

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİKLERDE BOR İLE YÜZEY SERTLEŞTİRME



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Selim Sarper YILMAZ

Tezin Fen Bilimleri Ens.Verildiği Tarih:29/08/1997

Tezin Savunulduğu Tarih :12/09/1997

Tez Danışmanı : Prof.Dr.Mustafa AKDAĞ

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr.Kazım ÖNEL

Yrd.Doç.Dr.Cevdet MERİÇ

MANİSA 1997

İÇİNDEKİLER

SEMBOL LİSTESİ	
ŞEKİL LİSTESİ	
ÇİZELGE LİSTESİ	
TEŞEKKÜR	
ÖZET	I
ABSTRACT	II
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. KONUNUN TEORİK OLARAK İNCELENMESİ	3
2.1. Türkiye'de bor üretimi	3
2.2. Dünya'da bor üretimi	5
2.3. Bor ve bor bileşikleri hakkında genel bilgi	5
2.4. Saf borun fiziksel özellikleri	6
2.5. Çeliklerde bor bileşikleri	8
2.5.1. Çeliklerde bor erirliği	8
2.5.2. Çeliklerde borür ve bor-karbürler	8
2.6. Malzeme dayanımlarını arttırma yöntemleri	10
2.7. Yayınım (difüzyon)	12
2.8. Borun çeliklerde alaşım elementi olarak kullanılması	13
2.9. Borlanmış tabakaların özellikleri	14
2.9.1. Sertlik	15
2.9.2. Korozyona karşı direnç	16
2.9.3. Aşınma	16
2.10. Borlama sonucu oluşan tabaka kalınlıkları	18
2.11. Borlama metotları	19
2.11.1. Katı borlama	19
2.11.2. Sıvı borlama	20
2.11.2.1. Normal sıvı borlama metodu	21
2.11.2.2. Elektroliz metodu	21
2.11.3. Gaz borlama	22
2.12. Borlanabilen malzemeler	24
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	24
3.1. Deneylerde kullanılan malzeme ve ölçüleri	24
3.2. Deney parametreleri	26
3.3. Deneylerde kullanılan araç ve gereçler	26
3.4. Katı borlama deneyinin yapılışı	27
3.5. Deney sonuçları	27
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	33
5 KAYNAKLAR	34
ÖZGEÇMİŞ	

SEMBOL LİSTESİ

- D : Yayınım katsayısı (cm^2/sn)
Q : Aktivasyon enerjisi (K.Kal/mol)
R : Gaz sabiti (1.977 K.Kal.Mol K^0)
T : Mutlak sıcaklık (K^0)
K : En küçük kareler metodunda doğruların noktalara uygunluk derecesini gösteren korelasyon katsayısı
C_o : Bor veren ortamın bor konsantrasyonu
D_o : Frekans faktörü (cm^2/sn)
t : Zaman
d : Borür tabakasının yayınım derinliği
k ve n : Sabit
dg : Geçiş zonu kalınlığı



ŞEKİL LİSTESİ

<u>ŞEKİL NO</u>	<u>SAYFA NO</u>
Şekil-2.1.Fe-B ikili denge diyagramı	9
Şekil-3.1.Katı borlama ortamında 950 °C , 1 saatte borlanan numunenin metalografik yapısı	28
Şekil-3.2.Katı borlama ortamında 950 °C , 2 saatte borlanan numunenin metalografik yapısı	28
Şekil-3.3.Katı borlama ortamında 950 °C , 2 saatte borlanan numunenin metalografik yapısı	29
Şekil-3.4.Katı borlama ortamında 950 °C , 3 saatte borlanan numunenin metalografik yapısı	29
Şekil-3.5.Katı borlama ortamında 950 °C , 4 saatte borlanan numunenin metalografik yapısı	30
Şekil-3.6.Katı borlama ortamında 950 °C , 4 saatte borlanan numunenin metalografik yapısı	30
Şekil-3.7.Katı borlama ortamında 950 °C , 5 saatte borlanan numunenin metalografik yapısı	31
Şekil-3.8.Katı borlama ortamında 1050 °C , 4 saatte borlanan numunenin metalografik yapısı	31
Şekil-3.9.Katı borlama ortamında 1050 °C , 5 saatte borlanan numunenin metalografik yapısı	32



ÇİZELGE LİSTESİ

ÇİZELGE NO

SAYFA NO

Çizelge-2.1.Türkiyedeki önemli B_2O_3 yatakları ve kapasiteleri	3
Çizelge-2.2.Türkiye'deki bor konsantratör tesisleri ve kapasiteleri	4
Çizelge-2.3.Türkiye'deki bor türevleri üretimi yapan kuruluşlar ve kapasiteleri	4
Çizelge-2.4.Dünya'da bor rezervleri	5
Çizelge-2.5.Borun kristal şekilleri ve kafes parametreleri	7
Çizelge-2.6.Bor ve bazı bileşiklerinin sertlikleri	7
Çizelge-2.7.Ticari ve endüstriyel alanda bor mineralleri	8
Çizelge-2.8. Fe_2B ve FeB 'nin bazı özellikleri	10
Çizelge-2.9.Kenar tabakalarının özelliklerini değiştirerek malzeme dayanımını artırma yöntemleri	11
Çizelge-2.10.Demirborür fazının özellikleri	15
Çizelge-2.11.Yüzeyi bor ile sertleştirilmiş malzemelerin diğer işlemlerle elde edilmiş sertliklerle kıyaslanması	16
Çizelge-2.12.Bazı malzemelerin sürtünme katsayılarının kıyaslanması	17
Çizelge-2.13.Tel çekme kalıplarının ömrüne borlamanın etkisi	18
Çizelge-2.14.Katı ortam borlamasında kullanılan maddelerin bazı özellikleri	20
Çizelge-2.15.Sıvı ortam borlamasında kullanılan ana bor kaynakları ve özellikleri	21
Çizelge-2.16.Gaz halindeki borlayıcı bileşikler ve bazı özellikleri	23
Çizelge-2.17.Numunelere uygulanan zaman ve sıcaklık parametreleri	26

TEŞEKKÜR

Tezimi yöneten ve bana her çalışmamda fikir ve yönlendirmeleriyle katkıda bulunan sayın hocam Prof. Dr. Mustafa AKDAĞ beye sonsuz Őükranlarımı sunarım.

Aynı zamanda tezimi hazırlamada fikirleri ve bizzat yol göstermeleriyle hiç bir zaman fedakarlıktan kaçınmayan sayın hocalarım, Yrd. Doç. Dr. Cevdet MERİÇ ve Yrd. Doç. Dr. Enver ATİK beylere teşekkürlerimi sunuyorum.

Atölye çalışmalarımda sürekli desteklerini gördüğüm arkadaşlarım, Araş. Gör. Bekir Şadık ÜNLÜ, Araş. Gör. Salim ŞAHİN ve Araş. Gör. Oktay DEMİRDAĞ beylere Őükranlarımı sunuyorum.

Numunelerimin ölçümlerinde bana büyük ölçüde yardımcı olan Norm Cıvata yetkililerine de teşekkür ediyorum.

ÖZET

Bor ve bileşikleri bir çok sanayi alanında kullanılmaktadır (cam, seramik, jet motoru yakıtı, çelik sanayii v.s.).Metalurjide ise genellikle curuf yapıcı ve yüzey sertleştirici olarak kullanılmaktadır.Bu çalışmada bor ile yüzey sertleştirme, bir diğer ad ile **BORLAMA** üzerinde durulmuştur.

Bor ile yüzey sertleştirme yönteminin tercih sebeplerini; çok sert tabaka elde edilmesi, aşınmaya ve korozyona karşı dayanımı olarak sıralıyabiliriz.

Borlamanın endüstriyel alanda uygulanabilmesi için tek fazlı (Fe_2B) yapı veren borlama ortamlarına ihtiyaç duyulur.Borlama işlemi esas olarak borun yüksek sıcaklıkta difüzyonundan ibarettir. Bu işlem genellikle çeliğin borlayıcı ortamda, ortalama $850 - 1000 ^\circ C$ sıcaklıklarda 2 - 6 saat bekletilmesi sonucu elde edilmektedir.Genel olarak katı, sıvı, gaz olarak sınıflandırılır.

