyonunda kristal yapıları etkilidir. Taneler arasında bulunan dar bölgelerde kristal yapı düzensiz durumda olup bu bölgeler çeliğin korozyona en dayanımsız olduğu bölgelerdir. Taneler arasında bulunan herhangi bir safsızlıktan dolayı, çeliğin içerisinde bir alaşım elementinin daha fazla bulunması veya bulunmaması nedeniyle taneler arası korozyon oluşur (Yalçın ve ark., 1998).

2.9.1.5. Filiform (İpliğimsi) korozyon

Filiform korozyon kaplamanın zayıf bir noktasında başlayıp bu noktada kabuk altına atmosferden oksijen ve su girişi olur. Korozyonun başladığı noktada oksijen konsantrasyonu maksimumdur ve korozyonun ilerlediği yönde gittikçe azalmaktadır. Korozyon sonucu metal hidroksiti ve hidrojen iyonları oluşur. Bu nedenle korozyon olayı daima uç noktadan ileriye doğru oluşur (Yalçın ve ark., 1998).

2.9.1.6. Seçimli korozyon

Bir alaşım içinde bulunan elementlerden birinin korozyona uğrayarak uzaklaştırılması sonucu oluşan korozyon olayıdır. Seçimli korozyona en iyi örnek, pirinç alaşımı içinde bulunan çinkonun bakırdan önce korozyona uğramasıdır. Az miktarlarda arsenik, antimon veya fosfor katkısı inhibitör olarak etki yapar ve korozyonu yavaşlatır.

2.9.1.7. Erozyonlu korozyon

Korozif çözeltilinin metal yüzeyinden hızla akması halinde korozyon olayı meydana gelir. Korozyonla birlikte, korozyon ürünlerinin akışkan tarafından sürüklenerek götürülmesinden dolayı erozyon olayı da oluşur ve bu durum korozyon hızının artmasına neden olur. Akış hızı arttıkça erozyon etkisi de artar. Olayın şiddetini akışkan içinde katı partikül bulunması artırmaktadır (Yalçın ve ark., 1998).

2.9.1.8. Yorulmalı korozyon

Dinamik bir basınç altında bulunan metal zamanla yorulur. Metalin kısa sürede çatlaması yorulma ve korozyonun birlikte etkisine bağlıdır. Korozif ortamda çekme, basınç gerilmelerinin periyodik olarak değişmesi sonucu yorulmalı korozyon ortaya çıkar. (Yalçın ve ark., 1998).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çelik malzemelerin yüzeylerinin sertleştirilmesi uygulamaları içerisinde borlama termokimyasal işlemi önemli bir yer tutmaktadır. Bu çalışmada, AISI 1045, St 50-2, C-22 çelikleri farklı sıcaklık ve sürelerde borlama işlemine tabii tutularak yüzey sertliği, mikro yapı ve faz analizlerinin belirlenmesi için deneysel çalışmalar yapılmıştır ve bor kaplama işleminin korozyona etkisi, korozyon dirençleri hakkında yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Karbon çelikleri sınıfına giren bu çelikler 2, 4 ve 6 saat sürelerle 860, 900 ve 940°C sıcaklıklarda, 304 kalite çelikten imal edilmiş 10x10x10 cm³ boyutlarındaki, 2 mm kalınlığındaki çelik kutuda, Ekabor 2 tozu içerisine yanlardan, alttan ve üstten 2 cm olmak üzere yerleştirilmiştir, deoksidan (ekrit) olarak en üst tabakaya SiC tozu eklenmiştir. Bor sağlayıcı olarak kullanılan “Ekabor 2” adlı bor tozlarının tane büyüklükleri (75 – 106 µm) arasındadır. Ekabor 2'nin içeriği; B₄C – SiC – KBF₄ şeklindeki bir bor sağlayıcı bileşik olup içeriğindeki bileşiğin oranları *Vezneli A.Ş. (Salihli-MANİSA)* firması tarafından açıklanmamaktadır. Kurulan bu düzenek gaz atmosferli fırında borlama ısıl işlemine tabi tutulmuştur. Borlama ısıl işleminden sonra kutuda soğutulan numuneler, kutudan çıkartılıp temizlenmiştir.

Bu çelikler sürekli aşınmaya ve basma gerilimine maruz olan dişli çarklar, kancalar, manivelalar, miller, kalıp, pres altlıkları, civata, somun imalinde kullanılır. Borlama yöntemi olarak ‘Katı (Kutu) Borlama’ yöntemi kullanılmıştır. Katı ortamda yapılan borlama işlemi ile bor tabakasının kalınlığının ve sertliğinin arttığı gözlemlenmiştir.

3.1. Deneylerde Kullanılan Çelikler

Bu deneysel çalışma için AISI 1045, C-22 ve St 50-2 numuneleri 30 mm çapında ve 6 mm kalınlığında kestirilip hazırlanmıştır. Çalışmada kullanılan AISI 1045, C-22 ve St 50-2 çeliklerinin kimyasal kompozisyonları Çizelge 3.1.’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Çeliklerin Kimyasal Kompozisyonları

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	Cu	Ti	Nb	V	W	Fe
AISI 1045	0,44	0,2	0,77	0,03	0,03	0,09	0,05	0,02	<0,01	0,194	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	98
C-22	0,19	0,16	0,77	0,04	0,04	0,10	0,06	0,04	<0,01	0,26	<0,01	<0,01	<0,01	0,05	98
St 50-2	0,14	0,20	1,38	0,03	0,02	0,02	0,03	<0,01	0,08	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	0,04	97,8

Borlama işlemi UNCULU ISIL İŞLEM A.Ş.(ÇORUM)'da, 1100 °C sıcaklık kapasitesi ± 5 °C hassasiyetli mikro işlemci kontrollü elektrik rezistanslı, dijital göstergeli ve 860 mm çap, 1200 mm uzunluğundaki ısıtım fırınında gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada borlama tozu olarak bileşimi patentlerle korunan, Vezneli A.Ş. (Manisa-Salihli) den temin edilmiş olan ticari Ekabor2 tozu, ekrit (deoksidan) olarak SiC maddesi ve borlama ortamı olarak 10x10x10 cm³ ebatlarındaki paslanmaz çelik kap kullanılmıştır (Resim 3.1.)

Deneysel çalışmada kullanılan numunelere aşağıdaki gibi kodlama yapılmıştır (Çizelge 3.2.)

Çizelge 3.2. Borlama deney programı ve numune kodlamaları

NUMUNE	NUMUNE KODU	BORLAMA SICAKLIĞI (°C)	BORLAMA SÜRESİ (Saat)
AISI 1045	A-1	860	2
	A-2	900	2
	A-3	940	2
	A-4	860	4
	A-5	900	4
	A-6	940	4
	A-7	860	6
	A-8	900	6
	A-9	940	6
St 50-2	S-1	860	2
	S-2	900	2
	S-3	940	2
	S-4	860	4
	S-5	900	4
	S-6	940	4
	S-7	860	6
	S-8	900	6
	S-9	940	6
C-22	C-1	860	2
	C-2	900	2
	C-3	940	2
	C-4	860	4
	C-5	900	4
	C-6	940	4
	C-7	860	6
	C-8	900	6
	C-9	940	6



a



b



c



d

Resim 3.1. a) Borlama işleminin gerçekleştirildiği 10x10x10 cm³ebatlarındaki paslanmazçelik b) Borlama işlemi için hazırlanmış çelik numuneler c) Borlama işlemi düzeneği d) Borlama işlemine tabi tutulmuş numuneler.

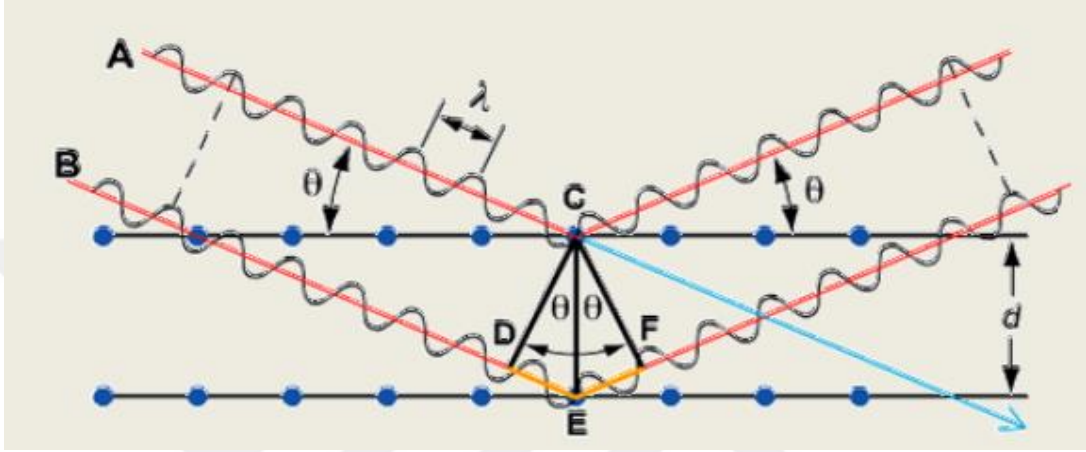
3.2. Sertlik Analizleri

Yüzeyleri 2, 4 ve 6 saat sürelerde 860, 900 ve 940°C sıcaklıkta bor ile kaplanmış AISI 1045, C-22 ve St 50-2 çeliklerinin sertlik testi *Digirock Hardness Tester* adlı cihaz ile 50 g yük altında ölçülmüştür. Ölçümler dıştan içeriye doğru yapılmıştır. Ölçümlerde Vickers sertlik ölçüm yöntemi kullanılmıştır. Sertlik ölçümünde amaç bor ile kaplanmış malzemenin yüzeyindeki sertlik artışını gözlemlemektir.

3.3. X Işını Kırınım Analizleri

X ışını kırınım analizi *Afyon Kocatepe Üniversitesi AKÜTUAM* biriminde Shimadzu

marka XRD- 6000 model, Bakır (Cu) x ışını tüpüne sahip, 1,544°A dalga boyuna sahip Bakır K α X-ışını kullanılmakta olan cihazda yapılmıştır. Numune üzerine gönderilen dalga boyu bilinen x-ışınları farklı açılarda Bragg kanununa göre malzemedeki düzlemler tarafından kırınıma uğratılmıştır.



Resim 3.2. Bragg kanunu

$$EF = d \sin \theta$$

$$DE = d \sin \theta$$

$$DE + EF = 2d \sin \theta$$

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

d düzlemler arası uzaklık ve n kırınımın mertebesidir.

Bragg yansıması $n\lambda \leq 2d$ şartı sağlandığında gerçekleşir. Resim 3.2.'deki gibi saçılma açısı (2θ) ölçülür. $\sin(\theta)$ değeri Bragg yasasında yerine yazılarak, düzlemler arasındaki uzaklık (d_{hkl}) hesaplanır. Başka bir deyişle, kırınıma uğrayan düzlemin yönelimi belirlenir. Kırınıma uğrayan ışının şiddeti (I_{hkl}) ölçülür. Bu şiddet değeri kullanılarak kristal yapı faktörü (F_{hkl}) hesaplanır. F_{hkl} yardımıyla birim hücredeki atomların dizilişi belirlenir. Her d değeri 2θ açısı ile bağlantılı olarak pik verir ve çok sayıda d uzaklığı olduğu için, kristal örgünün “ d değerler serisi” ile karakterizasyonu yapılır (Callister, 1994). Bu yöntemde X-ışınlarının kristal örgülerindeki kırınımlardan

yararlanılır. Teknolojik olarak geliştirilmiş (Resim 3.3.) cihazlarla difraksiyon paternleri ölçülmektedir.



Resim 3.3. Shimadzu marka XRD- 6000 model X ışınları Kırınım Cihazı

3.4. Mikroyapı Analizi

Numuneler öncelikle *Kızılırmak Döküm A.Ş. Kalite Kontrol Laboratuvarı'nda (ÇORUM) METKON Metacut 250 marka* Resim 3.4.'te verilen hassas kesme cihazıyla kesilmiştir.



Resim 3.4. Hassas Kesme Cihazı

Hassas kesme cihazı ile kesilen numuneler *Ecopress 50 Mounting Press* (Resim 3.5.) bakalitleme cihazı ile bakalitlenmiştir.



Resim 3.5. Bakalit cihazı

Mikro yapı incelemelerine başlamadan önce numuneler sırasıyla 220, 400, 600,800 ve 1200 mesh zımparalarla aşındırılmıştır. Parlatma için elmas suyu kullanılmıştır. Zımparalama ve parlatma yapmak için *Metkon Forcipol 2V* cihazı(Resim 3.6.) kullanılmıştır.



Resim 3.6. Zımparalama ve parlatma cihazı

Numunelerin mikro yapı görüntüleri ve borür tabaka kalınlıkları Afyon Kocatepe Üniversitesi AKÜTUAM biriminde LEO 1430 VP model SEM cihazı (Resim 3.7.) ile alınmıştır.



Resim 3.7. Taramalı elektron mikroskobu

4. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu çalışmada Çizelge 3.1.'de kimyasal kompozisyonları verilen AISI 1045, St 50-2 ve C-22 çeliklerinin farklı sıcaklık ve sürelerde termokimyasal bir sertleştirme yöntemi olan katı borlama yöntemi ile borlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Borlama işlemi 304 çeliğinden imal edilmiş borlama kabında gerçekleştirilmiştir. Borlama tozu olarak kullanılan Ekabor2 tozu çelik numunenin altında, üstünde, sağında ve solunda 2 cm kalınlığında olmak üzere numuneyi kaplamıştır. Borlama tozunun en üstüne SiC tozu deoksidan (ekrit, oksijen tutucu) olarak kalın bir tabaka şeklinde yayılmıştır. Bu çalışmada kullanılan çeliklerin kimyasal bileşimi ve işlem şartlarına bağlı olarak, mikroyapının ve çeliğin yüzeyinde oluşan borür tabakasının özelliklerinin, faz dağılımlarının değiştiği belirlenmiştir.

4.1. SEM Analiz Sonuçları

860°C, 900°C ve 940°C sıcaklıkta, sırasıyla 4 ve 6 saat sürelerde, yüzeyleri bor ile kaplanmış düşük karbonlu çelik olan St 50-2, C-22 ve orta karbonlu çelik olan AISI 1045 numunelerinin SEM analiz görüntüleri elde edilmiştir. Borlama işlemine tabi tutulmuş olan AISI 1045, C 22 ve St 50-2 numunelerinin SEM analizi incelemeleri sonucunda borür tabakası ve ana yapının(matris) fotoğrafları çekilerek borür tabakası ve ana yapının yapısal durumu tespit edilmiştir. Çizelge 4.1.'de yüzeyleri bor ile kaplanmış olan AISI 1045, C-22 ve St 50-2 numunelerinin sıcaklık ve süreye bağlı olarak ortaya çıkan ortalama bor tabakası kalınlıkları sunulmuştur. Bor tabakası kalınlıkları SEM görüntülerinden elde edilmiştir. Borür tabakalarının 5 noktasından alınan ölçümle ortalama bor tabakası kalınlığı (μ) elde edilmiştir.