Bu çalışmada katı borlama ortamı kullanılmıştır. $800 - 1050 ^\circ C$ de beşer $^\circ C$ aralıklarla, 1 saatten 5 saate kadar olan parametreler denenmiştir.

Numuneler nital ($\%5 HNO_3 + \%95$ etil alkol) ile dağlanmışır. Deneysel çalışmalarda, borlanmış tabanın mikro yapısı ve mikro sertliği incelenmiştir.

ABSTRACT

Bor and its components are used in many areas of industry (glass, ceramic, fuel of jet motors, steel industry, etc...). But in metallurgy they are usually used as slag maker and surface hardener. In this study, surface hardening with bor, in other words, BORONIZING was examined.

Getting a very hard layer, and its resistance to wearing and corrosion can be the reasons for preferring the method of surface hardening with bor.

For carrying the boronizing through the industrial areas, the boronizing surroundings that give single phase (Fe_2B) structures are needed. The boronizing process is generally made by keeping the steel in a boronizing surrounding at the heat interval of 850 - 1050 °C for 2 - 6 hours. It's generally classified as solid, liquid, and gas.

In this study, solid boronizing surrounding have been used. The parameters from 1 hour to 5 hours were tested for each 50° interval at 800 - 1050 °C.

The specimens were cauterized with nital (%5 HNO_3 + %95 ethyl alcohol). In the experimental studies, the micro structure and micro-hardness of the boronized layer are examined.

1.GİRİŞ VE AMAÇ

Bor, bir çok mineralleri ve bileşikleri olan bir madendir. Bunlardan; tinkal, kernit, kolemanit, üleksit, probertit, szaybelit, datolit, sasolit ticari önem taşıyan bor mineralleri ve bileşikleridir.

Bor, modern teknolojiye çok çeşitli ve yaygın kullanım alanı bulmuştur. Cam, seramik, jet - roket yakıtı ve bir çok kullanım alanları bunlardan sadece birkaçıdır. Türkiye sahip olduğu bor mineralleri rezervlerinin büyüklüğü, minerallerinin dünya pazarlarında aranılan nitelikleri ve çeşitliliği açısından Dünya'da birinci sırada yer almaktadır. Yapılan araştırmalar neticesinde Dünya bor rezervlerinin %63 sinin Türkiye'de olduğu saptanmıştır. Türkiye harici bor minerallerinin bulunduğu ülkeler; Amerika Birleşik Devletleri, Arjantin, Meksika, Kazakistan, Peru, Çin, İtalya, Şili ve Bolivya'dır. Nevar ki, bor mineralleri rezervleri açısından Dünya'da birinci sırada yer alsak bile, bu cevherlerin değerlendirilmesi yönünde yeterli olduğumuz söylenemez.

Bor gelişmiş ülkelerde, 1970'li yıllardan itibaren çelik sanayiinde kullanılmaya başlanmıştır. Çelik sanayiinde borun başlıca kullanım alanlarını;

1. Çelik imalatında curuf yapıcı olarak,
 2. Çeliklerde alaşım elementi olarak,
 3. Çeliklerde yüzey sertleştirici olarak
- sıralayabiliriz.[1]

Bu çalışmamızda borun "yüzey sertleştirici" özelliğinden yola çıkarak; katı borlama metodunda değişik sıcaklık ve zaman parametrelerinden elde ettiğimiz sonuçları ortaya koymaya çalıştık.

Borlama katı, sıvı ve gaz ortamlarda gerçekleştirilmektedir. Bu işlemdeki amaç; çelik yüzeyine boru difüze ettirerek, çelik yüzeyinde tek fazlı demir borür (Fe_2B) tabakası elde edilmesidir. Borlamada ki banyo ortamları, firmaların patenti ile saklanmaktadır.

Borlamanın diğ er yüzey sertleştirme işlemlerine olan üstünlüklerini;

1. Çok sert yüzey elde edilmesi (yaklaşık 2100 HV),
 2. Sürtünme katsayısının düşük olması,
 3. Metal eriyikleri, bazı asit, baz ve yüksek sıcaklık oksidasyonuna direnç göstermesi,
- olarak sıralayabiliriz.

Ancak bu yöntem, özellikle doğru tribolojik sistem seçimleri yapılmadığı takdirde veya seçilen sistemde beklenen fonksiyona uygun borlama işlemi ve/veya uygun ek ısı işlemler yapılmadığı takdirde sementasyon ve nitrürasyon işlemlerinden daha kötü sonuçlar verebilir.

Çok eskiden beri bilindiği halde borlamanın ülkemizde yaygın olarak uygulanmamasının nedenleri, ekonomiklik kriterlerinin kullanıcıyı çoğu uygulama yerlerinde, yanlış uygulama sonucu, olumlu sonuçlara ulaştırmamasıdır. Bu sonucun ana kaynağı ise borlamada standart bir uygulama usulü yerine, her tribolojik sisteme ve parçadan beklenen fonksiyona göre doğru borlama şartlarının seçimi gerektiği ve bu verilere göre ayrıca uygun ek ısı işlemlerin tespitinde isabet zorluğu ile açıklanabilir. Parçadan beklenen fonksiyona göre uygun borlama parametreleri seçilmediği veya uygun ek ısı işlemlerin gerçekleştirilmediği birçok uygulama alanlarında, borlamanın hiç borlanmamış durumdan daha kötü sonuçlar verebileceği hususu kendi uygulamalı çalışmalarımızda ve verilen diğ er literatür sonuçlarında görülmüştür. [2]

Bu çalışmamızın amacı, katı borlamada uygun sıcaklık ve zaman parametrelerini tespit etme ve elde edilen yüzeylerin ve tabakaların özelliklerinin araştırılmasıdır.

2.KONUNUN TEORİK İNCELENMESİ

2.1.TÜRKİYE'DE BOR ÜRETİMİ

Türkiye'deki borat yatakları, dünyadaki en büyük rezervler olup önemli rezervler şöyledir :

- 1.-Eskişehir - Kırka, Sarıkaya'da genelde tinkal olmak üzere az miktarda kolamanit, kurnakovit, inderit, tunelit, inderborit, meyerhofferit, inyoit ve uleksit.
- 2.-Kütahya - Emet, Hisarcık ve Espey'de çoğunluk kolemanit olmak üzere az miktarda uleksit.
- 3.-Balıkesir - Bigadiç'de Kolemanit ve uleksit.
- 4.-Sultan Çayırı'nda pandemit.
- 5.-Küçükler'de kolemanit.
- 6.-Kestelek'te kolemanit.

Dünyadaki bor cevheri yataklarının yaklaşık %63 ünün Türkiye'de bulunduğu ve dünya üretiminin %42 sinin gerçekleştirildiği göz önünde bulundurulursa, bor ve bileşiklerinin ve teknolojisinin yurdumuz için olan büyük önemi daha iyi anlaşılabilir olacaktır.

Türkiye'de ki önemli bor yatakları, bor konsantratör tesisleri, bor türevleri üretimi yapan kuruluşlar ve kapasiteleri Çizelge 2.1., 2.2., 2.3. de verilmiştir. [3]

Çizelge - 2.1. Türkiye'de ki önemli B₂O₃ yatakları ve kapasiteleri.

Yeri	B ₂ O ₃ Bazı			
	Rezervi (ton)	Rezervi (ton)	%B ₂ O ₃	% Payı
Emet-Kütahya	886 743 000	310 360 000	35	38.64
Bigadiç-Balıkesir	1 029 722 000	360 403 000	35	44.6
Kestelek-Bursa	8 142 000	2 850 000	35	0.36
Kırka-Eskişehir	518 535 000	129 634 000	25	16.14
TOPLAM	2 443 142 000	803 247 000	-	100.0

Çizelge - 2.2.Türkiye'deki Bor Konsantratör Tesisleri ve Kapasiteleri[3]

Yeri	Tesis	Üretilen Ürün	Kapasite (ton/yıl)
Emet-Kütahya	Konsantratör	Üleksit -Kolemanit	500 000
Bigadiç-Balıkesir	Konsantratör	Kolemanit	200 000
Kestelek-Bursa	Konsantratör	Üleksit -Kolemanit	100 000
Kırka-Eskişehir	Konsantratör	Tinkal	500 000
TOPLAM			1 300 000

Çizelge-2.3.Türkiye'de Bor Türevleri Üretimi Yapan Kuruluşlar ve Kapasiteleri [3]

Kurumlar	Tesis	Ürün Cinsi	Kapasite(ton/yıl)
Etibank Bandırma Boraks ve Borikasit Fabrikaları İşletmesi	Boraks	Boraks dekahidrat Borikasit Sodyum Perborat	55 000 35 000 20 000
Etibank Kırka Boraks İşletme Müdürlüğü	Bor Türevleri	Boraksdekahidrat Borakspentahidrat Susuz Boraks	17 000 160 000 60 000
K.Göknur Sinaai Kimya Maddeleri Fabrikası		Borakspenhidrat Borikasit	2 000 2 000
Kimsan		Borakspentahidrat Boraksdekahidrat SodyumMetaborat	12 000 12 000 1.2 000
Atabay İlaç Fab.		Sodyum Perporat	5 000

2.2. DÜNYA'DA BOR ÜRETİMİ

Dünya'nın bilinen bor kaynaklarının büyük çoğunluğu tinkal, kolemanit ve üleksittir. Ticari açıdan önemli olan bu cevherler, Çizelge 2.4.dan da görüldüğü gibi Türkiye başta olmak üzere, Amerika Birleşik Devletleri, Sovyetler Birliği, Arjantin ve Şili olmak üzere beş ülkede üretilmektedir. Rezevr açısından Türkiye birinci sırada yer almasına karşın, üretim açısından Amerika Birleşik Devletleri birinci sıradadır.

Çizelge -2.4.Dünya Bor Rezevrleri (B₂O₃ Bazında) [3]

Ülkeler	Rezerv (Ton)	% Payı
Türkiye	803 000 000	63.0
A.B.D.	209 000 000	16.4
S.S.C.B.	136 000 000	10.7
Şili	41 000 000	3.2
Çin Halk Cumhuriyeti	36 000 000	2.8
Peru	22 000 000	1.7
Bolivya	19 000 000	1.5
Arjantin	9 000 000	0.7
Toplam	1 323 000 000	100.0

2.3. BOR VE BOR BİLEŞİKLERİ HAKKINDA GENEL BİLGİ

Bor çok sayıda kimyasal bileşikleri olan elementlerden biridir.

Borun en çok kullanılan bileşiği boraks, altın ve gümüş gibi binlerce yıldan beri bilinmektedir. Doğal boraks mineralleri için " tinkal " sözcüğü kullanılmaktadır.

Dünyada bilinen bor kaynaklarının büyük çoğunluğunu tinkal cevherleri oluşturmaktadır. Büyük rezevrlere halinde bulunan diğer bor cevherleri de kolemanit (kalsiyum borat) ve üleksit (sodyum kalsiyum borat) dir.

Genel olarak bor ve bileşiklerinin en çok kullanıldığı tüketim alanları cam yünü, diğer camlar, yalıtım ürünleri, ateşe dayanıklı eşya, borosilikat camlar, sabun ve deterjanlar, porselen, emaye, sır (glazür), uçak ve otomotiv endüstrisi, tarım, metalurji, nükleer uygulama, inşaat, tekstil, ilaç ve kozmetik, fotoğrafçılık, yüksek enerji yakıtları, aşındırıcılar, elektrik aygıtları, refrakter, elektro kaplama banyoları, boyalar ve daha birçok uygulamalarla ilgilidir.

Bor'un en çok kullanım alanı metal endüstrisidir. Bor saf şekilde metalurjik reaksiyonlarda bir oksijen giderici ve gaz giderici olarak kullanılır (bor yüksek sıcaklıklarda oksijen ve azot ile çok reaktiftir). Bor'un diğer önemi uygulama şekilleri, bazı özel alaşımlarda, yarı iletkenlerin yapımında, kataliz aracı olarak, aşındırıcılarda (abrasive'lerde), metaller ve seramiklerde kuvvetlendirici unsur, ayrıca nükleer reaktörlerin konstrüksiyonunda yüksek-yoğunluklu betona bir katkı maddesi olarak, uranyum-grafit pillerinde bir kontrol aracı olarak nötronları absorblamak için (bor çeliği veya B_4C şeklinde) dir. Bor'un birçok önemli bileşikleri üretilmekte ve çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

2.4. SAF BORUN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Yer kabuğunun yapısında %0.001 oranında bulunan bor periyodik sistemin üçüncü grubunun başında bulunur. Atom numarası 5, atom ağırlığı 10.82 özgül ağırlığı 2.84, atom çapı 1.78 \AA ve ergime noktası $2300 \text{ }^\circ\text{C}$ dir. Bor doğada serbest halde bulunmaz [4]. $2.33 \pm 0.02 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluklu kristal ve 2.3 gr/cm^3 yoğunluklu amorf olmak üzere iki şekilde bulunur. Kristal halde bulunan parlak siyah renkte ve sert ; amorf halde olan yeşilimsi sarı renkli, tatsız ve kokusuz-bir tozdur. Su ile $100 \text{ }^\circ\text{C}$ üzerinde, oksijenle $700 \text{ }^\circ\text{C}$ de, hidrojenle $840 \text{ }^\circ\text{C}$ de reaksiyona girer. Borun kristal şekilleri ve kafes parametreleri Çizelge 2.5de verilmiştir.

Çizelge - 2.5. Borun kristal şekilleri ve kafes parametreleri[5].

Kristal Şekli	Kafes parametreleri (Å)	
	b	c
Tetragonal	8.13	8.57
Hegzagonal	9.54	11.98

Tabii bor elementi %18.83 oranında B¹⁰ ile %81.17 oranında B¹¹ izotoplarının karışımıdır.

Bor ve bazı bileşiklerinin sertlikleri Çizelge 2.6.de verilmiştir.

Çizelge - 2.6. Bor ve bazı bileşiklerinin sertlikleri[5].

Malzeme	Mohs Sertliği
Bor	9.3
Bor Karbür (B ₄ C)	9.32
Bor Nitrür (BN)	1.2
Elmas (Standart)	10.0

Borun elektrik iletkenliği oda sıcaklığında çok düşük olmasına rağmen ısıtıldıkça süratle artar. Bu metallere has bir özellik değildir. Borun metalik özelliklerinin de çok az olmasından dolayı bir ametaldir. Ergimiş iken soğutulduğunda çok sert ve kırılğan bir madde halini alır. Alevde yeşil renkte yanar.

200'ün üzerinde çeşitli türde bor minerali vardır. Bu bor mineralleri bileşiminde bulunan alkali elementlerin oranlarına, kristal yapılarına ve içerdikleri su miktarlarına göre değişik isimler alırlar. Bor içeren birçok mineral olmasına rağmen bunların ancak-bir kısmı ticari değere sahiptir. Ticari değeri olan bor minerallerinin isimleri, kimyasal formülleri, içerdikleri B, B₂O₃ ve H₂O oranları Çizelge 2.7.de verilmiştir [3].

Çizelge - 2.7. Ticari ve endüstriyel alanda bor mineralleri [3].