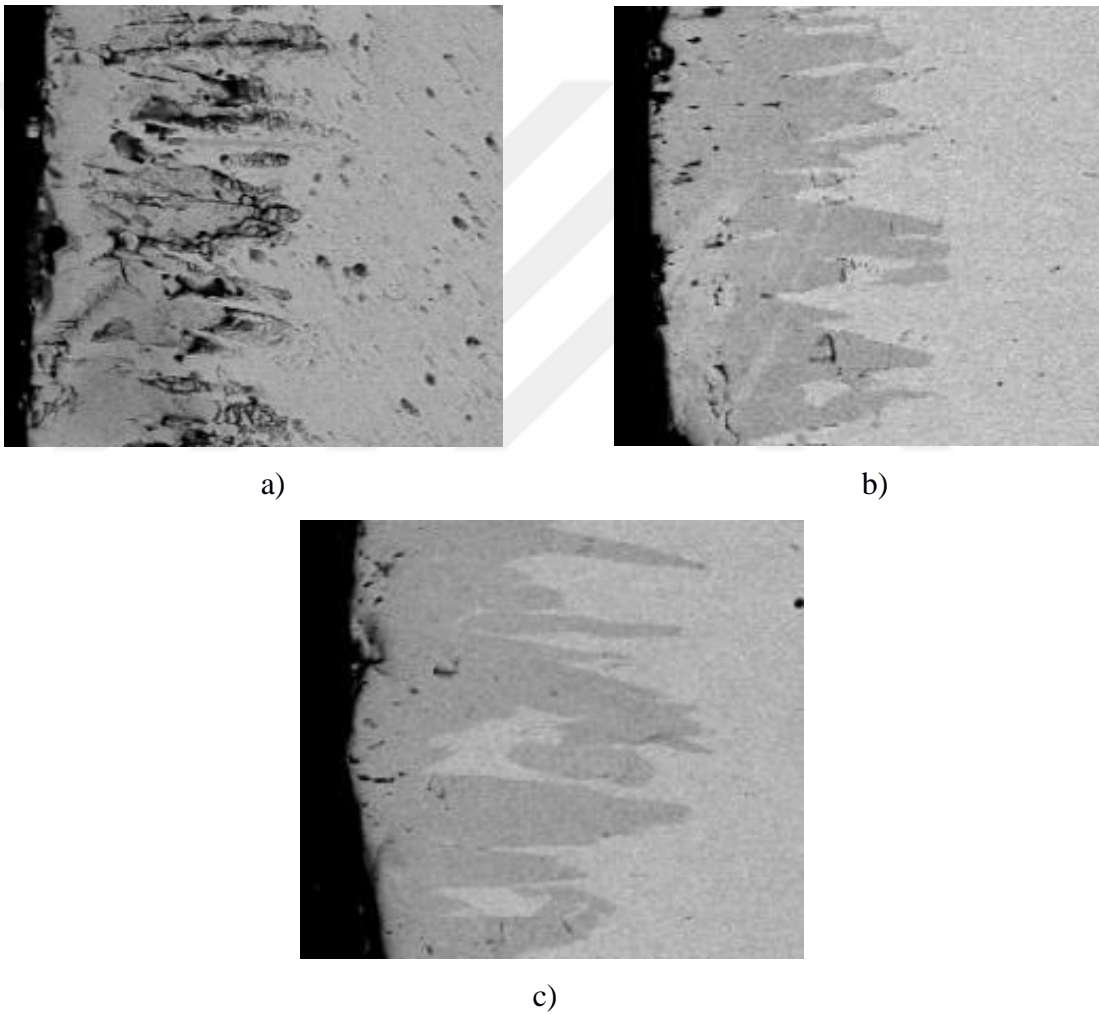
Çizelge 4.1. 4 ve 6 saatlik sürelerle 860, 900, 940°C sıcaklıklarda borlanmış AISI 1045, C-22 ve St 50-2 numunelerinin ortalama bor tabakası kalınlıkları

Numune Adı	Numune Kodu	Borlama Süresi (SAAT)	Borlama Sıcaklığı (°C)	Ortalama Bor Tabakası Kalınlığı (μ)	
AISI 1045	A-4	4 SAAT	860	66,88	
	A-5		900	63,03	
	A-6		940	117,83	
	A-7	6 SAAT	860	94,19	
	A-8		900	64,75	
	A-9		940	131,4	
	C-22	C-4	4 SAAT	860	77,91
		C-5		900	51,21
		C-6		940	92,66
C-7		6 SAAT	860	92,05	
C-8			900	73,02	
C-9			940	125,13	
St 50-2		S-4	4 SAAT	860	72,64
		S-5		900	38,04
		S-6		940	85,08
	S-7	6 SAAT	860	85,04	
	S-8		900	69,90	
	S-9		940	86,83	

Çizelge 4.1.'de SEM analiz sonuçlarından elde edilen bor tabakası kalınlıkları görülmektedir. SEM analizi yapılan her numunenin 5 ayrı noktasından alınan bor tabakası kalınlık değerlerinin ortalama değerleri verilmiştir. Borlama süresinin ve sıcaklığın artışı ile ortalama bor tabakası kalınlığının arttığı gözlemlenmiştir. Bu sonuç literatür verileri tarafından da desteklenmektedir.

860, 900 ve 940°C sıcaklıklarda sırasıyla 4 ve 6 saat sürelerle borlanmış çelik numuneler SEM analizlerine tabii tutulmuştur. Borlama işlemi sonrasında SEM sonuçlarında, borür tabakasının AISI 1045, St 50-2 ve C-22 numunelerinde homojen bir kalınlığa sahip olduğu görülmüştür. Kolonsallığın ise malzemenin bileşimine, işlem sıcaklığına ve süresine göre farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir.

Resim 4.1.'de 860°C'de 4 saat süre ile bor ile kaplanmış AISI 1045, C-22 ve St 50-2 numunelerinin SEM analizi görüntüleri görülmektedir.

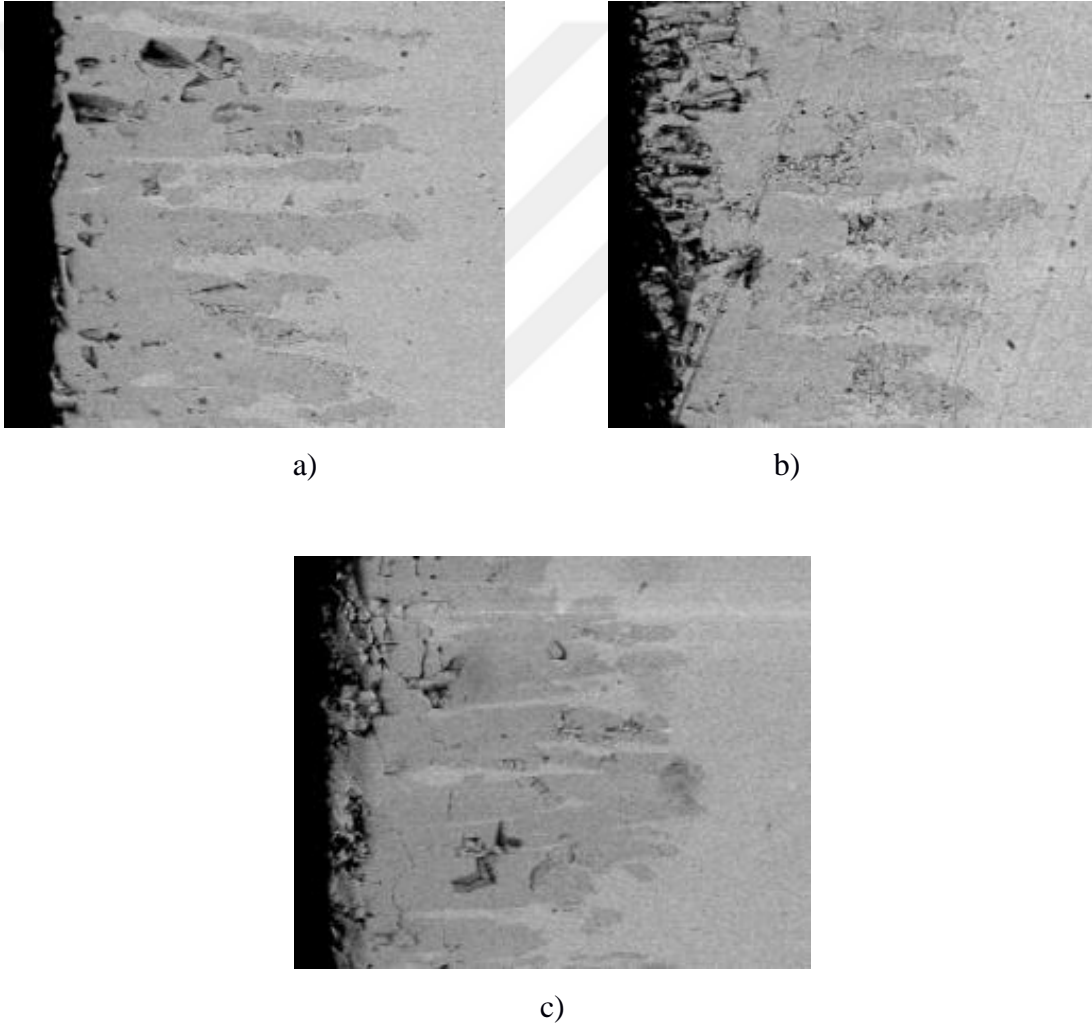


Resim 4.1. 860°C'de 4 saat süre ile borlanan çeliklerin SEM görüntüsü a) AISI 1045 b) C-22 c) St 50-2

Termal difüzyon metodu ile gerçekleşen borlama işlemi ile bor, düşük karbonlu çelik olan St 50-2, C-22 ve orta karbonlu çelik olan AISI 1045 numunelerinin yüzeyine Resim 4.1.'dekigibi kolonsal bir yapıda nüfuz etmiştir. AISI 1045 numunesinin

ortalama bor tabakası kalınlığı 66,88 μ , C-22 numunesinin ortalama bor tabakası kalınlığı 77,91 μ , St 50-2 numunesinin ortalama bor tabakası kalınlığı 72,64 μ olarak ölçülmüştür. Çelik içerisinde bulunan karbon elementinin borür tabakasının yapısını etkilediği görülmüştür. Karbon elementi, bor elementinin çeliğin içerisine yayılmasını engellemiştir.

Resim 4.2.'de 860°C'de 6 saat süre ile bor ile kaplanmış AISI 1045, C-22 ve St 50-2 numunelerinin SEM analizi görüntüleri görülmektedir.

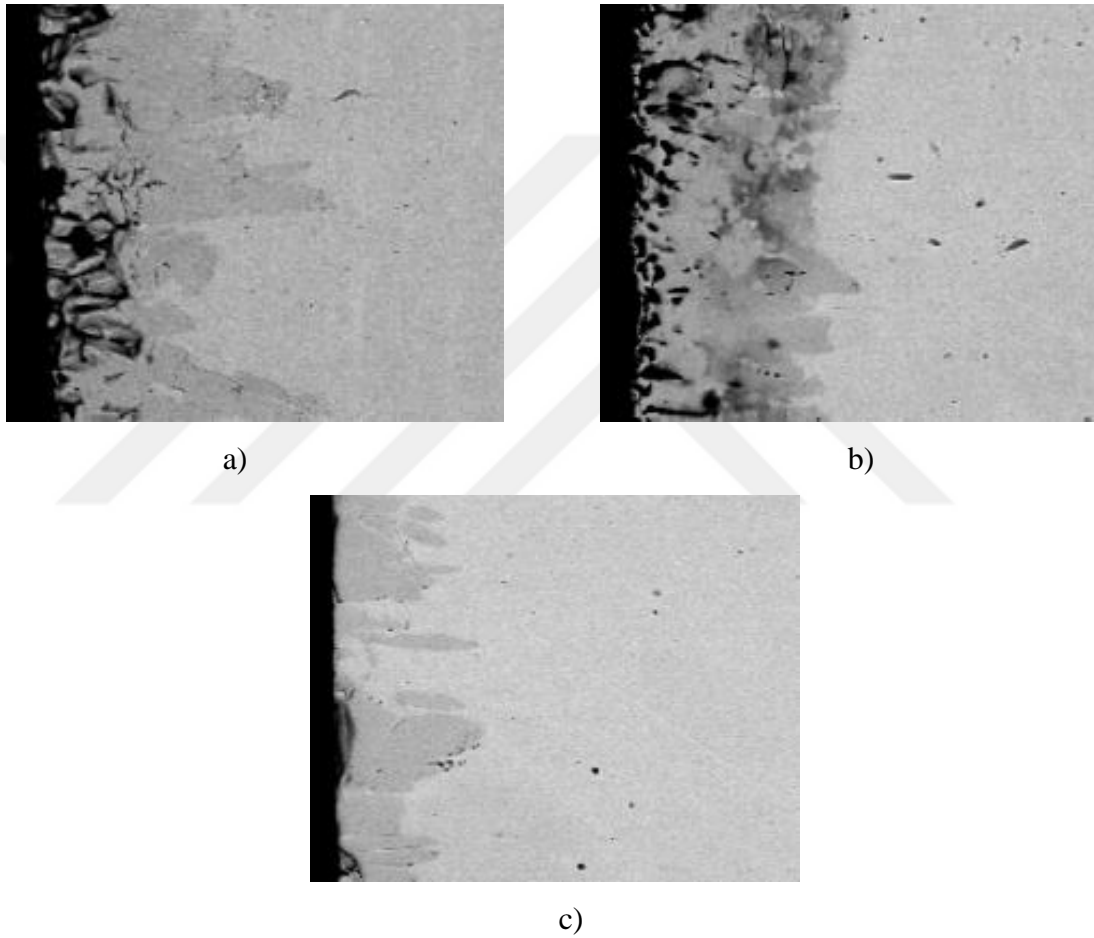


Resim 4.2. 860°C'de 6 saat süre ile borlanan çeliklerin SEM görüntüsü a) AISI 1045 b) C-22 c) St 50-2

Bor tabakası kalınlığı AISI 1045 numunesinin yüzeyinde 94,19 μ , C-22 numunesinin yüzeyinde 92,05 μ ve St 50-2 numunesinin yüzeyinde 85,04 μ olarak ölçülmüştür. Bor

elementi sürenin artışı ile 860°C de 6 saat sürede çelik numunelerin yüzeyinde daha rahat yayılma sağlamıştır. Çeliklerin yüzeyinde termal difüzyonun etkisiyle yayılan Fe₂B fazı kolonsal bir yayılma göstermiştir.

Resim 4.3.'te 900°C'de 4 saat süre ile bor ile kaplanmış AISI 1045, C-22 ve St 50-2 numunelerinin SEM analizi görüntüleri görülmektedir.

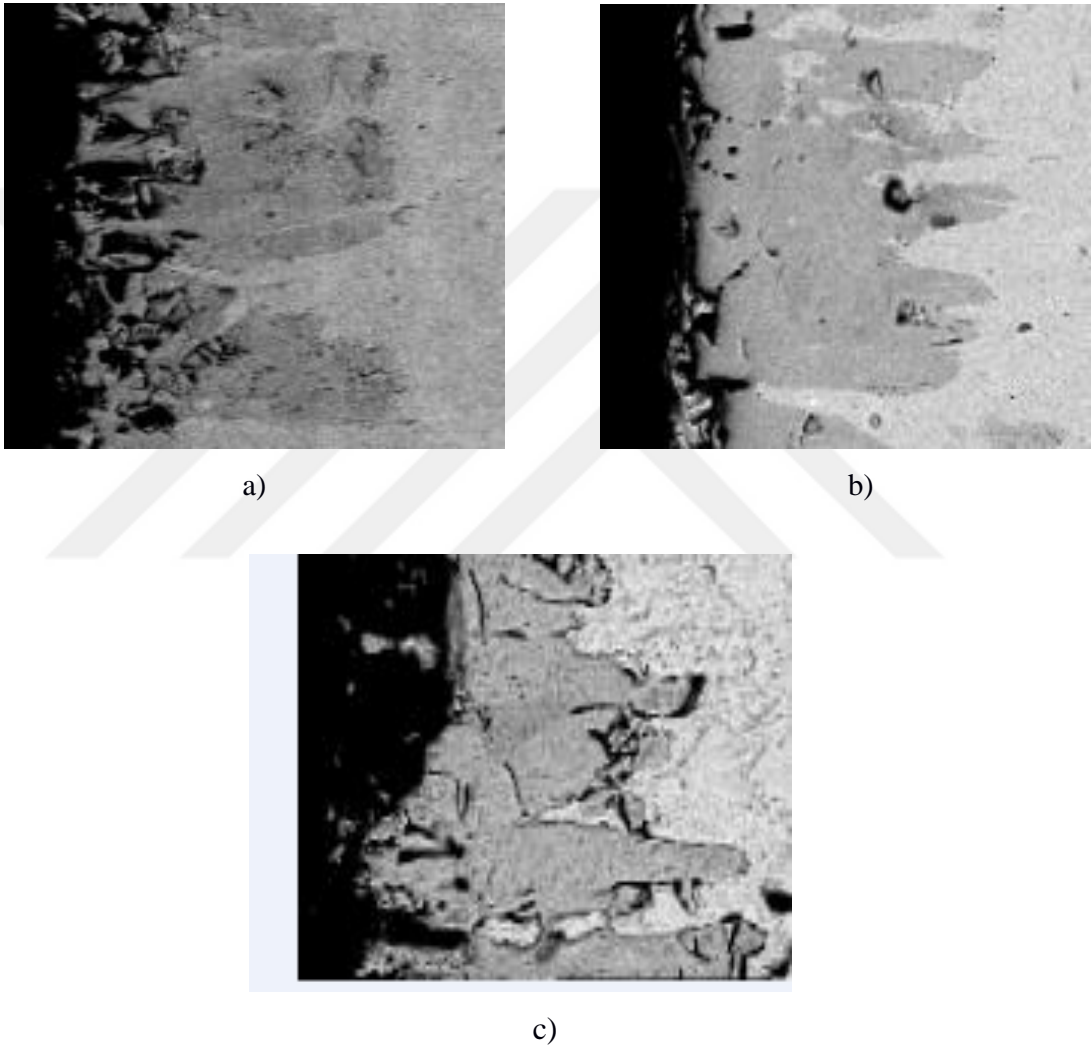


Resim 4.3. 900°C'de 4 saat süre ile borlanan çeliklerin SEM görüntüsü a) AISI 1045 b) C-22 c) St 50-2

Bor tabakası kalınlığı AISI 1045 numunesinin yüzeyinde 63,03µ, C-22 numunesinin yüzeyinde 51,21 µ ve St 50-2 numunesinin yüzeyinde 38,04 µ olarak ölçülmüştür. Resim 4.3.'te SEM analiz fotoğraflarında görüldüğü gibi sıcaklık artışı ile borür tabaka kalınlığında tüm çeliklerde azalma olmuştur. Ayrıca AISI 1045 ve St 50-2

eliklerinde kolonsal bir yayılma görülürken C-22 eliğinde daha düz bir yapı gözlenmiştir.