Adı	Kimyasal Formülü	% B	%B ₂ O ₃	%H ₂ O
Tinkal (boraks)	Na ₂ O.2B ₂ O ₃ .10H ₂ O	11.4	36.5	47.2
Kolemanit	2CaO.3B ₂ O ₃ .5H ₂ O	15.7	50.8	21.9
Uleksit	Na ₂ O. 2CaO.16H ₂ O	13.3	42.9	35.6
Kernit(Razorit)	Na ₂ O.2B ₂ O ₃ .4H ₂ O	15.8	50.9	26.4
Pandermit	4CaO.5B ₂ O ₃ .7H ₂ O	15.4	49.8	18.1
Borasit (Stasfurit)	6MgO.MgCl ₂ .8B ₂ O ₃	19.3	62.2	-
Borikasit	B ₂ O ₃ . 3H ₂ O	17.5	56.4	43.6

Günümüzde ticari olarak kullanılan bor-cevherleri başlıca sodyum ve kalsiyum borattır. Bor ürünleri yapımında kullanılan en önemli mineraller Tinkal ve Kolemanittir.

2.5. ÇELİKLERDE BOR BİLEŞİKLERİ

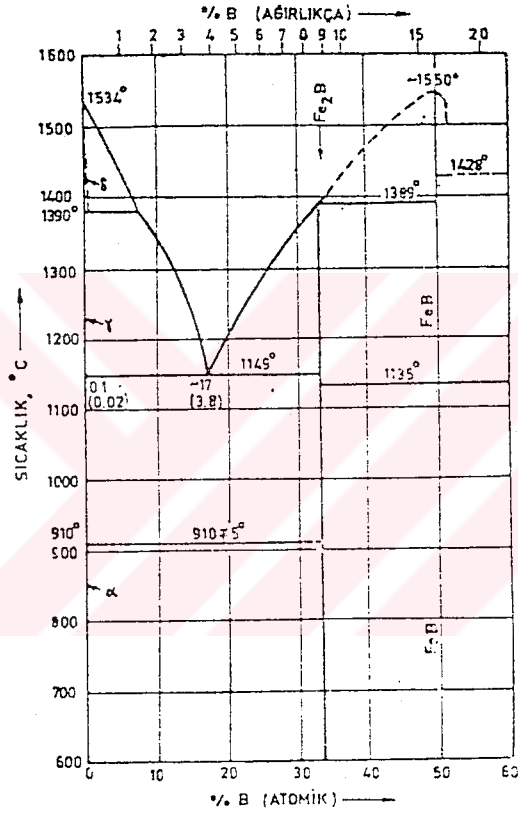
2.5.1. ÇELİKLERDE BOR ERİRLİĞİ

Borun atom çapı demirden %25 daha küçük olduğundan bu elementle katı eriyik yapar. Demirde sıcaklığa bağlı olarak bor erirliği 20 - 80 ppm. ostenitte ise 55 - 260 ppm. kadardır. Bor ostenitte arayer katı eriyiği, α demirde ise yer alan katı eriyiği yapar [1].

2.5.2. ÇELİKLERDE BORÜR VE BOR - KARBÜRLER

Çeliklerde alaşım elementine bağlı olarak birçok bor karbür oluşur. Bor bileşiklerinin oluşumunda, atom çapı faktörü valans faktöründen daha etkindir. Nedeni ise borun atom çapının diğer arayer atomlarından (C,N,H) daha büyük oluşudur. Çeliklerde bor konsantrasyonu yeterli ise B - B bağı oluşur ve bu bağıın konfigürasyonu Borür fazının kristal yapısını kontrol eder [1].

Şekil 2.1.de Fe-B ikili denge diyagramı görülmektedir [1].



Fe ile B arasında Fe₂B (%8.83 B), FeB (%16.23 B) bileşikleri ve 1149 C⁰ de, %3.8 B bileşiminde bir ötektik nokta oluşmaktadır. Çizelge 2.8.de Fe₂B ve FeB ye ait bazı özellikler verilmiştir.

Çizelge - 2.8. Fe₂B ve FeB'nin bazı özellikleri [6,7].

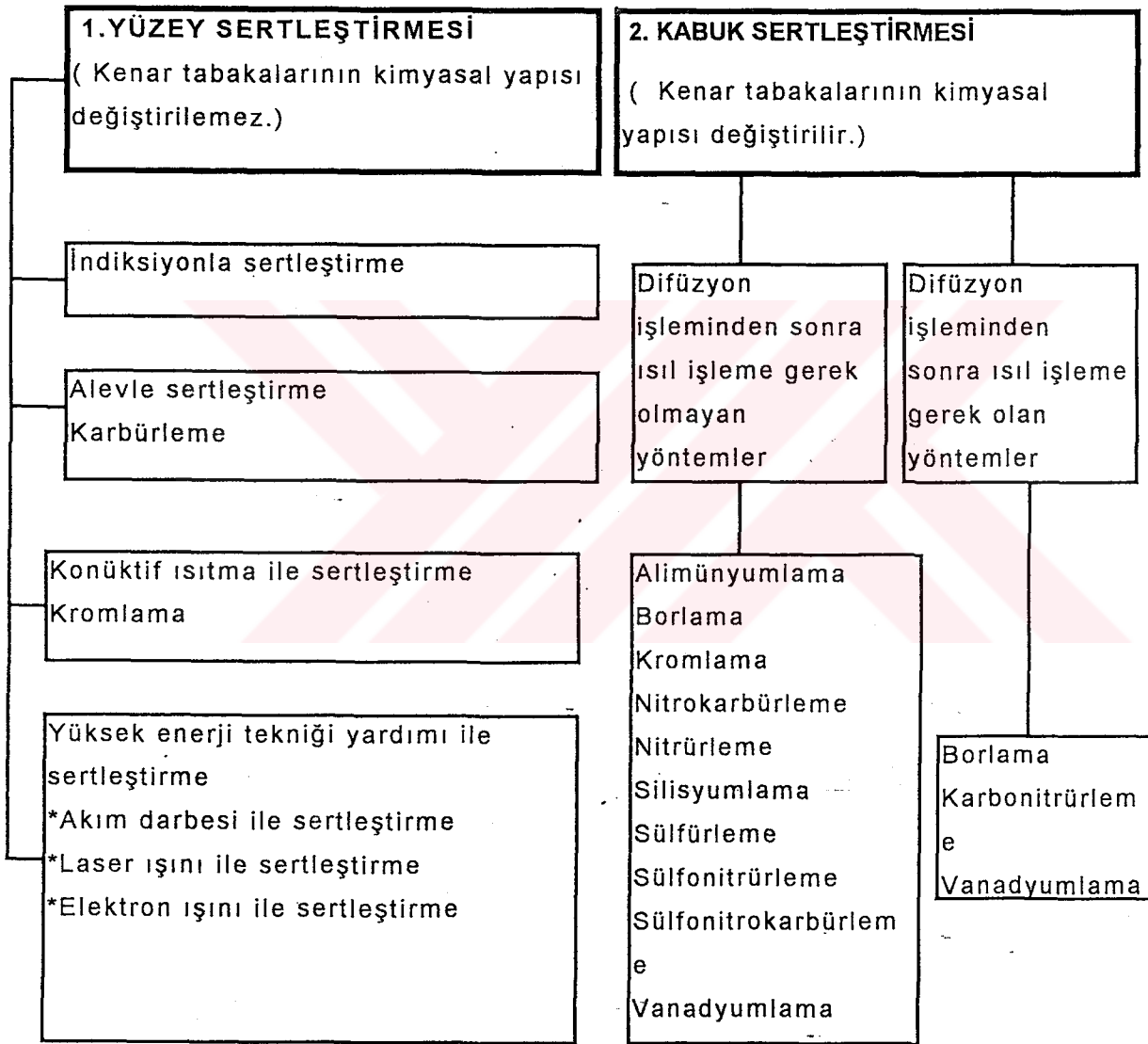
ÖZELLİK	BORÜR	
	Fe ₂ B	FeB
Ergime Noktası (°C)	1390	1550
Mikro Sertlik (Vickers)	1600-1800	1800-2400
Uzama Katsayısı (1000 °C)	8.0*10 ⁻⁶ K ⁻¹	10-16*10 ⁻⁶ K ⁻¹
Termal İletkenlik (1000 °C)	0.2-0.3 W/cm ⁰ C	0.1-0.2 W/cm ⁰ C
Küri (Curie) Noktası (°C)	742	325
Kristal Sistemi	Tetragonal Hacim M.	Ortorombik
Kafes Parametreleri (Å)	a : 5.075 b : 4.249	a : 4.053 b : 5.495 c : 2.946
Yoğunluk (gr/cm ³)	7.32	-

Yüksek karbonlu çelik ve dökme demirlerde Fe₃(B,C) ve Fe_{2,3}(B,C)₆ formülündeki bor karbür fazları oluşabilir. Bu fazlarda C ve B oranı değişebilmektedir. Fe₃(B,C), Fe₃C'ye benzer olup ortorombik sistemdir.

2.6. MALZEME DAYANIMLARINI ARTTIRMA YÖNTEMLERİ

Çizelge 2.9' da yüzey ve kabuk sertleştirme yöntemleri verilmiştir. Bu yöntemler içerisinde borlama en sert ve stabil yüzey yapısı meydana getiren işlemlerden birisidir. Ancak borlama için kullanılan kimyasal maddeler ve borlama ortamlarının bileşimlerinin çeşitli firmaların patenti altında olup pahalıdır.

Çizelge 2-9. Kenar tabakalarının özelliğini değiştirerek malzeme dayanımını artırma yöntemleri [8].



2.7. YAYINIM (DİFÜZYON)

Sıcaklık yükseldikçe atomların ısı titreşimleri artar ve bir kısmı içinde bulunduğu yapıda, bir konumdan diğer bir konuma atlayarak yer değiştirir. Diğer bir ifade ile atomların, iyonların ve diğer parçacıkların sıcaklığa bağlı olarak yer değiştirmeleri olarak da açıklanabilir. Bu olaya yayınım (difüzyon) denir.

Atomsal yayınım yada difüzyon denen bu olayda önce atomun çevresi ile olan bağları kopar, sonra atomlar arası boşluklardan geçer ve yeni konumunda tekrar çevresi ile bağ kurar. Bütün bunlar için gerekli aktivasyon enerjisi yayınım sisteminin bir özelliğidir ve deneysel olarak ölçülebilir.

Atomların malzeme içerisine yayınımları üç yöntemle olur.

1.- **Boş kafes yayınımları** olup nispeten küçük bir enerjiyi gerektirir. Bir kristal kafesinde var olan bir boş kafes köşesinin çevresindeki komşu atomların bu boş köşeye atlama olasılıkları aynıdır. Eğer boş köşenin solundaki atom buraya atlarsa atlayan atomun ilk konumu boş kafes köşesi olur. Böylece atom soldan sağa hareket ederken boş kafes köşesi de sağdan sola hareket etmiş olur. Bu şekilde sürekli yer değiştiren boş kafes köşesi kristalin yüzeyine kadar çıkabilir.

2.- Arayer atomunun kafeste mevcut olan atomlar arasından geçerek oluşturduğu harekettir. Buna **arayer yayınımları** denir. Oldukça yüksek enerji ister.

3.- **Halka yayınımları** denilen üçüncü yöntemin oluşma ihtimali oldukça düşüktür. Düşük olmakla birlikte oldukça da ilginçtir. Birbirine değerek bir halka halinde bulunan atomlar aynı anda ve aynı yönde hareket ederek birbirlerinin yerini alabilirler.

Atomal yayınım kuralları 1.Fick ve 2.Fick kuralı olarak ele alınmıştır. Bu kurallara bağılı olarak yayınım sisteminin türü ve yapısına bağılılığı şu maddelerle de açıklanabilir :

- 1.- Küçük atomlar daha kolay yayınır.
- 2.- Belirli bir atom ergime sıcaklığı düşük, dolayısıyla atomlar arası bağı zayıf olan atomda daha kolay yayınır.
- 3.- Atomal dolgu faktörü düşük ortamda yayınım daha az enerjiyi gerektirir.
- 4.- Düzensiz yapıya sahip ve atom sıklığı tanelere göre daha az olan tane sınırları boyunca yayınımı daha kolay oluşur. Bu nedenle faz dönüşümleri ve korozyon olayları tane sınırında başlar ve hızlı oluşur [9].

2.8.BORUN ÇELİKLERDE ALAŞIM ELEMENTİ OLARAK KULLANILMASI

Bor çeliğin sertleşebilmesini arttırmada alaşım elementi olarak çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Sertleşebilmedeki en büyük etki, ostenit tane sınırları arasındaki bor atomlarıyla gerçekleştirilebilir. Bu bor atomları martensit oluşturmak için tane sınırı enerjisini düşürürler. Tane sınırı enerjisinin düşmesi, kritik soğuma hızının düşmesi demektir. Bundan dolayı bor; karbit, nitrit, karbonitrit veya boritler gibi soğumadan önce tortu oluşturmaz[10].

Az alaşımlı çeliklerdeki bor, ostenit dönüşümünü önemli ölçüde yavaşlatarak sertleşme kabiliyetinin yükselmesine; ve çelik bünyesinde ince dağılmış olan AlN partiküllerinin azalması sonucu ise ostenit tane irileşmesine neden olur. Borlu çeliklerin özellikleri, bor elementinin bünyede dağılım şekli ve diğer alaşım elementleriyle olan etkileşiminin bir fonksiyonudur.

Borlu çelikler, düşük alaşımlı çeliklerle kıyaslandığında:

Avantajları;

- 1.) Düşük fiyat,
- 2.) İyi sertleşme kabiliyeti,
- 3.) Sıcak şekillendirmeden sonra (dövme, haddeleme) sertliği düşük olduğundan talaş kaldırma işlemi için ek ısıl işleme gerek olmaması,
- 4.) İyi darbe direnci,
- 5.) İyi kaynak kabiliyeti,

Dezavantajları;

- 1.) Temperleme esnasında yumuşamaya karşı direnç,
- 2.) Daha yüksek ostenitleme sıcaklığı,
- 3.) İstense de belli bir sertleşme kabiliyetinden ileri gidememe ve bunun sonucu olarak boyut kısılması gibi sakıncaları vardır.

Ayrıca ostenitik paslanmaz çelik ile bazı süper alaşımlara az oranda bor ilavesinin, malzemelerin yüksek sıcaklık davranışlarına olumlu yönde etki ettiği bilinmektedir [1].

2.9. BORLANMIŞ TABAKALARIN ÖZELLİKLERİ

Borlanmış çelikler yüksek yüzey sertlikleri ve aşınma dirençleri ile karakterize edilirler. Ferro malzemeler, Fe_2B fazında bir tabaka oluşturacak şekilde, genellikle 850 - 950 °C de borlanır. Bu tabaka az çok dişli şekillidir ve ana malzemeye tutunma mukavemeti mükemmeldir.

Eğer aşırı bor mevcut veya ana malzeme çok fazla alaşım elemanına sahipse, Fe_2B fazı yanında borca zengin FeB fazında meydana gelebilir. Yüksek iç gerilmeye sahip olduğundan ve Fe_2B tabakasından kavlayarak döküldüğünden FeB fazı arzu edilmez. Fakat böyle durumlarda difüzyon tavlamasına gidilebilir [11].

Borlu tabakanın aşınma dayanımı, tabakanın tek veya çift fazlı olduğuna ve oluşum biçimine bağlıdır. En az aşınma Fe_2B fazında, en fazla aşınma ise FeB fazında olan tabakada meydana gelmektedir. Çünkü FeB fazı Fe_2B fazından daha gevrek bir yapıya sahiptir. En yüksek aşınma dayanımının, FeB fazı içermeyen

tabakalarda yani sadece Fe₂B fazından oluşan tabakalarda elde edildiği deneylerle saptanmıştır.

Çizelge - 2.10. Demirborür Fazlarının Özellikleri [1].