Resim 4.4.'te 900°C'de 6 saat süre ile bor ile kaplanmış AISI 1045, C-22 ve St 50-2 numunelerinin SEM analizi görüntüleri görülmektedir.

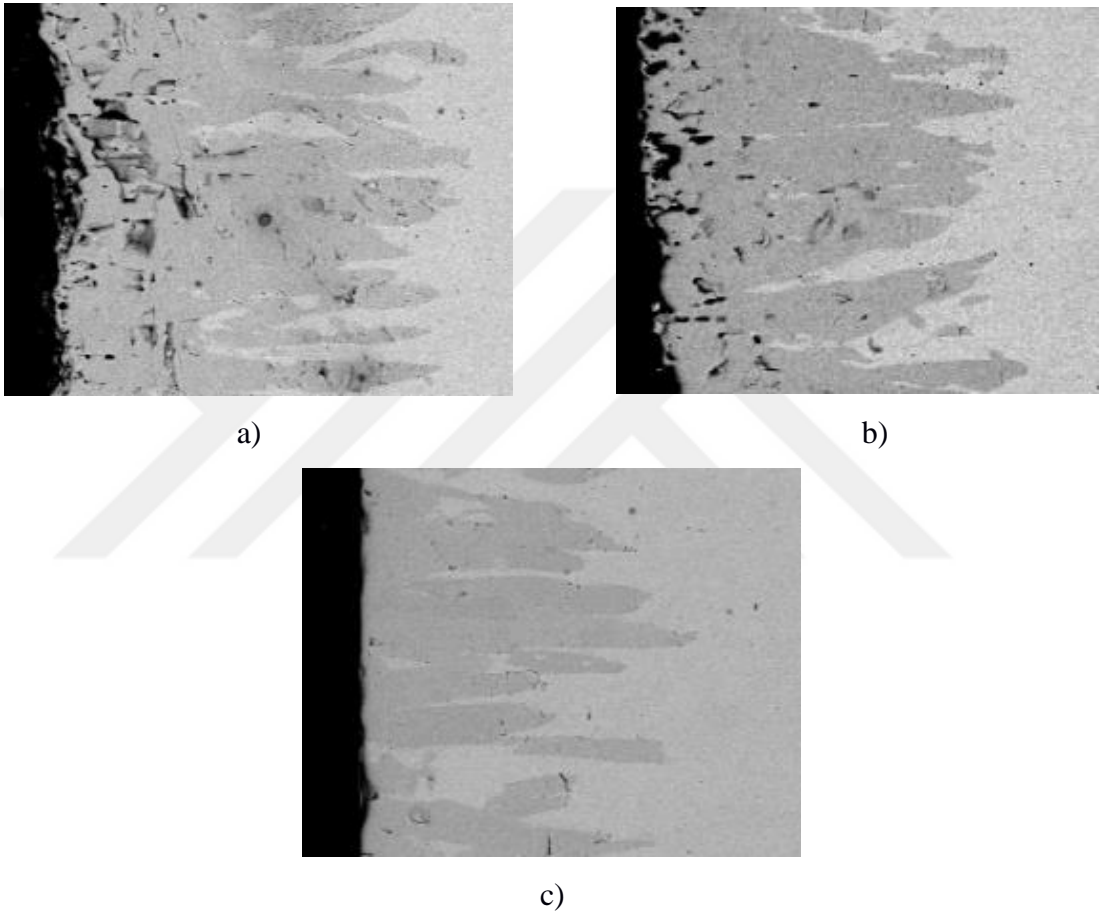


Resim 4.4. 900°C'de 6 saat süre ile borlanan eliklerin SEM görüntüsü a) AISI 1045 b) C-22 c) St 50-2

Bor tabakası kalınlığı AISI 1045 numunesinin yüzeyinde 64,75 μ , C-22 numunesinin yüzeyinde 73,02 μ ve St 50-2 numunesinin yüzeyinde 69,90 μ olarak llmştir. Sıcaklığın 900°C'ye yükselmesi ile Fe₂B tabakasının kalınlığının azaldığı gözlemlenmiştir. Sıcaklık artışı ile bor elementinin çeliğin yüzeyine difüzyonu daha

zor bir şekilde gerçekleşmiştir. Düşük karbonlu C-22, St 50-2 ve orta karbonlu AISI 1045 çeliklerinin difüzyonun kolonsal bir şekilde gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

Resim 4.5.'te 940°C'de 4 saat süre ile bor ile kaplanmış AISI 1045 ve St 50-2 numunelerinin SEM analizi görüntüleri görülmektedir.

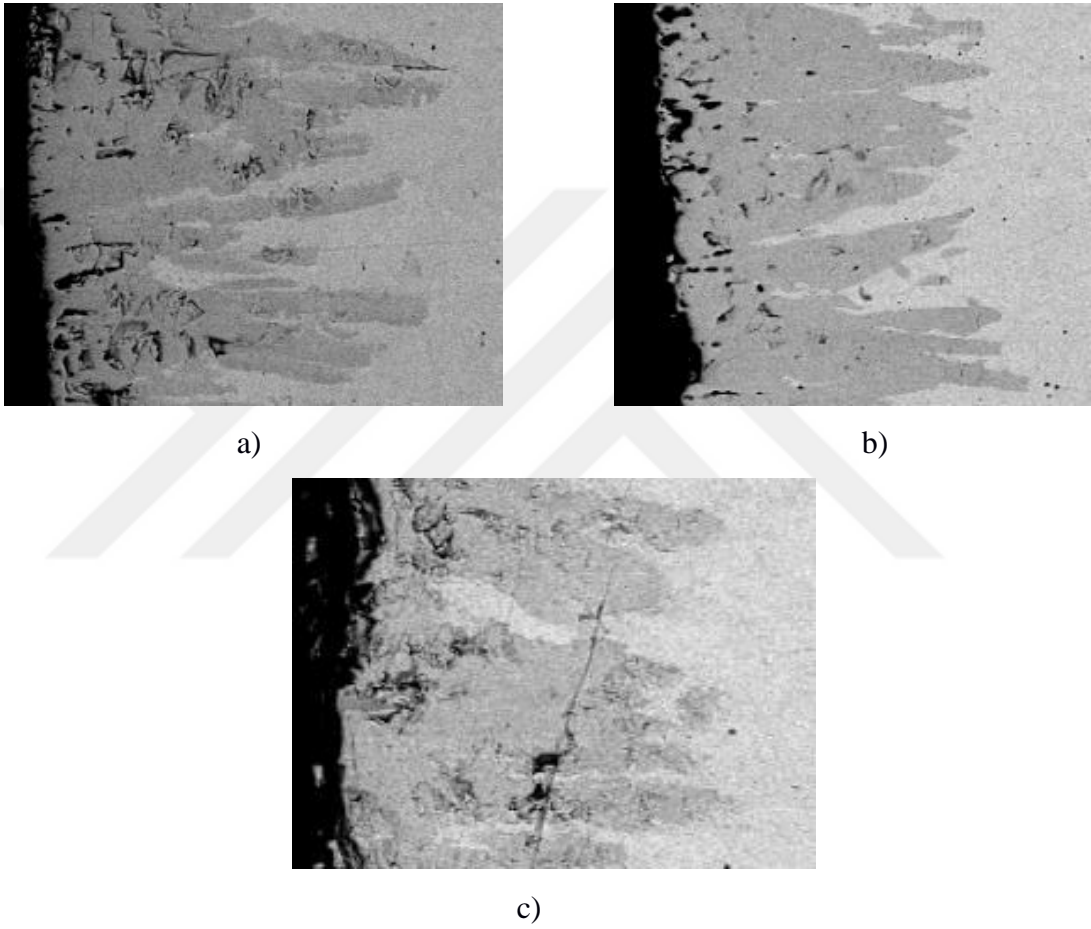


Resim 4.5. 940°C'de 4 saat süre ile borlanan çeliklerin SEM görüntüsü a) AISI 1045 b) C-22 c) St 50-2

Bor tabakası kalınlığı AISI 1045 numunesinin yüzeyinde 117,83 μ , C-22 numunesinin yüzeyinde 92,66 μ ve St 50-2 numunesinin yüzeyinde 85,08 μ olarak ölçülmüştür. Sıcaklığın 940°C'ye yükselmesi ile Fe_2B tabakasının kalınlığının arttığı gözlemlenmiştir. Sıcaklık artışı ile bor elementinin çeliğin yüzeyine difüzyonu daha etkili bir şekilde gerçekleşmiştir. düşük karbonlu olan C-22, St 50-2 ve orta karbonlu

olan AISI 1045 çeliklerinin difüzyonun kolonsal bir şekilde gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

Resim 4.6.'da 940°C de 6 saat süre ile bor ile kaplanmış AISI 1045, C-22 ve St 50-2 numunelerinin SEM analizi görüntüleri görülmektedir.

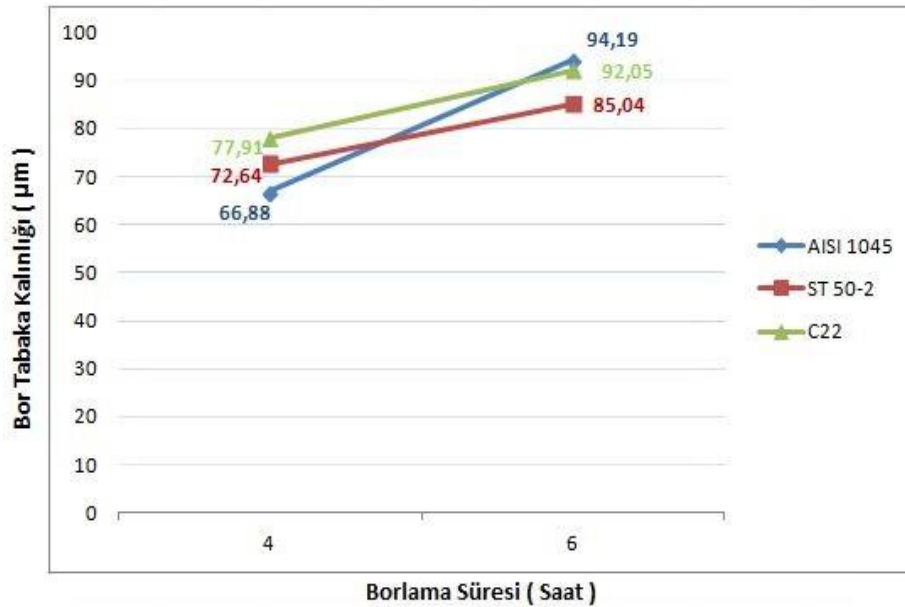


Resim 4.6. 940°C 'de 6 saat süre ile borlanan çeliklerin SEM görüntüsü a) AISI 1045 b) C-22 c) St 50-2

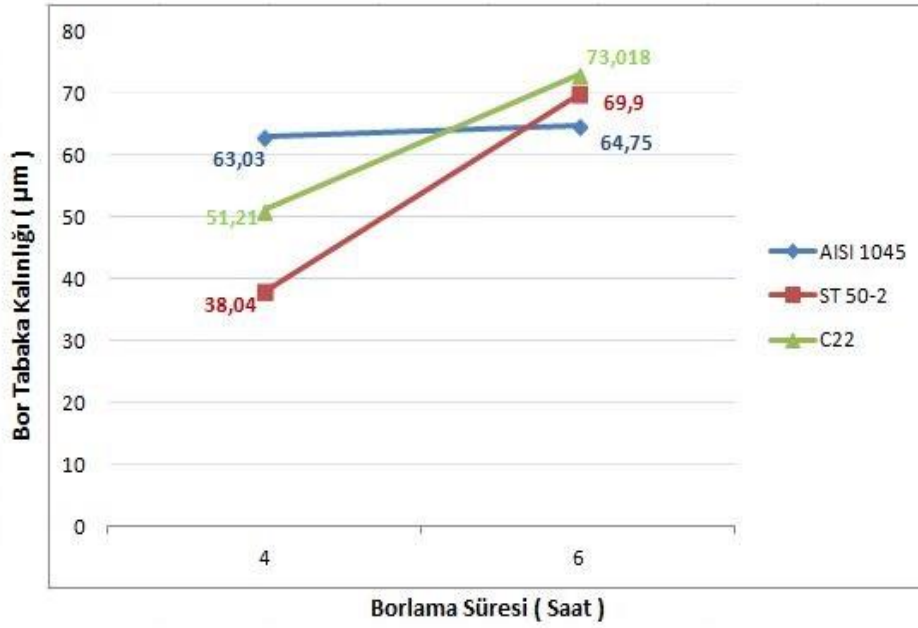
Bor tabakası kalınlığı AISI 1045 numunesinin yüzeyinde 131,4 μ , C-22 numunesinin yüzeyinde 125,13 μ ve St 50-2 numunesinin yüzeyinde 86,83 μ olarak ölçülmüştür. Sıcaklığın 940°C' ye ve sürenin 6 saate yükselmesi ile Fe_2B tabakasının kalınlığının arttığı ve kolonsal yapının belirginleştiği gözlemlenmiştir. Sıcaklık artışı bor elementinin çelik yüzeye nüfusunun derinleşmesi ile kolonsal yapı daha da belirginleşmiştir.

Yukarıda 4 ve 6 saat sürelerde 860°C, 900°C ve 940°C sıcaklıklarda borlama ısıl işlemine tabi tutulmuş düşük karbonlu çelikler olan C-22, St 50-2 ve orta karbonlu AISI 1045 çeliklerinin SEM fotoları görülmektedir. Farklı zaman ve sıcaklık parametrelerine bağlı yapılan borlama işlemi neticesinde bor difüzyon derinliğinin belli bir parabolik düzgünlükte arttığı görülmüştür. Ancak 900°C sıcaklıkta Fe₂B' ün difüzyon derinliğinde azalma görülmüştür. Literatür çalışmalarında bu çalışmanın konusu olan borlama işlemi gerçekleştiren Özer (2011)' in AISI 4140 AISI 1020, AISI 1060 çeliklerinin bor kaplaması sonucu bor tabakası kalınlığının sıcaklık ile arttığı ancak 900°C sıcaklıkta bor kaplama tabakası kalınlığının azaldığı tespit edilmiştir (Özer, 2011).

940°C sıcaklıkta ise Fe₂B difüzyonu başarılı bir şekilde gerçekleşmiştir. Sonuç olarak sıcaklık yükseldikçe ve borlama süresi arttıkça, difüzyon derinliği yani bor tabakası kalınlığı artmaktadır.



Şekil 4.1. 860°C sıcaklıklarda ve 4 ve 6 saat sürelerde AISI 1045, C-22 ve St 50-2 numunelerinin tabaka kalınlığı ölçümleri



Şekil 4.2. 900°C sıcaklıklarda ve 4 ve 6 saat sürelerde AISI 1045, C-22 ve St 50-2 numunelerinin tabaka kalınlığı ölçümleri



Şekil 4.3. 940°C sıcaklıklarda ve 4 ve 6 saat sürelerde AISI 1045, C-22 ve St 50-2 numunelerinin tabaka kalınlığı ölçümleri

Şekil 4.1., Şekil 4.2. ve Şekil 4.3.'te verilen grafiklerde de bor tabakası kalınlığının borlama süresi ve sıcaklık artışı ile arttığı ve tüm çelik numunelerde sıcaklık ve süre artışının bor tabakası kalınlığına olumlu etki ettiği görülmektedir. 900°C sıcaklıkta

diğer sıcaklık değerlerine oranla faz geçişinden dolayı bor tabakası kalınlığının azaldığı açıkça görülmektedir.

4.2. X- Işını Kırınım Analizleri Ve Sonuçları

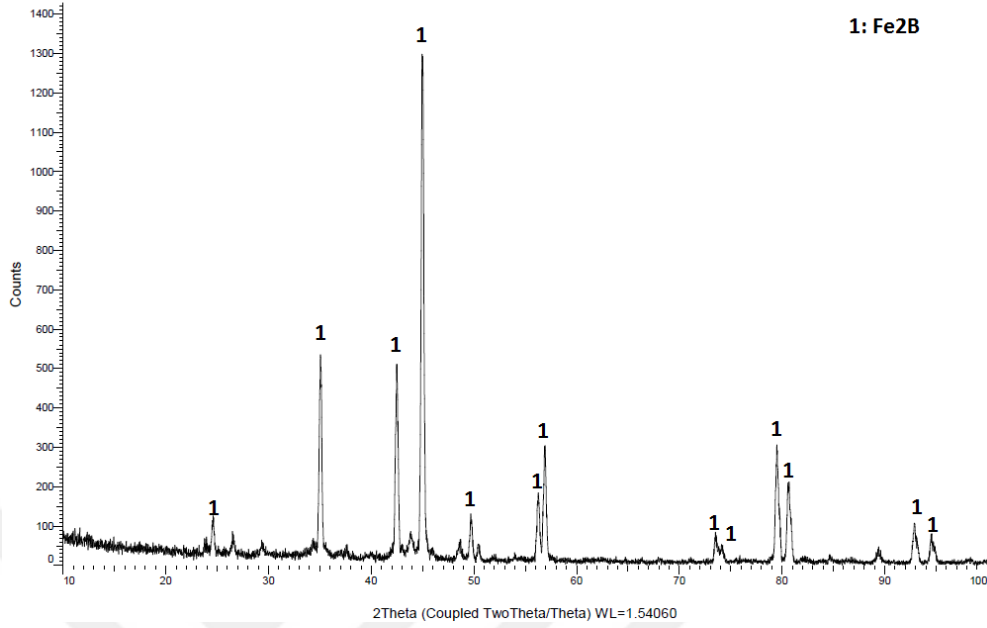
Bor tabakası ile kaplanmış, düşük karbonlu C- 22, St 50-2 ve orta karbonlu AISI 1045 çelik numuneleri X- ışını kırınım analizine tabi tutulmuştur. Test numunelerinin yüzeyinde oluşan borürler Fe_2B , Fe_3B X- ışını kırınım cihazı ile sonuçlarda görüldüğü gibi teyit edildi. X-ışını kırınım analizleri Shimadzu marka XRD-6000 model cihaz Bakır (Cu) X-ışını tüpüne ve $1,544^{\circ}A$ dalga boyuna sahip Bakır $K\alpha$ X-ışını kullanılarak yapılmıştır.

İncelemeler sonucunda borür tabakasının Fe_2B , Fe_3B türünde borürlerden oluştuğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte C elementi kaplama tabakası içerisinde çözünmeyip matrise doğru difüze olmakta ve kaplama tabakasının hemen altındaki geçiş bölgesinde Fe_3C , Fe_7C_3 gibi karbürler oluşmasına sebep olmuştur ve XRD analiz grafiklerinde pik oluşturmuştur. C elementi geçiş bölgesi denilen bu bölgenin yapısını etkilemekte ve daha düzenli bir yapı oluşmasına sebep olmaktadır. XRD sonuçlarına bakıldığında FeB fazı oluşmadığı görülmüştür. FeB fazının sertliği 1900- 2100 HV arasında seyretse de bor tabakası içerisinde bulunması istenmez. Çünkü çok sert olan FeB tabakası aynı zamanda kırılğan yapıya sahiptir ve FeB- Fe_2B fazları birbirlerine basma- çekme kuvveti uygular ve tabaka yüzeyinde çatlaklar oluşturur. Bu da sağlıklı bir tabaka oluşmasını engeller.

45 20° de görülen kuvvetli pik genel olarak α demir ile aynı gözükmeyle beraber Khor ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalarda buradaki kuvvetli XRD pikinin Fe ve Fe_2B fazı olduğunu göstermişlerdir.

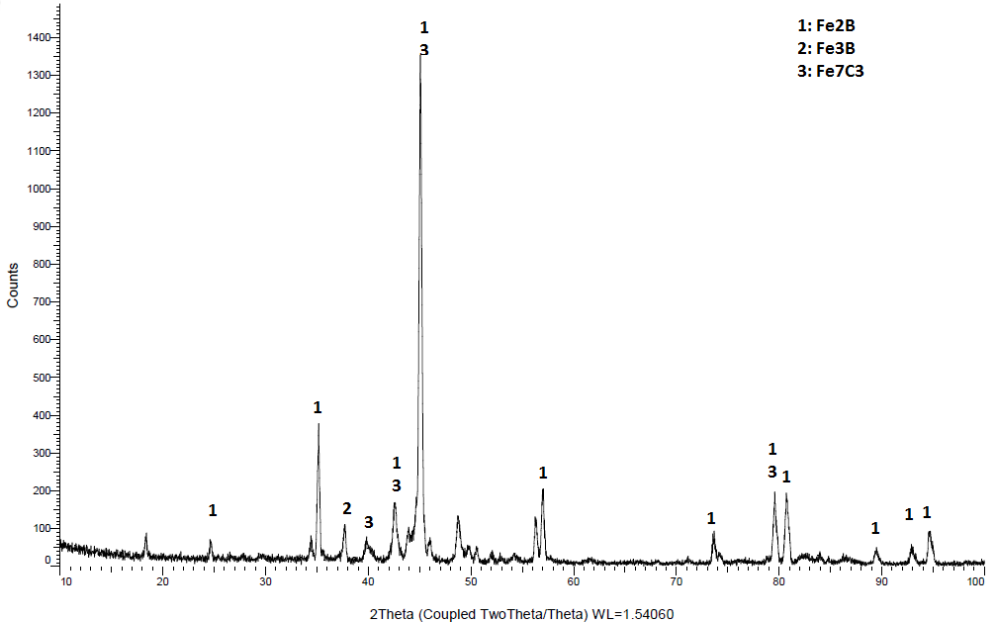
Aşağıda, 4- 6 saat sürelerde ve 860- 900- 940 $^{\circ}C$ sıcaklıklarda yüzeyi bor kaplanmış, düşük karbonlu çelikler sınıfında bulunan C-22 numunelerinin X-Işını Difraksiyon analiz sonuçları görülmektedir.

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

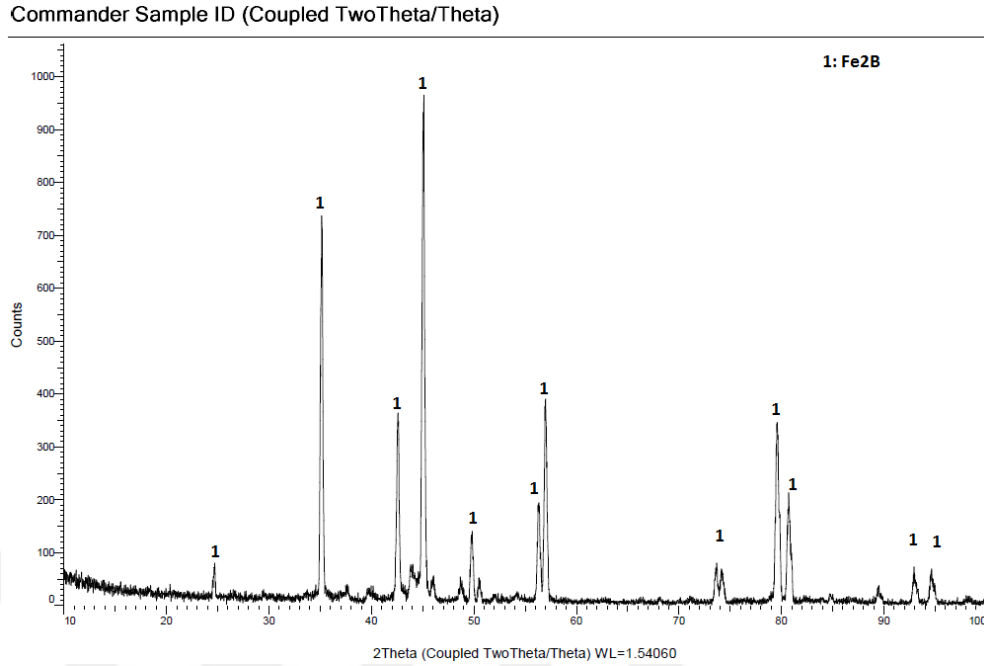


Şekil 4.4. (C4 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 860°C'de 4 saat süre ile borlanmış C-22 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



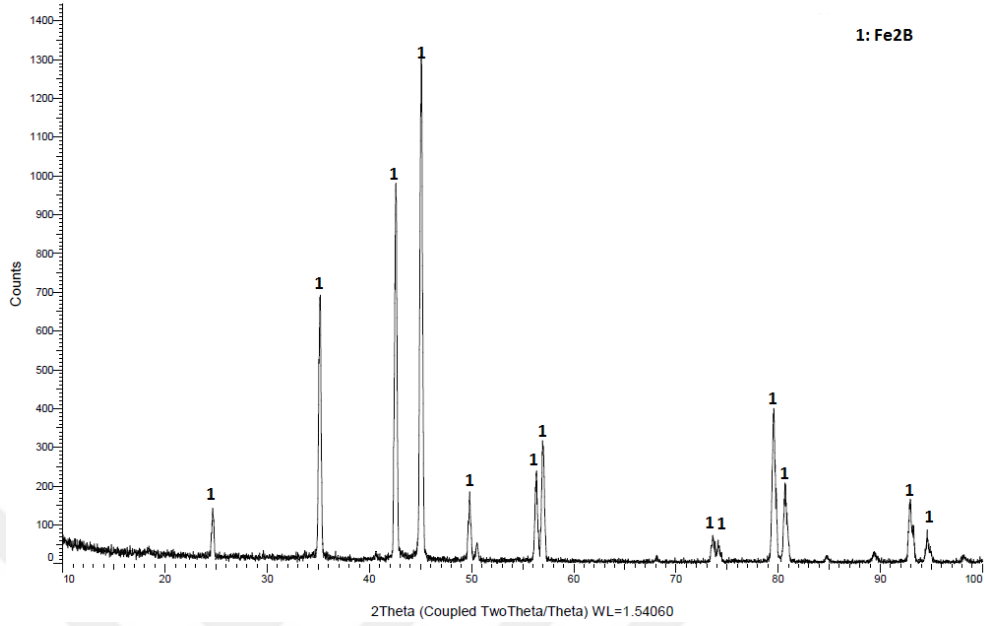
Şekil 4.5. (C5 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 900°C'de 4 saat süre ile borlanmış C-22 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni



Şekil 4.6. (C6 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 940°C’de 4 saat süre ile borlanmış C-22 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni

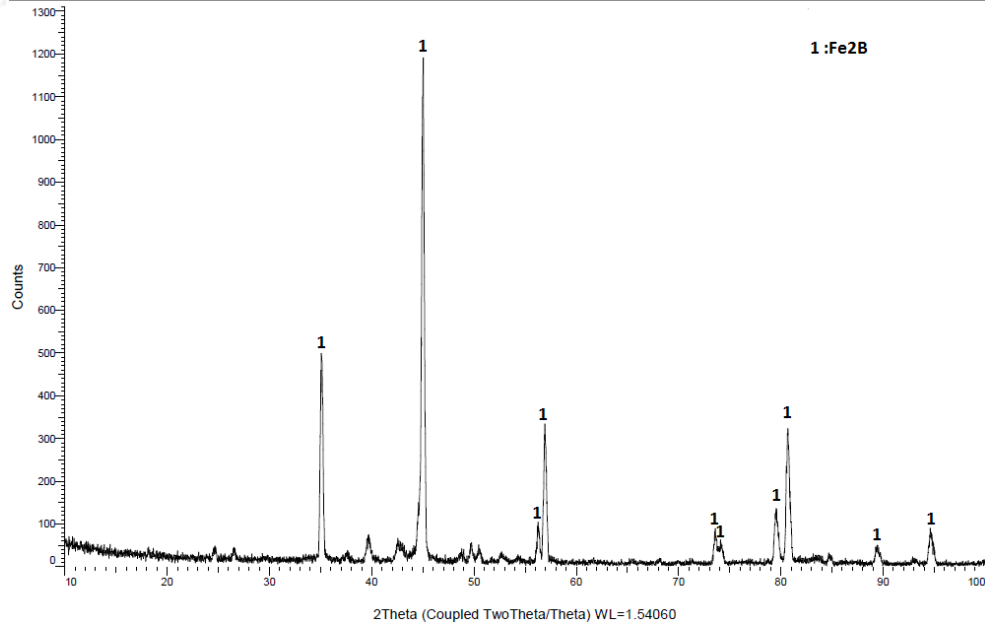
Yukarıda C-22 numunesinin 4 saat süre zarfında 860, 900 ve 940°C (Şekil 4.4., Şekil 4.5., Şekil 4.6.) sıcaklıkta bor ile kaplanmış yüzeylerinin X-ışını difraksiyon analiz sonuçları görülmektedir. 4 saat süre ile 860, 900 ve 940°C sıcaklıklarda bor ile kaplanmış numunelerin (Şekil 4.4., Şekil 4.5., Şekil 4.6.) hepsinde, yüzey sertliğini ve aşınma direncini artırmada en önemli faz olan Kapfenberger ve arkadaşlarının (2006) bir çalışmasında rastladığı Fe_2B fazı görülmüştür. Bununla birlikte 4 saat 900°C’de C-22 numunesinde (Şekil 4.5.) Bashev ve arkadaşlarının (1981) çalışmalarında rastladığı Fe_3B fazı ve Herbstein (1964)’ in çalışmalarında ulaştığı Fe_7C_3 fazları görülmüştür.

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

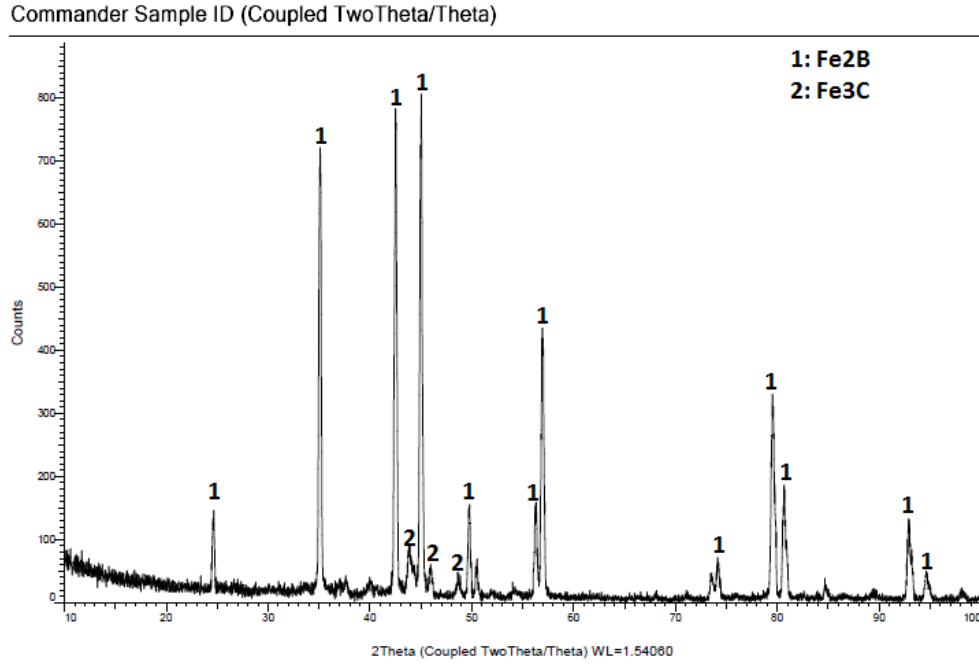


Şekil 4.7. (C7 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 860°C’de 6 saat süre ile borlanmış C-22 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Şekil 4.8. (C8 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 900°C’de 6 saat süre ile borlanmış C-22 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni

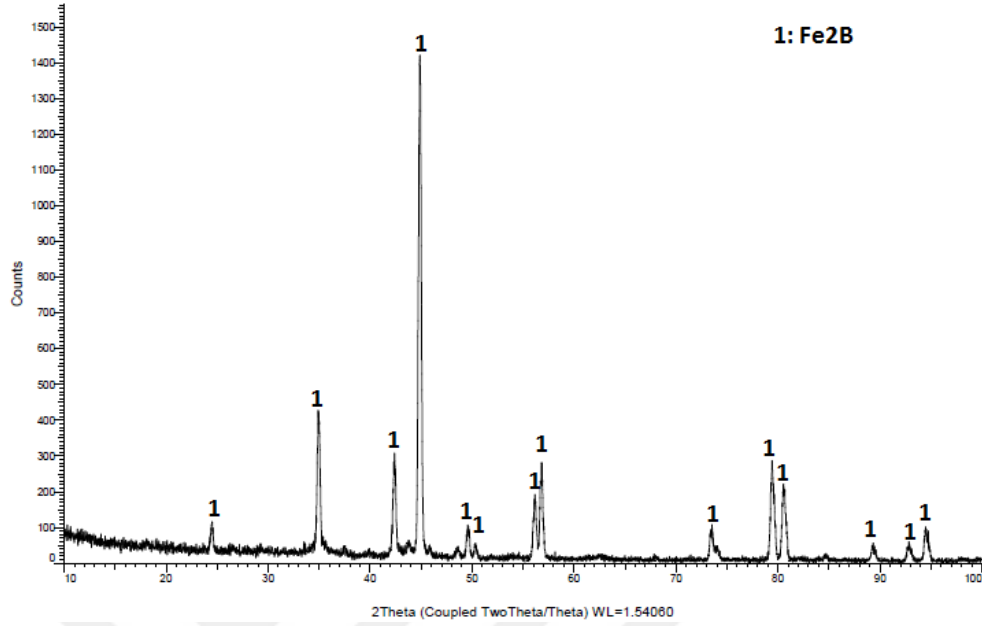


Şekil 4.9. (C9 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 940°C’de 6 saat süre ile borlanmış C-22 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni

Yukarıda C-22 numunesinin 6 saat süre zarfında 860, 900 ve 940°C (Şekil 4.7., Şekil 4.8., Şekil 4.9.) sıcaklıkta bor ile kaplanmış yüzeylerinin X-ışını difraksiyon analiz sonuçları görülmektedir. 6 saat süre ile 860, 900 ve 940°C sıcaklıklarda bor ile kaplanmış numunelerin (Şekil 4.7., Şekil 4.8., Şekil 4.9.) yüzeylerinde, Kapfenberger ve arkadaşlarının (2006) bir çalışmasında rastladığı Fe₂B fazının oluştuğu görülmüştür. 940°C sıcaklıkta, 6 saat süre ile bor kaplanmış olan C-22 numunesi (Şekil 4.9.) X-ışını difraksiyon analizi sonucunda Fe₂B fazının yanında Lipson ve arkadaşlarının (1940) bir çalışmasında bulduğu Fe₃C fazına da rastlandığı görülmüştür.