ÖZELLİK	FeB	Fe ₂ B
Ağırlık olarak % bor miktarı	16.23	8.83
Yapı	Rombik	Tetragonal
İç gerilme	Çekme	Basma
Lineer termal genişleme katsayısı, 10 ⁻⁶ /K	23	7.9 - 9.2
Sertlik HV	1900 - 2100	1800 - 2000
Yoğunluk gr/cm ³	6.75	7.43

2.9.1. SERTLİK

Borlu tabakanın özelliklerine ait çalışmalar daha çok sertlik, aşınma ve korozyon özellikleri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Borlamanın en büyük etkisi sertlik üzerine olup, ana malzeme cinsine ve yüzeyde oluşacak FeB ve Fe₂B fazlarına bağlıdır. FeB fazı, Fe₂B fazından daha sert ve gevreklerdir. Borlama ile elde edilen sertlik çeliklerde 1800 - 2100 HV, titanyumda ise 3000 HV'dir[12].

Sertlik bakımından borlu tabakanın en önemli bir özelliği de daha sonraki ısıl işlemlerde bu sertliğini korumasıdır. Borlu tabakanın 900 C⁰ a kadar sertliğini koruması, matris malzemesine yapılacak ısıl işlemler için geniş bir sıcaklık aralığına izin verir.

Çizelge - 2.11. Yüzeyi borla sertleştirilmiş malzemelerin diğer işlemlerle elde edilmiş sertliklerle kıyaslanması [1].

MALZEME	MİKRO SERTLİK (kg/mm ²)
Nitrülenmiş yüzey	610 - 940
Gaz ile karbürize edilmiş yüzey	700 - 820
Sert krom kaplı yüzey	950 - 1100
WC + %13 Co Sinter malzeme	1300
Borlu karbon çeliği	1600
Borlu AISI H13 çeliği	1800
Borlu AISI A2 çeliği	1900

2.9.2. KOROZYONA KARŞI DİRENÇ

Yüzeyleri borlanmış demir esaslı malzemelerin atmosferik korozyona karşı direncinin az, fakat bazı asit ve sıvı metallere karşı korozyon direncinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Özellikle HCl asit, Al, Pb ve Zn metallerinin sıvı banyolarında borlanmış malzemelerin korozyon direnci çok yüksektir.

Yüksek Cr'lu çeliklerde borlama ile koruyucu krom oksit yerine daha az koruyucu olan Cr - Borür meydana gelmektedir. Bu bakımdan yüksek alaşımlı malzemelerin borlanmasıyla daha iyi korozyon özelliği her zaman elde edilmeyebilir.

2.9.3. AŞINMA

Sürtünme kat sayısı ve aşınma dayanımı bir sistem özelliği olmakla beraber, genellikle yüksek aşınma direnci için malzemenin aşındırıcıdan daha sert ve sürtünme katsayısının mümkün olduğu kadar düşük olması istenir. Borlama ile bu özellikler büyük ölçüde sağlanır. Borlanmış yüzeylerde teflona yakın bir sürtünme katsayısı elde edilebilir.

Çizelge - 2.12. Bazı malzemelerin sürtünme katsayılarının kıyaslanması [1].

MALZEME	SÜRTÜNME	
	KATSAYISI	
	BORLU	BORSUZ
Düşük karbonlu çelik	0.17 - 0.19	0.585 - 0.595
Takım çeliği	0.07 - 0.04	0.16 - 0.18
WC + Co sinter malzeme	0.1939 - 0.2335	0.2617 - 0.2773

Darbesiz yüklemenin söz konusu olduğu derin çekme kalıpları, dişli çarklar, tekstil makinalarında kullanılan yönsendirme tamburları, abraziv aşınmaya maruz kalan çuval doldurma nozulları, plastik enjeksiyon makinalarının helezonları gibi makina parçalarında borlanmış yüzeylerin diğer işlemlerle elde edilenden çok yüksek aşınma direncine sahip oldukları belirlenmiştir.

Ancak bu yöntem, özellikle doğru tribolojik sistem seçimleri yapılmadığı takdirde veya seçilen sistemde beklenen fonksiyona uygun borlama işlemi ve/veya uygun ek ısıtma işlemleri yapılmadığı takdirde sementasyon ve nitrürasyon işlemlerinden daha kötü sonuçlar verebilir.

Paslanmaz çelik için derin çekme kalıbı 60 HRC sertlik ve yüzeyi 0.005 - 0.008 mm sert kromla kaplı AISI A6 çeliğinden yapıldığında tahrip olmadan 2000 parça, aynı çelik yüzeyi borlandığı zaman ise 5000 parça ürettiği iddia edilmektedir. Başka araştırmacılar düşük karbonlu çeliklerin derin çekme işleminde kullanılan borlanmış kalıpların ömürlerinin, borlanmamış kalıplardan 85 defa daha fazla olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Çizelge 2.13 de borlamanın tel çekme kalıplarının ömrüne etkileri görülmektedir. Çizelge 2.13 incelendiğinde borlu kalıbın, borsuz kalıba oranla çok daha fazla verimli olduğu görülecektir.

Borun oksijene antifinitesi fazla olduğundan yüzeyde koruyucu ince bir oksit filmi oluşturmakta, bu oksit filmi yüzey yağlayıcı vazifesi görerek, sürtünmeli aşınma esnasında sürtünme katsayısını düşürürken, yüzeylerin birbirine kaynamasını önler. Kaymalı sürtünmelerde açığa çıkan ısı, sementle edilmiş tabakanın yumuşamasına neden olurken, borlu tabakaya etki etmez.

Çizelge - 2.13.Tel çekme kalıplarının ömrüne borlamanın etkisi[1].

Tel cinsi	Kesit daralması %	Kalıp tahrip	
		olmadan çekilebilen tel (km)	
		Borsuz kalıp	Borlu kalıp
%0.6'lu çelik	20	220	400
%0.5'lu çelik	21	230	1320
Paslanmaz çelik	17	132	1205

2.10.BORLAMA SONUCU OLUŞAN TABAKA KALINLIKLARI

Teorik olarak tabaka kalınlığı sınırsızdır. Bu da işlem süresinin ve/veya sıcaklığının artması sayesinde olur. İşlem sıcaklığının Fe-B denge diyagramındaki ötektik sıcaklığının (1149°C) altında olması gerekir. Bu sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklar lokal ergimeler yaparak malzemenin yüzeyinin bozulmasına sebep olmaktadır.

Zaman faktörünün de ekonomik yönden mantıkî bir değeri geçmeyeceği görülmektedir. Kalınlığın artmasını sınırlayan bir diğer faktör kırılganlıktır. Borlanmış tabakanın kırılganlığı tabaka arttıkça artar. Dolayısıyla çelik esaslı malzemeler için 20-200 μm 'lik kalınlık, kullanma şartlarına, su verilip verilmeme ve borlanan malzeme cinsine göre ayarlanır. Kırılganlık yönünden alaşımlı çelikler maksimum 100 μm , alaşımsız çeliklerde 150-200 μm kalınlığa; hatta darbesiz aşınmaya maruz kalacak

Borlama sıcaklığının artması tabaka kalınlığını arttırması yanında poroziteyi de arttırarak tabakanın gevrek olmasına sebep olur.

2.11.BORLAMA METOTLARI

Borlama teknik olarak oldukça geliştirilmiştir. Aynı zamanda yaygın şekilde sert ve aşınma direnci fazla tabakalar elde etmede kullanılmıştır. Çift intermetalik faz veya tek borür (Fe_2B) fazının olduğu yerdeki bir difüzyon olayıdır. Bu işlem bor atomlarının metalik malzemelerin yüzeyinden içeriye doğru difüzyonu ile olmaktadır. İnce tabakalı borür (Fe_2B) fazı özellikle endüstriyel uygulamalar için istenmektedir.

Genel olarak çelik borlama ortamında $850 - 1000 ^\circ C$ sıcaklıkta 2 - 6 saat bekletilerek borlama gerçekleştirilir. Borlama üç ana grupta incelenmektedir. Bunlar; katı, sıvı ve gaz ortamlardır.