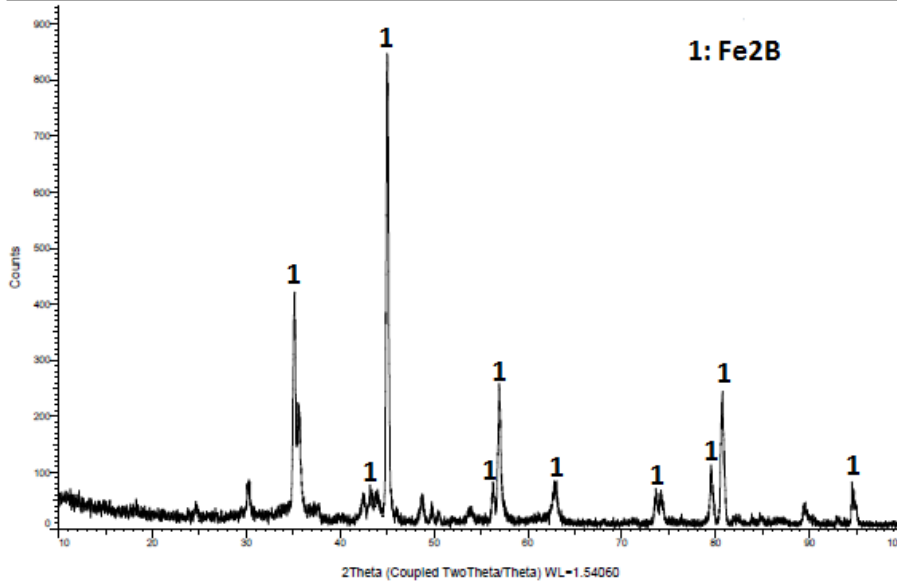
Aşağıda, 4- 6 saat sürelerde ve 860, 900, 940°C sıcaklıklarda yüzeyi bor kaplanmış, orta karbonlu çelikler sınıfında bulunan AISI 1045 numunelerinin X-ışını Difraksiyon analiz sonuçları görülmektedir.

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

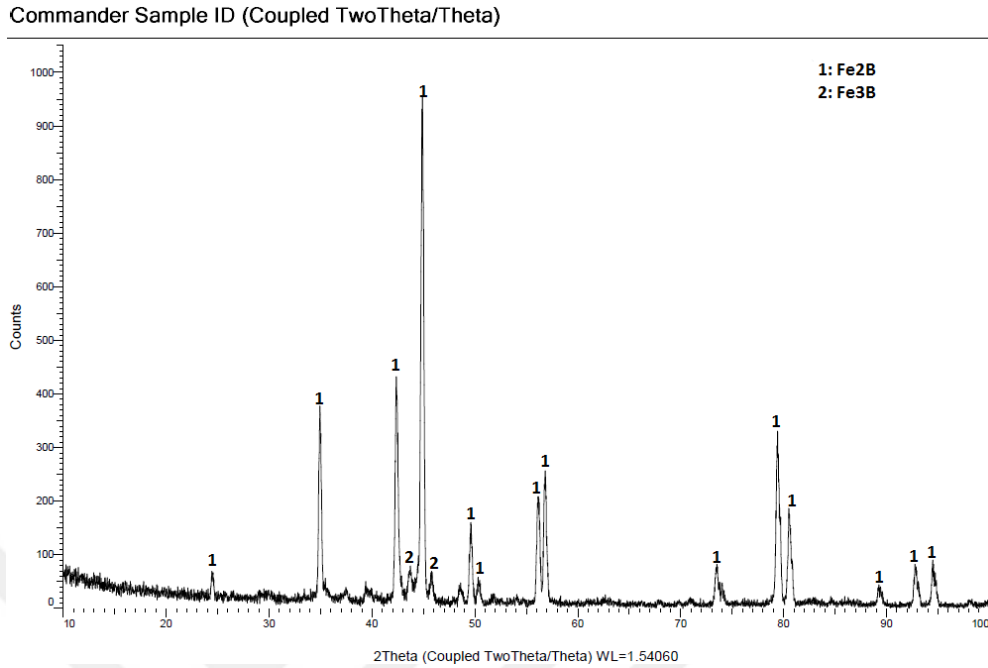


Şekil 4.10. (A4 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 860°C'de 4 saat süre ile borlanmış AISI 1045 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



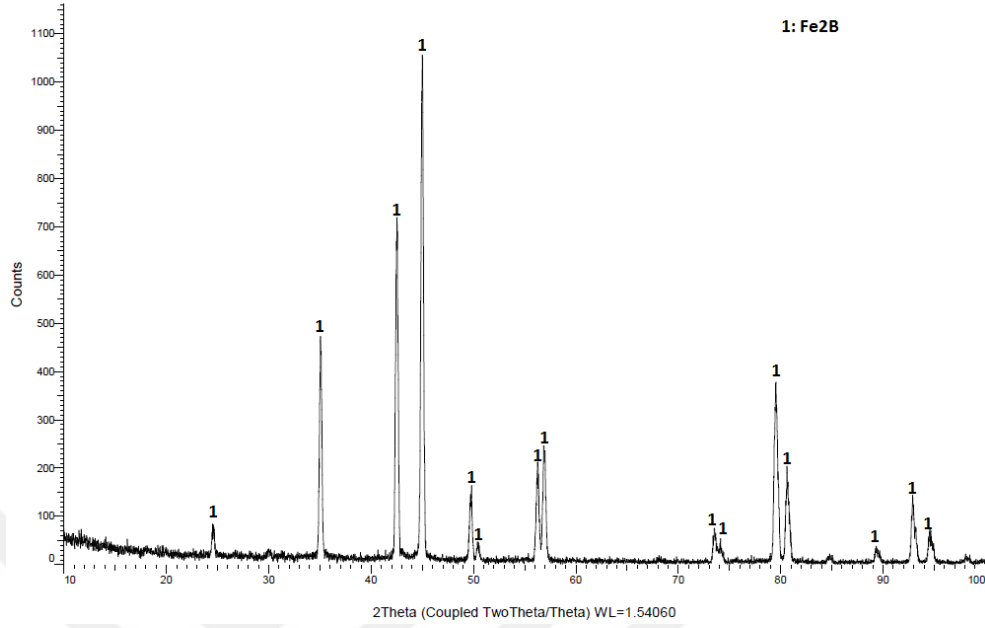
Şekil 4.11. (A5 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 900°C'de 4 saat süre ile borlanmış AISI 1045 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni



Şekil 4.12. (A6 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 940°C'de 4 saat süre ile borlanmış AISI 1045 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni

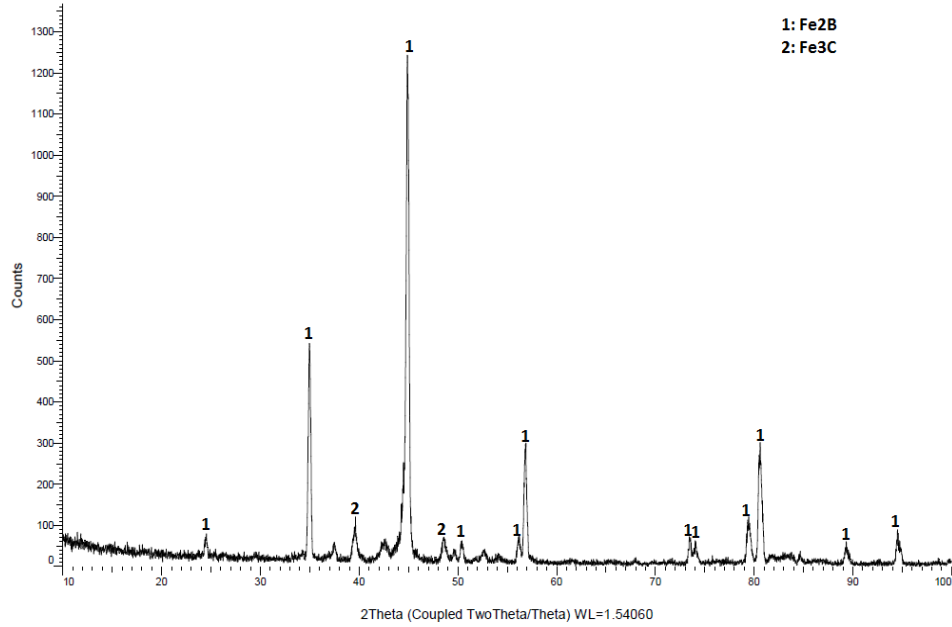
Yukarıda AISI 1045 numunesinin 4 saat süre zarfında 860, 900 ve 940°C (Şekil 4.10., Şekil 4.11., Şekil 4.12.) sıcaklıkta bor ile kaplanmış yüzeylerinin X-ışını difraksiyon analiz sonuçları görülmektedir. 4 saat süre ile 860, 900 ve 940°C sıcaklıklarda bor ile kaplanmış numunelerin (Şekil 4.10., Şekil 4.11., Şekil 4.12.) yüzeylerinde Kapfenberger ve arkadaşlarının (2006) çalışmalarında bulunduğu Fe₂B fazına rastlanmıştır. 940°C sıcaklıkta, 4 saat süre ile borlanmış olan AISI 1045 numunesi (Şekil 4.12.) X-ışını difraksiyon analizi sonucunda Fe₂B fazının yanında Bashev ve arkadaşlarının (1981) çalışmalarında ulaştığı Fe₃B fazına da rastlanmıştır.

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

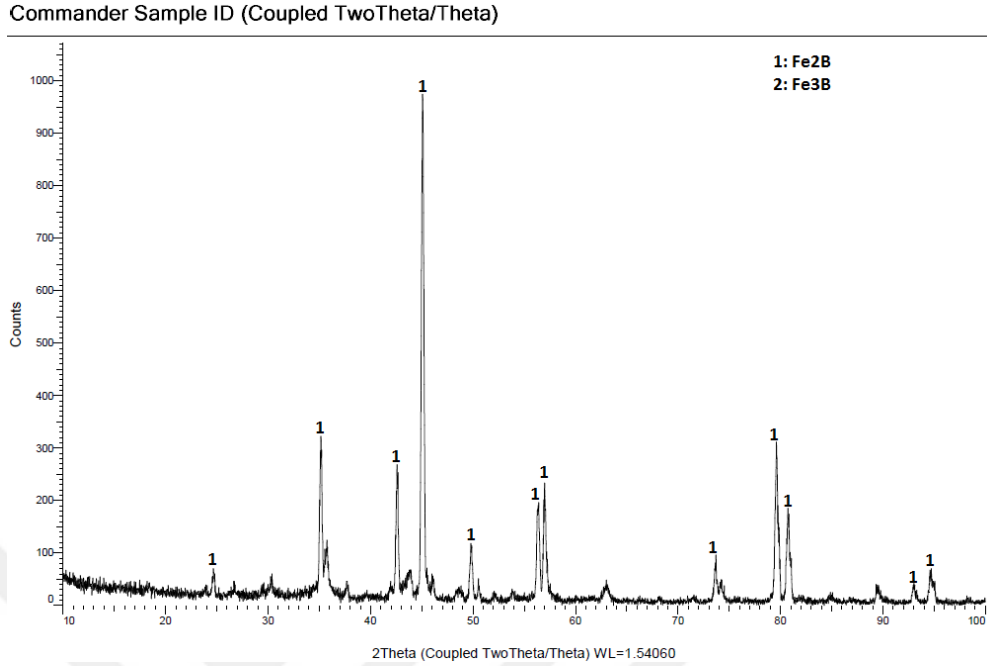


Şekil 4.13. (A7 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 860°C'de 6 saat süre ile borlanmış AISI 1045 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



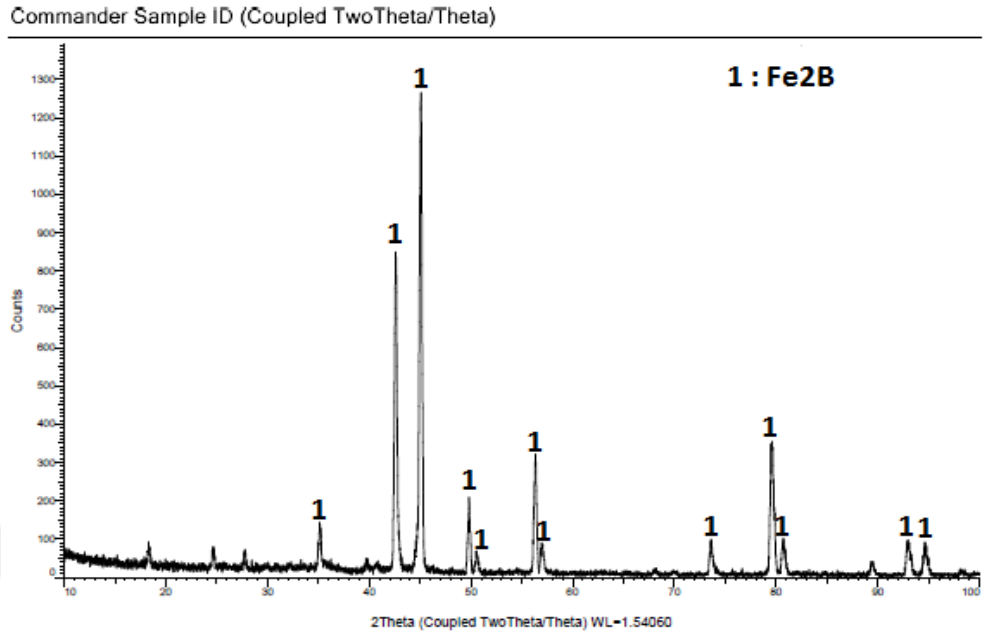
Şekil 4.14. (A8 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 900°C'de 6 saat süre ile borlanmış AISI 1045 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni



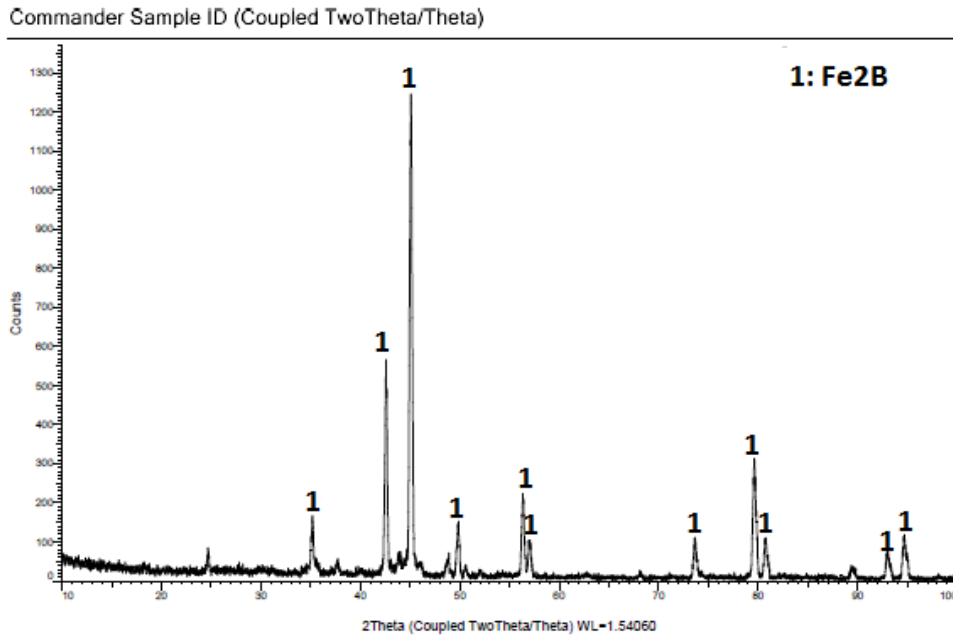
Şekil 4.15. (A9 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 940°C’de 6 saat süre ile borlanmış AISI 1045 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni

Yukarıda AISI 1045 numunesinin 6 saat süre zarfında 860, 900 ve 940°C(Şekil 4.13., Şekil 4.14., Şekil 4.15.) sıcaklıkta bor ile kaplanmış yüzeylerinin X-ışını difraksiyon analiz sonuçları görülmektedir. 6 saat süre ile 860, 900 ve 940°C sıcaklıklarda bor ile kaplanmış numunelerin (Şekil 4.13., Şekil 4.14., Şekil 4.15.) yüzeylerinde Kapfenberger ve arkadaşlarının (2006) çalışmalarında bulduğu Fe_2B fazına rastlanmıştır. 900°C sıcaklıkta 6 saat süre ile borlanmış AISI 1045 numunesinde (Şekil 4.14.) Fe_2B fazı ile birlikte perlitik bir yapı oluşmasına sebep olan ve Meinhardt (1962)’in çalışmasında bulduğu Fe_3C fazı görülmüştür. Aynı zamanda 940°C sıcaklıkta 6 saat süre ile borlanmış olan AISI 1045 numunesinde (Şekil 4.15.) Bashev ve arkadaşlarının (1981) çalışmalarında bulduğu Fe_3B fazına rastlanmıştır.

Aşağıda, 4- 6 saat sürelerde ve 860, 900, 940°C sıcaklıklarda yüzeyi bor kaplanmış, düşük karbonlu çelikler sınıfında bulunan St 50-2 numunelerinin X-ışını Difraksiyon analiz sonuçları görülmektedir.

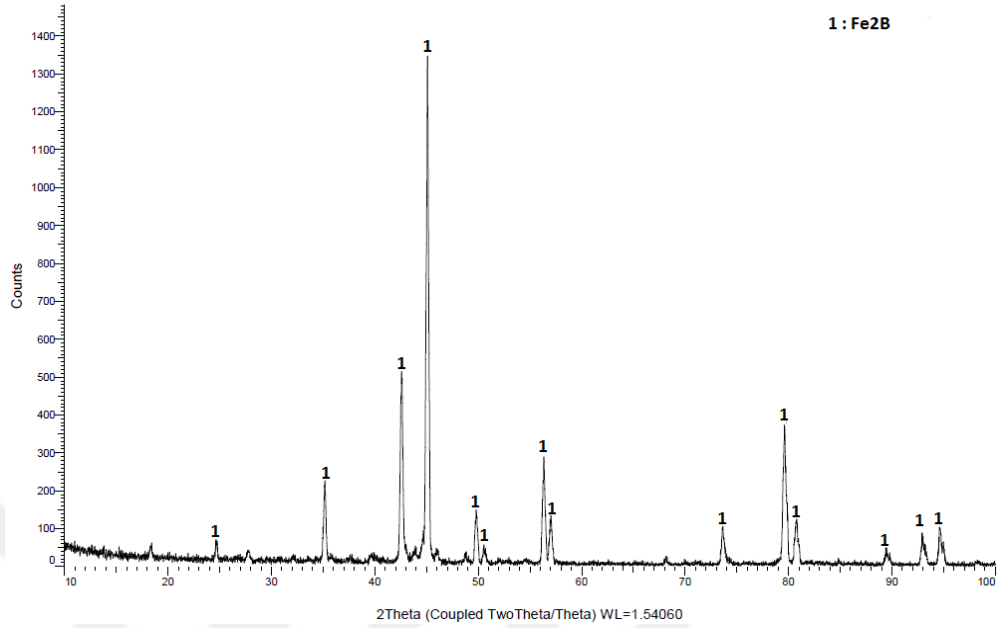


Şekil 4.16. (S4 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 860°C’de 4 saat süre ile borlanmış AISI 1045 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni



Şekil 4.17. (S5 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 900°C’de 4 saat süre ile borlanmış AISI 1045 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni

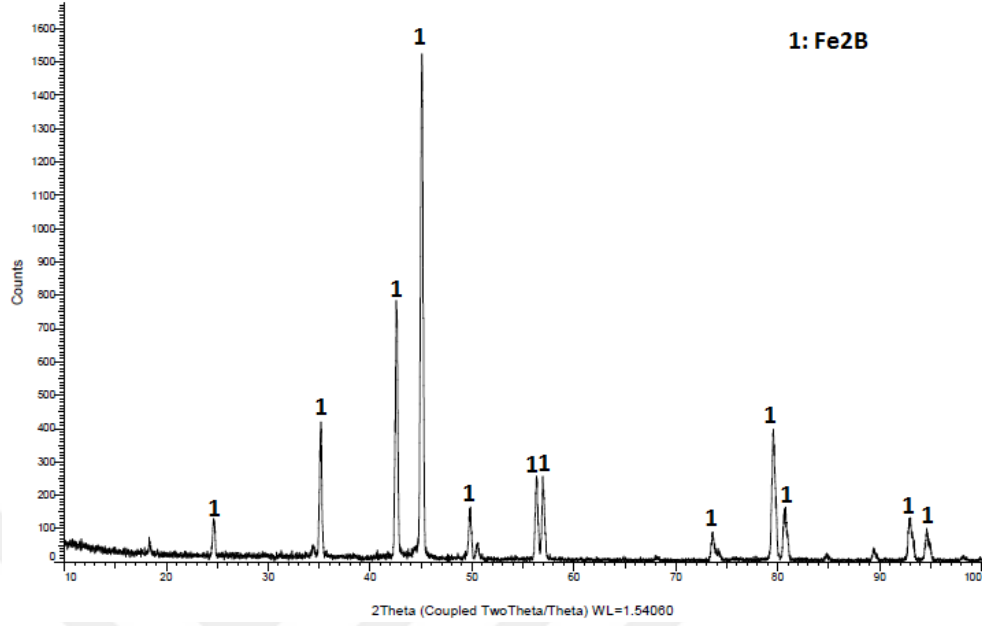
Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Şekil 4.18. (S6 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 940°C’de 4 saat süre ile borlanmış AISI 1045 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni

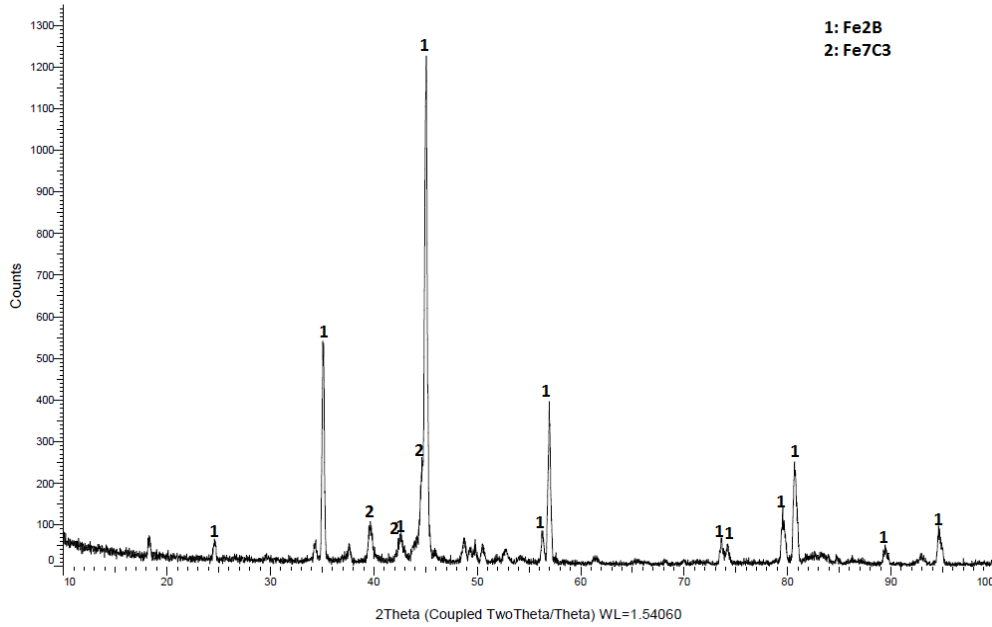
Yukarıda St 50-2 numunesinin 4 saat süre zarfında 860, 900 ve 940°C (Şekil 4.16., Şekil 4.17., Şekil 4.18.) sıcaklıkta bor ile kaplanmış yüzeylerinin X-ışını difraksiyon analiz sonuçları görülmektedir. 4 saat süre ile 860, 900 ve 940°C sıcaklıklarda bor ile kaplanmış numunelerin (Şekil 4.16., Şekil 4.17., Şekil 4.18.) yüzeylerinde sertliği ve aşınma direncini arttırmada en önemli faz olan ve Kapfenberger ve arkadaşlarının (2006) çalışmalarında rastladığı Fe₂B fazına rastlanmıştır.

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



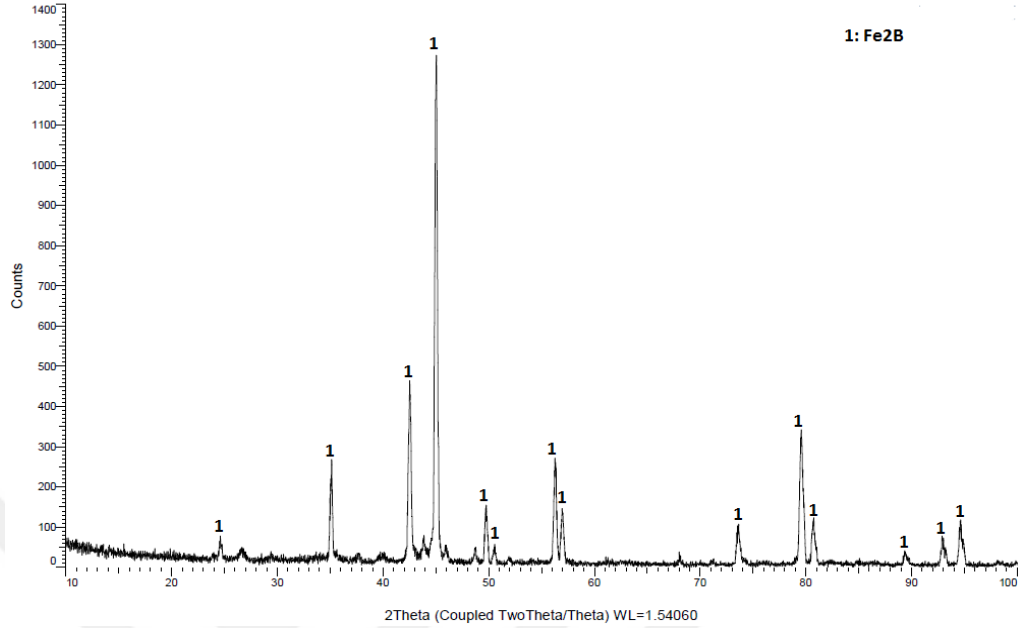
Şekil 4.19. (S7 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 860°C’de 6 saat süre ile borlanmış AISI 1045 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Şekil 4.20. (S8 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 900°C’de 6 saat süre ile borlanmış AISI 1045 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



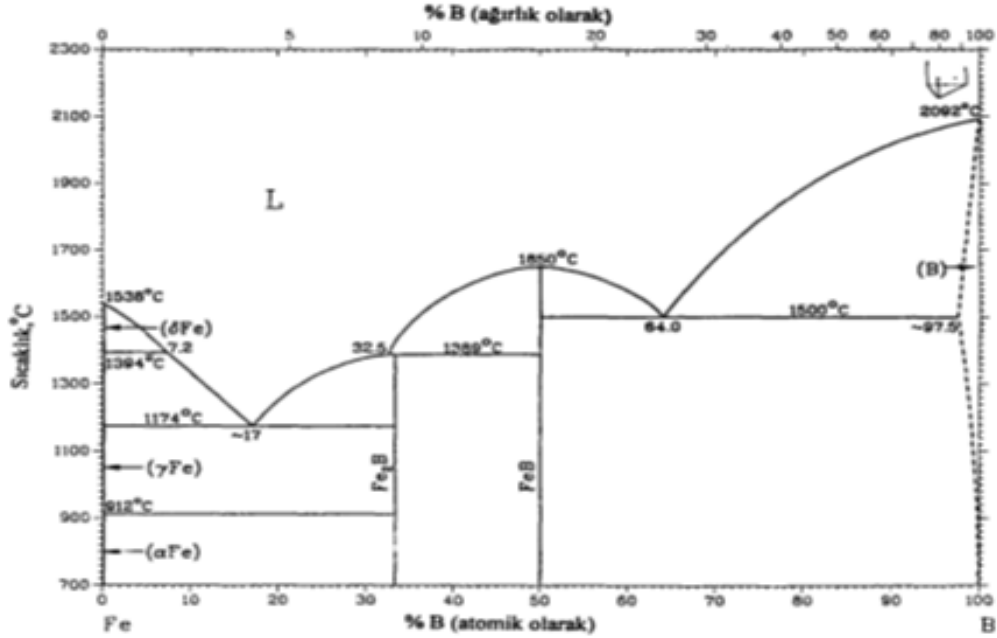
Şekil 4.21. (S9 Numunesi) Katı (kutu) borlama yöntemi ile 940°C’de 6 saat süre ile borlanmış AISI 1045 numunesinin borür tabakasının X-ışını kırınım deseni

Yukarıda St 50-2 numunesinin 6 saat süre zarfında 860, 900 ve 940°C (Şekil 4.19., Şekil 4.20., Şekil 4.21.) sıcaklıkta bor ile kaplanmış yüzeylerinin X-ışını difraksiyon analiz sonuçları görülmektedir. 6 saat süre ile 860, 900 ve 940°C sıcaklıklarda bor ile kaplanmış numunelerin (Şekil 4.19., Şekil 4.20., Şekil 4.21.) yüzeylerinde Kapfenberger ve arkadaşlarının (2006) çalışmalarında bulduğu Fe_2B fazına rastlanmıştır. 900°C sıcaklıkta 6 saat süre ile borlanmış St 50-2 numunesinde (Şekil 4.20.) Fe_2B fazı ile birlikte Herbstein (1964)’in çalışmasında bulduğu Fe_7C_3 fazı görülmüştür.

Deney parametrelerine (sıcaklık, süre) ve borlanan çeliğin türüne göre Fe_2B , Fe_3B fazlarının durumu ve miktarı değişmektedir. Az miktarda oluştuğu görülen Fe_3B fazı, FeB ve α -Fe fazlarının reaksiyonundan meydana gelmiştir (Galvenetto ve ark., 2006).

Şekil 4.22.’de Fe-B ikili denge diyagramı görülmektedir (Massalski ve ark, 1986). İkili Fe-B denge diyagramı incelendiğinde içerisinde iki bileşenli intermetalik Fe_2B , FeB ve Fe_3B bileşikler yer almaktadır. Bunlardan Fe_3B bileşiği 1150°C-1250°C gibi dar

bir sıcaklık aralığının üzerinde ergiyebildiğinden dolayı bu sıcaklıkların aşağısında yarı kararlı bir faz özelliği gösterir. Bu nedenle Fe_3B fazı bu diyagram içerisinde yer almamaktadır.



Şekil 4.22. Fe- B ikili denge diyagramı (Massalski ve ark., 1986)

Borlanan tüm numunelerde Fe_2B fazı görülmüş ve sertlik artışındaki temel unsur olan bor elementinin başarılı bir şekilde numunelerin içine difüzlendiği gözlemlenmiştir.