2.11.1.KATI BORLAMA

Borlama işlemine tabi tutulacak malzeme, toz halindeki bor verici ortam içinde genellikle $900 - 1000 ^\circ C$ sıcaklıkta 4 - 10 saat bekletilerek borlama işlemi gerçekleştirilir. Bir tür kutu sementasyona benzeyen bu metot, soy gaz atmosferinde yapılabileceği gibi sıkı kapatılmış kutularda olmak şartı ile normal atmosferde de yapılabilir.

Borlama ortamının ana bileşeni bor karbür (B_4C), amorf bor ve ferro-bor olup bunların fiziksel özellikleri Çizelge 2.14 de verilmiştir. B_4C diğerlerine göre ucuz olduğundan tercih edilir.

Ana borlayıcı kaynağa ilave olarak NH_4Cl , BaF , $NaBF_4$, NH_4F , Na_2CO_3 , KBF_4 ve Na_2AlF_6 gibi aktivatörler kullanılır.

Çizelge - 2.14. Katı ortam borlamasında kullanılan maddelerin bazı özellikleri [1].

Malzeme	Molekül ağırlığı	Teorik Miktarı (%)	Bor Ergime Sıcaklığı (°C)
Amorf Bor	10.82	95 - 97	2050
Ferro-Bor	-	17 - 19	-
Bor karbür	55.29	77.28	2450

Katı borlamanın avantajları:

1. Sistem ucuzdur.
2. Özel teknik gerektirmez.
3. Kolay elde edilebilir.
4. Toz terkibi değiştirilebilir.
5. Minimum ekipman ve düşük maliyet olarak sıralayabiliriz.

Dezavantajları:

1. Borun dağılması her yerde eşit değil [13].

2.10.2.SIVI BORLAMA

Borlama şartlarında ortam sıvıdır. Borlanacak malzeme, 800 - 1000 °C sıcaklıktaki bu ortamda 2 - 6 saat bekletilerek bor yayılımı gerçekleştirilir. Banyonun esas bileşenleri ve özellikleri Çizelge 2.15 de verilmiştir.

Çizelge - 2.15.Sıvı ortam borlamasında kullanılan ana bor kaynakları ve özellikleri.

Malzeme	Formül	Molekül Ağırlığı	Teorik Bor Miktarı (%)	Ergime sıcaklığı (°C)
Boraks	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	381.42	11.35	-
Susuz Boraks	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	201.26	21.50	741
Meta bor asidi	HBO_2	43.83	24.69	-
Sodyum bor florid	NaBF_4	109.81	9.85	-
Borik oksit	B_2O_3	69.64	31.07	450
Bor karbür	B_4C	55.29	78.28	2450

Sıvı ortama elektrik akımı (elektroliz) uygulanarak da borlama işlemi yapılabilir. Buna göre sıvı ortamdaki borlama "elektroliz" ve "normal sıvı ortam borlaması" olmak üzere ikiye ayrılır.

2.10.2.1.NORMAL SIVI BORLAMA METODU

Ortamin esas bileşeni boraktır. Aktivatör olarak B_4C , SiC , Zr , B kullanılır. Çalışma sıcaklığı 800 - 1000 °C ve borlama süresi 2 - 6 saattir.

2.10.2.2.ELEKTROLİZ METODU

İşlem yüksek sıcaklıkta tuz banyosu olarak elektrolit kullanılıp yapılan bir elektroliz uygulamasına benzer. Katot olarak iş parçası, anot olarak grafit kullanılır. Akım yoğunluğu 0.2-0.7 A/cm², gerilim 2-14 volt olarak uygulanır. İşlem 800 - 1000 °C sıcaklıkta 0.5 - 5 saat süreyle yapılır.

Elektrolitin ana bileşeni boraks ve borik asittir. Borik aside ilaveten şu aktivatörler kullanılır. NaF, NaCl, NaH + B₂O₃ ; B₂O₃ + Na₂CO₃; Na₂PO₄, Na₂SO₄, NaOH ; B₄C+B₄C+NaCl ; B₂O₃ +MF, B₂O₃+MOH, B₂O₃+M₂CO₃ (M=Li, Na, K)

Bu aktivatörlerden ayrıca banyonun akışkanlığını arttırması istenir.

Genel olarak her iki yöntemin (normal sıvı, elektroliz) avantajlarını ve dezavantajlarını ele alacak olursak;

Avantajları:

1. İşlem ucuzdur.
2. Fazla ihtisas istemez.

Dezavantajları:

1. Yüksek vizkoziteli erimiş boraksla 850 °C nin altında borlama yapmak kesinlikle imkansızdır. Bu sıcaklığın üzerinde bile bor banyosu içerisindeki sıcaklığın eşit dağılımına ulaşmak çok zordur.
2. Bu farklı yoğunluk akımları (özellikle kompleks parçalarda) bor tabakasının farklı kalınlıklarda olmasına sebep olmaktadır.
3. Sıkı bir şekilde yapışmış tuz tabakası çalışma parçaları üzerinde oluşur ve bu oluşan tabakaların borlama işlemi tamamlandıktan sonra uzaklaştırılması maliyeti oldukça arttırır.
4. Büyük boyutlu ve kompleks parçalara uygulanamaz.
5. Tesisatı pahalıdır (elektrolizde).

2.10.3.GAZ BORLAMA

Gaz borlamada kullanılan maddelerin çoğu oldukça hassastır. Bunlar; BFe₃, BCl₃, B₂H₆, (C₂H₃)₃B dir. Bunlardan di boran (B₂H₆), H₂ ile beraber uygulandığında çok olumlu neticeler verir. Çizelge 2.16 de gaz halindeki borlayıcı- bileşikler ve bazı özellikleri verilmiştir.

Çizelge - 2.16. Gaz halindeki borlayıcı bileşikler ve bazı özellikleri.

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 ₂ H ₆	26.69	39.08	-165.5
Bor trimetil	(CH ₃) ₃ B	55.92	19.35	-161.5
Bor trietil	(C ₂ H ₅) ₃ B	98.01	11.04	-94

Gaz ortamında borlamanın avantaj ve dezavantajlarını incelersek;

Avantajları:

1. Gaz sirkülasyonunun bir sonucu olarak borun daha çok yayılması,
2. Katı borlama işlemine göre gelişmiş sıcaklık kararlılığı ve elde etme kolaylığı.

Dezavantajları:

1. Trimetil bor (CH₃)₃B ise ;borlama ile birlikte C yayınına da sebep olarak tabaka kalitesinin bozar.
2. Tesisatı pahalıdır.
3. Ortam zehirlidir.
4. Patlama tehlikesi büyüktür.

Bu dezavantajlar gaz borlamanın kullanımını sınırlamaktadır.

Bu ifadelerden çıkardığımız sonuca göre, en kolay, sağlıklı, daha az masraflısı katı borlama denilebilir.

2.12. BORLANABİLEN MALZEMELER

Borlama işlemi gerek toz, gerekse diğer metotlarla üretilen bütün ferro alaşımlara uygulanabilmektedir. Refrakter metaller (W, Ta, Mo, Zr, Hf, Nb), karbürler (özellikle Co ile bağlı WC) ve Ni esaslı alaşımlara başarılı bir şekilde uygulanarak özel yapıda borlu tabakalar elde edilebilmektedir. Ti ve Ti esaslı alaşımlara bor yayınımlı ile aşınmaya dayanıklı TiB_2 tabakası elde edilebilmektedir.

Yeni geliştirilen metotlarla Cu ve alaşımlarına da tatbik edilebilmektedir. Fakat düşük ergime sıcaklığına sahip Zn ve Al'a uygulanamamaktadır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Borlama sonunda elde edilen mükemmel neticeleri; sertlik (yaklaşık 2000 Vickers), aşınma ve korozyona karşı direnç olarak sıralayabiliriz. Borlama neticesinde yüzeyde Fe_2B tabakası oluşması istenir.