4.3. Sertlik

Borlanmış ve borlanmamış numunelerin yüzeylerinin sertlik ölçümleri *BULUT MAKİNA DIGIROCK HARDNESS TESTER* marka elektronik sertlik ölçme cihazında 50 g yük altında gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları Vickers sertlik biriminde elde edilmiştir. Yüzeyi bor ile kaplanan numunelerin sertlik değerleri olarak, numunelerin yüzeyindeki borür tabakalarının 3 ayrı yerinden alınan sertlik değerlerinin aritmetik ortalaması hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2. Borlanmamış çelik numunelerin yüzey sertlik değerleri (HV_{0,05})

ÇELİĞİN TÜRÜ	SERTLİK (HV _{0,05})
AISI 1045	196
C-22	167
St 50-2	156

Çizelge 4.3. Yüzeyi bor ile kaplanmış AISI 1045 çeliğinin farklı sıcaklık ve sürelerde yüzey sertlik değerleri (HV_{0,05})

ÇELİĞİN TÜRÜ	SÜRE	SICAKLIK (°C)	NUMUNE KODU	SERTLİK DEĞERİ (HV _{0,05})
AISI 1045	2 Saat	860	A1	1527 HV
		900	A2	1465 HV
		940	A3	1531 HV
	4 Saat	860	A4	1589 HV
		900	A5	1559 HV
		940	A6	1618 HV
	6 Saat	860	A7	1632 HV
		900	A8	1621 HV
		940	A9	1736 HV

Yukarıdaki Çizelge 4.3. yüzeyi bor difüzyonu ile muamele edilmiş AISI 1045 çeliğine ait sertlik değerleri görülmektedir. Çizelge 4.3.'te görüldüğü ve literatürün de desteklediği üzere sıcaklık ve süre artışı ile sertlik değerlerinde artış olmuştur. Yüzeyi bor ile kaplanmayan AISI 1045 çeliğinin sertlik değeri 196 HV'dir (Çizelge 4.2.). Yüzeyi bor ile kaplanan AISI 1045 çeliğinin sertlik değerleri incelendiğinde 860°C 2 saat süre ile borlama işlemine tabi tutulan A1 numunesinin sertlik değeri 1527 HV, 860°C 4 saat süre ile borlanan A4 numunesinin 1589 HV iken 860°C 6 saat süre ile borlama işlemine tabi tutulan A7 numunesinin sertlik değeri 1632 HV olarak ölçülmüştür. Yine 900°C sıcaklıkta 2 saat süre ile borlama işlemine tabi tutulan A2 numunesinin sertlik değeri 1465 HV, 900°C sıcaklıkta 4 saat süre ile borlama işlemine

tabi tutulan A5 numunesinin yüzey sertliği 1559 HV ve 900°C 6 saat süre ile bor ile kaplanan A8 numunesinin yüzey sertlik değeri 1621 HV'dir. En son 940°C sıcaklıkta 2 saat süre ile borlanan A3 numunesinin yüzey sertlik değeri 1531 HV, 940°C sıcaklıkta 4 saat süre ile borlanan A6 numunesinin yüzey sertliği 1618 HV ve 940°C sıcaklıkta 6 saat süre ile borlanan A9 numunesinin yüzey sertlik değeri 1736 HV olarak ölçülmüştür. Sertlik değerleri incelendiğinde sıcaklık ve süre artışları ile bor difüzyonunun artışına bağlı olarak yüzey sertlik değerlerindeki artış gözlemlenmektedir. 940°C sıcaklıkta 6 saat süre ile borlanan A9 numunesinin sertliği, yüzeyi bor ile kaplanmamış AISI 1045 çeliğinin sertliğinin yaklaşık 9 katına çıktığı görülmektedir. AISI 1045 çeliğinin bor tabakası kalınlıkları incelendiğinde 900°C'de faz geçişinden dolayı difüzyon derinliğinde bir düşüş yaşandığı gözlemlenmektedir. Bu duruma bağlı olarak AISI 1045 çeliğinin bor difüzyon sıcaklığı 860°C'den 900°C'ye yükseltildiğinde tüm sürelerde sertlik değerlerinde belli bir düşüş yaşanmıştır ve sıcaklık 900°C'den 940°C'a yükseltildiğinde sertlik değerinde artış olmuştur.

Çizelge 4.4. Yüzeyi bor ile kaplanmış C-22 çeliğinin farklı sıcaklık ve sürelerde yüzey sertlik değerleri (HV_{0,05})

ÇELİĞİN TÜRÜ	SÜRE	SICAKLIK (°C)	NUMUNE KODU	SERTLİK DEĞERİ (HV _{0,05})
C-22	2 Saat	860	C1	1392 HV
		900	C2	1296 HV
		940	C3	1500 HV
	4 Saat	860	C4	1534 HV
		900	C5	1523 HV
		940	C6	1541 HV
	6 Saat	860	C7	1632 HV
		900	C8	1603 HV
		940	C9	1687 HV

Yukarıdaki Çizelge 4.4.'de 2, 4, 6 saat sürelerde 860°C, 900°C ve 940°C sıcaklıklarda termal bir difüzyon yöntemi olan borlama yöntemi ile borlanan C-22 numunesine ait yüzey sertlik değerleri verilmiştir. Sıcaklık artışı ve borlama süresinin artışı sertlik değerini parabolik bir düzende artırmıştır. 860°C'de 2 saat süre ile borlama işlemine tabi tutulan C1 numunesinin yüzey sertlik değeri 1392 HV, 4 saat süre ile borlanan C4 numunesinin yüzey sertlik değeri 1534 HV, 6 saat süre ile borlanan C7 numunesinin yüzey sertlik değeri 1632 HV'dir. 900°C'de 2 saat süre ile bor difüzyonuna tabi tutulan C2 numunesinin yüzey sertliği 1296 HV, 4 saat süre ile borlanan C5 numunesinin yüzey sertliği 1523 HV, 6 saat süre ile borlanan C8 numunesinin yüzey sertliği 1603 HV olarak ölçülmüştür. 940°C'de 2 saat süre ile borlanan C3 numunesinin yüzey sertlik değeri 1500 HV, 4 saat süre ile borlama işlemine tabi tutulan C6 numunesinin yüzey sertlik değeri 1541 HV ve 6 saat süre ile bor difüzyonuna tabi tutulan C9 numunesinin yüzey sertlik değeri 1687 HV olarak ölçülmüştür. C-22 numunesine ait yüzey sertlik değerleri incelendiğinde sıcaklık ve süre parametresinin artışının bor difüzyon nüfus derinliği ile yüzey sertliğinin orantılı olduğu görülmektedir. Yüzey bor ile kaplanmamış C-22 numunesinin sertliği 167 HV'dir. Yüzeyi 6 saat süre ile 940°C sıcaklıkta borlanan C9 numunesinin sertlik değeri yüzeyi bor ile kaplanmamış C-22 numunesinin sertlik değerinin 10 katıdır. C-22 numunesinin bor tabaka kalınlıkları incelendiğinde sabit tutulan tüm sürelerde sıcaklık 860°C'den 900°C'ye yükseltildiğinde bor tabakası kalınlığında düşüş, sıcaklık 900°C'den 940°C'ye yükseltildiğinde yine muhtemel yükseliş görülmektedir. 900°C'deki bu düşüşün faz geçişinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu hususla doğru orantılı olarak da sıcaklık değeri 860°C'den 900°C'ye yükseltildiğinde sertlik değerinde düşüş, sıcaklık 900°C'den 940°C'ye yükseltildiğinde ise sertlik değerinde artış görülmektedir.

Çizelge 4.5. Yüzeyi bor ile kaplanmış St 50-2 çeliğinin farklı sıcaklık ve sürelerde yüzey sertlik değerleri (HV_{0,05})

ÇELİĞİN TÜRÜ	SÜRE	SICAKLIK (°C)	NUMUNE KODU	SERTLİK DEĞERİ (HV _{0,05})
St 50-2	2 Saat	860	S1	1520 HV
		900	S2	1507 HV
		940	S3	1559 HV
	4 Saat	860	S4	1532 HV
		900	S5	1528 HV
		940	S6	1568 HV
	6 Saat	860	S7	1554 HV
		900	S8	1547 HV
		940	S9	1649 HV

Çizelge 4.5.'de 2, 4, 6 saat sürelerde 860°C, 900°C ve 940°C sıcaklıklarda termal bir difüzyon yöntemi olan borlama yöntemi ile borlanan St 50-2 numunesine ait yüzey sertlik değerleri verilmiştir. Sertlik değerleri Vickers sertlik değeri cinsinden verilmiştir. St 50-2 çeliğinin sertlik değeri 50 g yük altında ölçülmüştür. Çizelge 4.5.'de görüldüğü üzere 860°C'de 2 saat süre ile borlanan S1 numunesinin yüzey sertlik değeri 1520 HV, 4 saat süre ile borlanan S4 numunesinin yüzey sertlik değeri 1532 HV ve 6 saat süre ile borlama işlemine tabi tutulan S7 numunesinin yüzey sertlik değeri 1554 HV dir. Yine 900°C'de 2 saat süre ile bor difüzyonu işlemine tabi tutulan S2 numunesinin sertlik değeri 1507 HV, 4 saat süre ile borlanan S5 numunesinin sertlik değeri 1528 HV ve 6 saat süre ile borlanan S8 numunesinin sertlik değeri 1547 HV dir ve son olarak da 940°C sıcaklıkta 2 saat süre ile borlanan S3 numunesinin sertlik değeri 1559 HV, 4 saat sürede borlanan S6 numunesinin sertlik değeri 1568 HV ve 6 saat süre ile borlama işlemine tabi tutulan S9 numunesinin sertlik değeri ise 1649 HV olarak ölçülmüştür. St 50-2 çeliğinin yüzey sertlik değerleri Çizelge 4.5.'de görüldüğü gibidir. Yüzeyi bor ile kaplanmamış St 50-2 çeliğinin sertlik değeri 156 HV olarak ölçülmüştür. 940°C 6 saat süre ile borlanan S9 numunesinin sertlik değeri, borlanmamış St 50-2 çeliğinin sertliğinin 10 katı artmıştır. St 50-2 çeliğinin

sertlik değerlerini incelediğimizde sıcaklık ve süre parametreleri ile arttığı görülmektedir. Sıcaklık ve süre artışı ile difüzyon nüfus derinliğinin artışı ve sertlik değerleri de artışı göstermektedir. St 50-2 eliğinin sabit süre değerlerinde sıcaklık 860°C'den 900°C sıcaklığa yükseltildiğinde sertlik değerleri difüzyon nüfuz değerleri ile doğru orantılı olarak azalmıştır. Ancak sıcaklık 900°C'den 940°C'ye yükseltildiğinde difüzyon nüfuz değerinin artışı ile sertlik değerinde de artışı gözlemlenmektedir.

Yukarıda AISI 1045, C-22 St 50-2 eliklerinin farklı parametrelerdeki yüzey sertlik değerleri görülmektedir. Bor kaplama ile yüzey sertleştirme işlemi, termokimyasal bir işlem olup borun yüksek sıcaklıkta elik yüzeyine difüzyonudur. Borlamanın en büyük etkisi sertlik üzerinedir. Sertliğin değeri aynı zamanda ana malzeme cinsine ve yüzeyde oluşacak Fe₂B fazlarına bağlıdır. Borlanmış yüzeylerin sürtünme katsayısı azalır buna bağlı olarak da malzemenin yüksek sıcaklıklarda bile sertlik özelliğini koruduğu gözlemlenmektedir. Bu alışmada 860°C, 900°C ve 940°C sıcaklık ve 2, 4 ve 6 saat parametreleri baz alınmıştır. Sıcaklık ve süre artışı ile birlikte sertlik değerinin artışı tüm çelikler için gözlemlenmiştir. Sıcaklık artışı difüzyon derinliğini artırdığı için yüzey sertlik değeri de bununla birlikte artışı göstermektedir. Tüm elik numunelerin sertlik değerleri incelendiğinde en yüksek sertlik değerine sahip elik numunenin 940°C sıcaklıkta 6 saat süre (A9) ile borlanan AISI 1045 numunesi olduğu görülmektedir. 940°C sıcaklıkta 6 saat süre (A9) ile borlanan AISI 1045 numunesinin sertlik değeri 1736 HV' dir. Bununla birlikte en düşük sertlik değerine sahip elik numunenin 900°C sıcaklıkta 2 saat süre ile borlanan (C2) numunesi olduğu görülmektedir. 900°C sıcaklıkta 2 saat süre ile borlanan (C2) numunesinin sertlik değeri 1296 HV'dir. Sertlik değerlerinden de grldğu üzere sıcaklık ve süre artışı ile artışı gösteren bor difüzyonun sertlik üzerine etkisi oldukça önemlidir.

4.4. Bor Kaplama İşleminin Korozyona Olan Etkisi

Bu çalışmada 2, 4 ve 6 saatte ve 860, 900 ve 940°C sıcaklıkta yüzeyi bor kaplama işlemi ile iyileştirilen AISI 1045, C-22 ve St 50-2 numunelerinin korozyona olan direncini ölçmek adına tuz püskürtme testi (hızlandırılmış korozyon testi) yapılmıştır.

Yüzeyleri bor kaplı numunelerin tuz püskürtme korozyon testleri ASTM B117 standardında belirtilen şekilde gerçekleştirilmiştir. Test ortamında %5'lik NaCl içeren tuz çözeltisi kullanılmıştır. Çalışmada kontrol amacı ile borlanmış ve borlanmamış numuneler kullanılmıştır. Test süresince numuneler 2, 7, 15, 24 ve 36 saat sürelerle fotoğraflanmış ve karşılaştırılmıştır. Ancak çalışmalarda kullanılan Na ve B atomlarının kimyasal reaksiyona girme eğilimlerinin yüksek olmasından dolayı bor kaplama yüzey işlemlerinin korozyon direncinin ölçümünde bu yöntemin uygun olmadığı tespit edilmiştir.

Demir grubu materyallerin borlanması, bazı asit ve sıvı metallere karşı olan korozyon direncini büyük oranda artırmaktadır. Özellikle HCl asit ile Al, Zn ve Pb metallerin sıvı banyolarında borlanmış malzemelerin korozyon dayanımı çok yüksektir (Taşçı, 1993).

Bindal (1991) tarafından 3 saat süre ile borlanan 3 adet çeliğin %10 H₂SO₄ içerisinde 56°C'daki borlanmış ve borlanmamış durumdaki kıyaslamaları yapılmıştır.

Bindal (1991)'ın çalışmasında 3 adet özel hazırlanmış alaşımın borlanmış ve borlanmamış numunelerinin korozyon süresi artışı ile ağırlık kaybı değişimi görülmektedir. Her bir alaşımın borlanmış ve borlanmamış olmak üzere numuneleri karşılaştırıldığında borlanmamış numunelerin korozif %10'luk H₂SO₄ içerisindeki kütle kaybı daha fazladır.

Bindal (1991)'ın çalışmasına göre 56°C sıcaklıkta %10 H₂SO₄ çözeltisi içerisinde 1,2 ve 3 numaralı alaşımların tümünün borlanmış ve borlanmamış numuneleri sabit sıcaklıkta karşılaştırıldığında borlanmış numunelerin korozyon direncinin borlanmamış numunelere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Yani bu çalışmaya göre borlama işleminin bu kimyasal kompozisyona sahip alaşımlarda korozyon direncini artıracığı saptanmıştır.

Bolat (2016)'a göre elektrokimyasal olarak bor ile kaplanmış numunelerin yüzeyinde elde edilen sert borür tabakaları sayesinde; aşınma, çizilme, korozyon ve erozyon gibi çeşitli olumsuzluklara karşı direnç sağlanır. Korozif ortamlar olarak yapılan bu çalışmada %15 H₂SO₄, %15 HCl ve %15 HNO₃ çözeltilerinden 200 ml ölçüsünde hazırlanmıştır. 5 günlük süre zarfında korozyona tabi tutulan numunelerin ağırlık kayıpları hassas terazi ile ölçülmüş ve deneysel çalışmalar esnasında, elektrokimyasal olarak borlanmış (950°C, 120 dk, Na₂B₄O₇, 0,1 A/cm²) numuneler ile herhangi bir işleminden geçmemiş numuneler karşılaştırılmıştır.

Bolat (2016)'a göre elektrokimyasal olarak borlanmış numuneler ile borlanmamış numunelerin aynı korozif ortam içerisindeki davranışları oldukça farklıdır. Elektrokimyasal yöntemle borlanmış numunelerin diğerlerine oranla daha az kütle kaybına uğradıkları belirtilmiştir.

Bindal (1991) ve Bolat (2016)'ın çalışmalarında bor kaplamanın korozyon üzerine etkisi ve korozyon sürelerinin bor kaplı numunelere etkisi araştırılmıştır. Bor ile kaplanmış tüm numunelerde korozyon direncinin arttığı tespit edilmiştir. Termokimyasal bir difüzyon yöntemi olan borlama işlemi, üzerinde çalışılan tüm çeliklerin yüzey özelliklerinin iyileşmesini sağlamıştır. Bor kaplanan numunelerin korozyon direncinin artmasıyla aşınma oranında azaldığı tespit edilmiştir.

5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bor maddesinin kullanım alanı çok fazladır. Ancak bor ülkemizde hammadde olarak kullanılmaktan ziyade malzemelerin kalitesi ve kullanım ömürlerini artırmak amacıyla katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada bor düşük karbonlu çelikler grubuna giren C-22, St 50-2 ve orta karbonlu çelikler grubuna giren AISI 1045 çeliklerinin yüzeylerinin bor ile kaplanması işleminde kullanılmıştır. Borlanmış numunelerin yüzey özellikleri incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Metalografi tekniklerine göre hazırlanan numuneler üzerinde yapılan SEM analizi incelemeleri sonucu borür tabakası ve anayapının mikroyapısı net bir şekilde incelenmiştir. İncelenen optik mikroskop görüntülerinde, borlanmış çeliklerin yüzeylerindeki borür fazının düzgün dallı bir morfolojiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Katı (kutu) borlama tekniği ile borlama işlemi gerçekleştirilen deneysel çalışmada AISI 1045, C-22 ve St 50-2 çeliklerinin numunelerinin yüzeyindeki borlu tabaka kalınlığında sürenin ve sıcaklığın artışına bağlı büyüme görülmüştür. SEM analiz sonuçlarından ulaşılan bu durum difüzyon kuralları ile örtüşmektedir. Bor tabakası kalınlığı aynı çelik numuneler için, süre artışı ile artış göstermiştir. Bor tabakası kalınlığı ölçümleri sonucu ortalama en yüksek bor tabakası kalınlığına sahip olan numune 131,4 µ kalınlığa sahip olan, 6 saat süre ile 940°C sıcaklıkta borlanan, A-9 numune kodlu AISI 1045 çeliği numunesidir. Yine bor tabakası ölçümleri sonucu ortalama en düşük bor tabakası kalınlığına sahip olan numune 38,04 µ kalınlığa sahip olan 4 saat süre ile 900°C sıcaklıkta borlanan, S-5 numune kodlu St 50-2 çeliği numunesidir. 900°C sıcaklıktaki bor tabakası kalınlığı değerinin düşüşünün sebebi 900°C sıcaklıkta faz geçişinin gerçekleşmesi, sıcaklığa bağlı olarak C elementinin çeliğin yapısı içerisinde çözünmesi ve bor elementinin çeliğin yüzeyine difüze olmasını engellemesidir. Bunun sonucunda 900°C sıcaklıkta tüm çeliklerde bor tabakası kalınlığı azalmıştır.

Katı (kutu) borlama tekniği düşük karbonlu C-22, St 50-2 ve orta karbonlu AISI 1045 çeliklerine başarıyla uygulanabilmektedir. Borlama sonucunda diğer yüzey sertleştirme yöntemlerine göre en yüksek yüzey sertlikleri elde edilmiştir. Borlamanın

en büyük etkisi sertlik üzerine olup bunun sebebinin yapılan çalışmada Fe_2B 'e bağlı olduğu tespit edilmiştir. Sertlik borun çelik yüzeyine difüzyonu ve bor tabakası kalınlıkları ile doğrudan etkilidir. AISI 1045 çeliğinin borlanmamış numunesinin yüzey sertlik değeri $196 HV_{0,05}$ olarak ölçülmüştür. $940^{\circ}C$ sıcaklıkta ve 6 saat sürelerle borlanan AISI 1045 çeliğinin sertlik değeri $940^{\circ}C$ sıcaklıkta 6 saat süre borlama ile $1736 HV_{0,05}$ olup sertliği bor kaplama ile yaklaşık olarak 9 kat artmıştır. C-22 numunesinin borlanmamış numunesinin yüzey sertlik değeri $167 HV_{0,05}$ olup bor kaplı numunelerinden 6 saat $940^{\circ}C$ sıcaklıkta borlanan C-22 numunesinin yüzey sertlik değeri $1687 HV_{0,05}$ olarak ölçülmüş, sertliği bor kaplama ile yaklaşık 10 kat artmıştır. St 50-2 çeliğinin borlanmamış numunesinin sertlik değeri $156 HV_{0,05}$ olarak ölçülmüş olup 6 saat süre ile $940^{\circ}C$ sıcaklıkta borlanmış numunesinin yüzey sertlik değeri $1649 HV_{0,05}$ olup yaklaşık 10 kat artmıştır. Bor kaplama işlemi sonucunda en yüksek sertlik değerine sahip çelik numunesinin 6 saat süre ile $940^{\circ}C$ sıcaklıkta borlanan AISI 1045 çeliğinin olduğu tespit edilmiştir ve sertliği $1736 HV_{0,05}$ 'dir. Tüm çeliklerin yüzey sertlik değerlerinin bor tabakası kalınlığıyla orantılı olduğu görülmüştür. Yani bor tabakası kalınlığı arttıkça çeliklerin yüzey sertlik değeri de artmıştır.

Malzeme çeşidi, borlama süresi ve borlama sıcaklığı ayrımı göstermeksizin, borlanan tüm numunelerin bor tabakaları ağırlıklı olarak tek faz oluşturmuştur. XRD analizlerinde tanımlanan bu faz Fe_2B fazıdır. Literatürde de desteklendiği üzere FeB fazının sertliği Fe_2B fazının sertliğinden daha yüksektir ancak kırılğan bir yapıya sahip olduğu için FeB fazının varlığı istenmeyen bir durumdur. Bu çalışmada X-Ray difraksiyon analizi sonuçlarında daha kararlı bir yapı olan ve kırılğanlığı daha az olan Fe_2B fazına rastlanılmıştır. Fe_2B fazının varlığı Bragg yasasına göre X-Ray difraksiyon analizi yansıma açıları karşılaştırılarak elde edilmiştir. X-Ray difraksiyon analizi sonuçlarından görüldüğü üzere C elementi bor tabakası içerisinde çözünmeyip matrise difüze olmuştur ve kaplama tabakasının hemen altındaki geçiş bölgesinde Fe_3C , Fe_7C_3 gibi karbürler oluşmasına sebep olmuştur. C elementi geçiş bölgesi denilen bu bölgenin yapısının daha düzenli olmasına sebep olmuştur. Elde edilen XRD piklerinde farklı açılarda dalga boyları ve tarama hızları gerçekleştirilerek girişim yapan piklerin hangi faza ait olduğu daha net bir biçimde tespit edilebilir. Bu çalışmada

Fe₂B fazının tüm çeliklerin yüzeyinde oluşmuş olması borlama işleminin başarılı olduğunu ve demir karbürlerin oluşması geçiş bölgesinde oluştuğunu göstermiştir.

Yüzeyi bor kaplanan çelikler bu çalışmada hızlandırılmış korozyon testi olan tuz testine tabi tutulmuştur. Ancak bu test ile borlamanın korozyona olan dayanımı ölçülememiştir. Çünkü Na ve B atomları bu ortamda bileşik oluşturmaya meyillidirler. Bu nedenle tuz testi borlama işleminin çeliklerde korozyon dayanımını arttırdığını izleyebilmek için uygun bir test değildir. Ancak literatürde yapılan çalışmalarda borlamanın korozyon direnci açısından önemi oldukça açık bir şekilde vurgulanmıştır. Literatür çalışmalarının ışığında korozyon dayanımını ölçmek için farklı aşındırıcılar içerisinde çelik numunelerin ağırlık kaybının ölçülmesi yöntemine dayalı yöntem tercih edilmelidir.

Borlama işlemi sonucunda AISI 1045, C-22 ve St 50-2 numunelerinin tümünün sertlik, SEM, X-Ray Difraksiyon analizlerinin iyileştiği gözlenmiştir. En iyi sonuçlar tüm numuneler için 6 saat 940°C sıcaklıkta elde edilmiştir. Bor kaplama süresi ve sıcaklığının artışı ile fazların daha sağlam ve kararlı yapıda olup, difüzyon derinliğinin arttığı ve buna bağlı olarak sıcaklık ve süre artışının bor kaplamanın kalitesini arttırdığı gözlenmiş olup elde edilen bulgular araştırmacılara ışık tutacak niteliktedir.

KAYNAKLAR

- Anatürk, B., 2012. Borlanmış AISI 1010. Çift Fazlı Çeliğin Korozyon Davranışının İncelenmesi. Y.Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Anonim, 2011. Çeliklerin temel özellikleri, http://www.elementcelik.com.tr/celik_nedir.html (31.01.2015).
- Anonim, 2014. Yüksek karbonlu takım çelikleri, <http://www.kucuklercelik.com/dokumanlar4.html> (30.01.2015).
- Anonim, 2007. Dokuzuncu Kalkınma Planı, Kimya Sanayii Özel İhtisas Komisyonu. T.C Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara, 78s.
- Anonim, 2012. Bor ürünleri hakkında genel bilgi, eti maden işletmeleri genel müdürlüğü, <http://www.etimaden.gov.tr/bor-urunleri-hakkinde-genel-bilgi-193s.htm>- (17.12.2014).
- Anonim, 2012. Tübitak bor raporu, <http://www.tubitak.gov.tr/tubitak-contut-files/vizyon2023/mm/ek2h.pdf> (10.12.2014).
- Anonim, 2014. Eti maden işletmelerin rezerv bilgileri, <http://www.etimaden.gov.tr/bor-rezervleri-72s.htm> (10.12.2014).
- Anonim, 2012. Alper ısıtma san. ve tic. a.ş. borlama, <http://www.alper.com.tr/hizmetr/ısıtma-san-ve-tic-a-s-borlama.html> (19.01.2015).
- Arat, M. , 2011. Paslanmaz Çelik 310 ve 316 Metalinin Plazma Borlama ve Nitrürleme Metodu ile Mekanik Özelliklerini Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Arslan, İ.H., Yiğit, E., Özel, P., 2000. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu. Ankara.
- Arslan, İ.H., Yiğit, E., Özel, P., 2001. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Kimya Sanayii Hammaddeleri Cilt 2.

- Atik, E., 2001. Farklı bir yüzey sertleştirme yöntemi: Borlama, Makina Metal Dergisi, 117(1), Sayfa 86-90.
- Ayter, T., 2005, Borlama İşleminin Çeliklerin Yüzey Kalitesi ve Aşınma Davranışına Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- Bayça, S.U., Şahin, S., 2004. Borlama. Mühendis ve Makine, 532(45), Sayfa 51-59.
- Barış, M., 2007. Farklı Borlama Sürelerinin Transmisyon Çeliğinde Abrasiv Aşınma Davranışlarına Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Bashev, V.F., Sergeev, G.A., Miroshnichenko I.S., 1981. New metastable phases of cobalt-boron, iron-boron, and nickel-boron systems. Izvestia Akademii Nauk SSSR, Neorganic Material, 17(7), 1206–1211.
- Baştürk, S. , Enten, M. , 2006. Borlama ile yüzey sertleşme çalışmaları. Mühendis ve Makine, 47(563), 57-74.
- Bindal, C., 1991. Az Alaşımli ve Karbon Çeliklerinde Borlama İle Yüzeye Kaplanan Borürlerin Bazı Özelliklerinin Tespiti. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bolat, Ç., 2016. Orta Karbonlu DIN Ck45 Çeliğinin Elektrokimyasal Yöntemle Borlanması. Y. Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bozkurt, N., 1984. Bor Yayınımla Çeliklerde Yüzey Sertleştirme, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri, İstanbul.
- Callister, J., William, D., 1994. Materials Science and Engineering. Wiley, New York, USA, 560 p.
- Campos I.,Palomar- Pardave M., Amador A., Villa Velazquez C., Hadad J., 2007. Corrosion behavior of boride layers evaluated by the eis technique, Applied Surface Science, 253, 9061-9066.

- Çalık, A., Özsoy, A., 2004. Isıl çevrimli borlama işleminin SAE 1030 ve SAE 1050 çeliklerine etkileri. I. Uluslararası Bor Sempozyumu, 23-25 Eylül, Eskişehir, 213-218.
- Çalık, A., 2005. Borlama ve Endüstriyel Uygulama Alanları. I. Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı, Ankara, 161.
- Çarkçı, M., 2012. Saf Nikelin Borlama Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Daviz, J.R., 2002. Boriding. Surface hardening of steels, Joseph R. Davis. ASM International, United State Of America, 213-216.
- Delikanlı, K. Ulusoy, N., Uzun, H.A., 2003. Yüzeyleri borlama ile sertleştirilen Ç1040 çeliğinin abrasif aşınma ve korozyona karşı dayanımı. II. Ulusal Demir-Çelik Sempozyumu, Karabük, 61-66 .
- Demirel, Ç. , 2013. AISI 8640 VE 6560 Çelik Malzemelerin Abrasif Aşınma Ve Korozyon Davranışına Borlama İşleminin Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Dilektaşlı, E., 2014. Bazı Alaşımli Çeliklerin Yüksek Sıcaklık Aşınma Davranışına Borlama İşleminin Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ertuğrul, E. , 2004. Bor ve Toryum Madenleri Sektörü. Ankara
- Galvanetto, E., Fossati, A., Borgioli, F. and Bacci, T., 2006. Corrosion science. Editor: E. Galvanetto. vol. 48, 1513–1527.
- Herbstein, F., H., Sumuts, J., 1964. Comparasion of X-Ray and neutron-difraction refinements of the structure of cementite, Fe₃C powder diffraction. Editor: R. Herbstein. Inorganic Chemical 3. Weinheim, Germany, 1331-1332.
- Kapfenberger, C., Albert, B., Poettgen R., Huppertz, H. 2006. Zeitschrift für Kristallographie. Structurerefinements of iron borides Fe₂B and FeB. Editor: R. Poettgen, Vienna, Austria, 477-481.

- Keddem, M. , Chegroune, R. , 2011 A Model for The Growth of Fe₂B Layers on a steel substrate: Effect of The Surface Boron Concentration. Proceedings of the 12th International Symposium on Physics of Materials, September 4-8, 2011, Prague, 588-592.
- Lipson, H., Petch, N. J., 1940. Crystal Structure of Cementite (Fe₃C). Editor: H. Lipson. Chem. Abs., London, 95-106.
- Massalski T.B., 1986. Binary Alloy Phase Diagrams. Editor: T.B. Massalski. American Society for Metals, Ohio, USA, Vol 2, 2224 p.
- Mathew, M., Rajendrakumar, P.K., 2014. Effect of preboridization on growth kinetics and mechanical properties of borided low- carbon steel. Tolyr Francis Group, 29(9), 1073-1084
- Matiasovsky, K., Chrenkova-Paucirova, M., Fellner, P. ve Makyta, M. 1988. Electrochemical and Thermochemical Boriding in Molten Salts. Editor: K. Matiasovsky. Surface and Coatings Technology, New York, USA, 133–149.
- Matuschka, A.G., 1980. Boronizing, Carl Hanser Verlag, München, 100 s.
- Meinhardt, D., Krisement, O., 1962 . Strukturuntersuchungen an karbiden des eisens, wolframs und chroms mit thermischen neutronen, Archiv für das Eisenhüttenwesen, 493-499.
- Milinic, A., Krumes, D., Markovic, R., 2012. An investigation of boride layers growth kinetics on carbon steels. *technickivjesnik*, 19(1), 27-31.
- Özer, M., 2011. Üç Farklı Çeliğe Katı Borlama Yapılmasının İçyapı ve Sertlik Üzerine Etkisinin İncelenmesi. Y.Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Perez, N., 2004. Electrochemistry and Corrosion Science. Kluwer Academic Publishers, Boston, USA, 353 p.
- Roskill, E., 2015. Boron: Global Industry Markets and Outlook, 13th Edition. Roskill Information Services Ltd.

- Sarıhan, E., 2006. İstanbul Ticaret Odası Bor Sektör Profili, <http://www.ito.org.tr/Dokuman/Sektor/1-15.pdf> İstanbul- (25.09.2015).
- Stewart, K., 1997. Boronizing Protects Metals Against Wear. Advanced Material Process, USA, 23-25.
- Sinha, A.K., 1991. ASM Handbook, 4, ASM International, Materials Park, Ohio, USA, 437 p.
- Şen, Ş., 1998. Termokimyasal Borlama İşlemi ile AISI 5140, AISI 4140 ve AISI 4340 Çeliklerinin Yüzey Performanslarının Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Şimşek, M., 2005, “İçten Yanmalı Motorlarda Borlama İle Mukavemet Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Taşçı, A., 1993. Borlanmış Çeliklerin Aşınma ve Korozyon Dayanımları, Y.Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Uzun, H. A, 2002. Borlama İle Yüzeyleri Sertleştirilen Çeliklerin Aşınma ve Korozyona Karşı Dayanımları, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Üçkardeşler, A. , 2013. Çelik Dökümlerde Borlama Isıl İşleminin Abrasif Aşınma Direnci Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ünlü, B.S., Yılmaz, S.S., Bor ve Borlamanın Kullanım Alanları, Mühendis ve Makine, Sayı.552, Sayfa 48-54, 2006.
- Xu, C. H.,Gao, W., Yang, Y. L., 2000. Super plastic boronizing of a low alloy steel- microstructural aspects, journal of materials processing technology, 108, 349-355.
- Yalçın, H., Koç, T., 1998. Mühendisler İçin Korozyon. TMMOB Kimya Mühendisleri Odası, Ankara, 321 s.

Yiğitbaşoğlu, H., 2004. Türkiye için önemli bir maden: bor, <http://docplayer.biz.tr/7012303-Turkiye-icin-onemli-bir-maden-bor-an-important-ore-for-turkey-boron.html> (07.11.2015).

Yorulmaz, M. A., 2007, An Investigation Of Borinding of Medium Carbon Steels, Yüksek Lisans Tezi, Marmara University Thesis for the Degree of Undergraduatein Materials Science and Engineering Programme, İstanbul.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : AKIN GÖDEK, Bahar
Uyruğu : T.C.
Doğum Tarihi ve Yeri : 03.05.1990- Çanakkale
Medeni Hali : Evli
Telefon : 0 (546) 553 70 80
e-mail : akinbahar17@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Hitit Üniversitesi Kimya Mühendisliği	2012
Lise	Çan Lisesi	2007

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-2014	Kızılırmak Döküm	Kalite Kontrol Sorumlusu
2014	Çözüm Global OSGB	İş Güvenliği Uzmanı (C)
2016	AKA OSGB	İş Güvenliği Uzmanı (C)