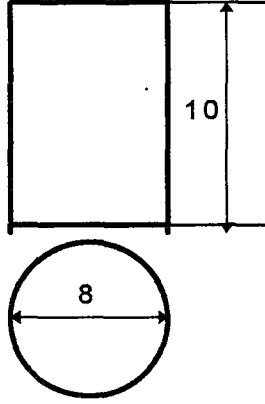
Ülkemizde bor ile yüzey sertleştirme metodunun sınırlı bir şekilde kullanıldığı ve borlama işlemini uygulayan firmalarında borlama ortamlarını patentlerle koruduğu bilinen bir gerçektir.

Bu çalışmamızda tek tip bir çeliğe, EkaBOR® firmasının ürünlerinden, pasta kullanarak katı borlamanın uygulanması yapılmıştır. Borlamadan sonra, mikro sertlik, tabaka kalınlığı ölçümü ve borlu tabakanın görüntülenmesi işlemleri uygulanmıştır.

3.1. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEME VE ÖLÇÜLERİ

Deneylede MKE'nin Ç 1020 düşük karbonlu çeliği kullanılmıştır. Numuneler kesildikten sonra torna tezgahında alından işlenmiştir. Borlandıktan sonra polyestere alınıp, alından sırasıyla 80, 220, 400, 500, 800 ve 1000 numaralı zımparalar ile zımparalandıktan sonra, son olarak Al_2O_3 pastası ile parlatılmıştır.

Numune ölçüleri;



Deneylerde kullanılan ϕ 1020 nin özellikleri [14];

KİMYASAL ANALİZİ.

C	Mn	Si	P	S
0.15	0.30	0.10	0.040	0.050
0.24	0.60	0.30	en çok	en çok

UYGULANDIĞI YERLER

Makinalar, civatalar, somunlar vs.. yapımında.

ISIL İŞLEM DURUMU

SICAK ŞEKİL VERME.....	1100 - 850 °C
YUMUŞAK TAVLAMA.....	650 - 700 °C
NORMALİZE.....	880 - 910 °C
SERTLEŞTİRME.....	880 - 920 °C
MENEVİŞLEME.....	530 - 670 °C
SERTLEŞTİRME ORTAMI.....	SUDA-YAĞDA

FİZİKSEL NİTELİKLERİ

SERTLEŞTİRİLMİŞ DURUMDA

KOPMA DAYANIMI.....	50 - 65 kg/mm ² .
AKMA SINIRI.....	30 kg/mm ²
KOPMA UZAMASI.....	%16 (5d ⁰)

NORMALİZE EDİLMİŞ DURUMDA

KOPMA DAYANIMI.....	42 - 55 kg/mm ²
AKMA SINIRI.....	27 kg/mm ²
KOPMA UZAMASI.....	%27 (5d ⁰)
KOPMADA KESİT DARALMASI.....	%55

SERTLİĞİ

YUMUŞAK TAVLANMIŞ DURUMDA.....en çok 140 HB 30

3.2.DENEY PARAMETRELERİ

Borlamada numunelere uygulanan zaman ve sıcaklık parametreleri Çizelge 2.17 de gösterilmiştir.

Çizelge 2.17 Numunelere uygulanan sıcaklık ve zaman parametreleri.

800 °C	850 °C	900 °C	950 °C	1000 °C	1050 °C
1 SAAT	1 SAAT	1 SAAT	1 SAAT		
2 SAAT	2 SAAT	2 SAAT	2 SAAT		
3 SAAT	3 SAAT	3 SAAT	3 SAAT	3 SAAT	3 SAAT
4 SAAT	4 SAAT	4 SAAT	4 SAAT	4 SAAT	4 SAAT
5 SAAT	5 SAAT	5 SAAT	5 SAAT	5 SAAT	5 SAAT

3.3.DENEYLERDE KULLANILAN ARAÇ VE GEREÇLER

Borlama işlemi; maksimum sıcaklığı 1600°C olan dijital kontrollü CARBOLİT RFH 1600 fırınında yapılmıştır.

Borlama kutuları 3 mm et kalınlığında ve 60*60 mm kare profilden, 50 mm yüksekliğinde yapılmıştır. Aynı zamanda bu kutulara sızdırmazlık sağlayan 2 mm lik saçtan kapakları yapılmıştır.

Numuneler hund Wetzlar ışık mikroskopunda incelenmiştir.

3.4.KATI BORLAMA DENEYİNİN YAPILIŞI

İlk olarak numuneler sıvı halde bulunan EkaBOR® pastaya üçer defa olmak üzere daldırılmış ve iyice kuruması sağlanmıştır. Her daldırmada kaplanan tabakanın kuruması için beklenmiştir. Üçüncü daldırmadan sonra yüzeyde yaklaşık 1.5 ila 2 mm lik EkaBOR® pasta tabakası elde edilmiştir.

Daha sonra numuneler, her bir kutuya bir adet olmak üzere, kutuların içerisinde EkaBOR® Ekrit tozuna gömülmüştür.

Kapağı sızdırmaz bir şekilde kapatılan kutular, fırında istenilen sıcaklıkta ısıtılıp değişik zaman parametrelerine göre fırından alınmıştır. Fırından alınan numuneler kutu içerisinde havada soğutulmuştur.

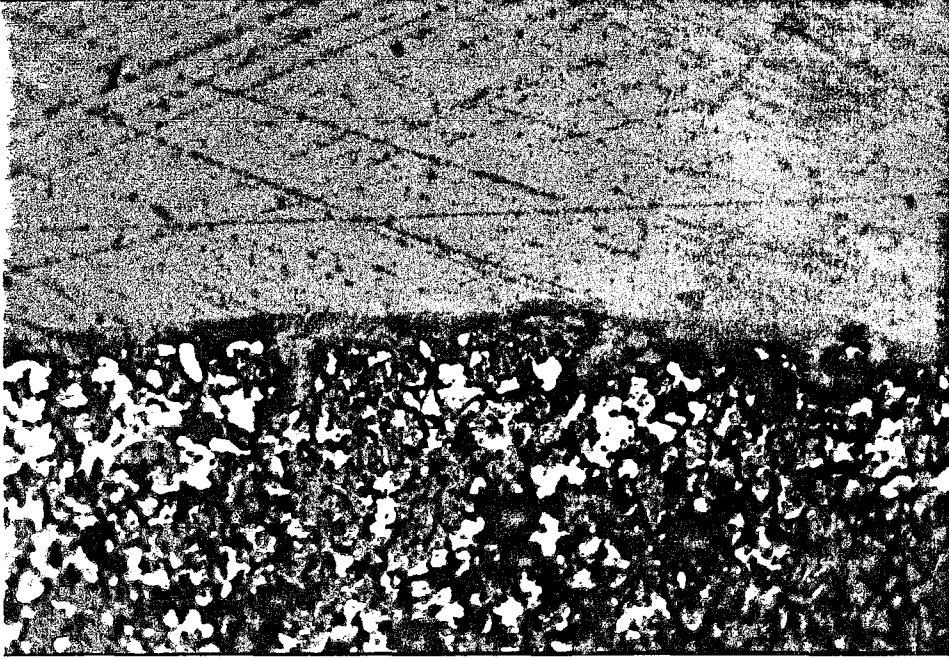
Kutulardan alınan soğmuş numunelerin üzerlerindeki pasta tabakası kaldırılıp, ölçüme hazır hale getirilmiştir.

3.5. DENEY SONUÇLARI

Bu çalışmada Ç 1020 malzeme üzerinde 26 değişik parametre uygulandı. Borlama katı olarak EkaBOR® firmasının ürünleriyle gerçekleştirildi. Metalografik ölçümler; yapı ışık mikroskobu, sertlik ise digital HV mikrosertlik ölçüm cihazı ile yapıldı.

800 °C, 850 °C ve 900 °C de bor tabakasına rastlanmadı. 950 °C 1 ile 5 saatleri arasında borlamanın gerçekleşmediği tespit edildi. 1000 °C'a - 1050 °C de bor tabakasının bozulduğu tespit edildi. 950 °C 2, 3 ve 4 saatlerde ideal borlamanın gerçekleştiği görüldü.

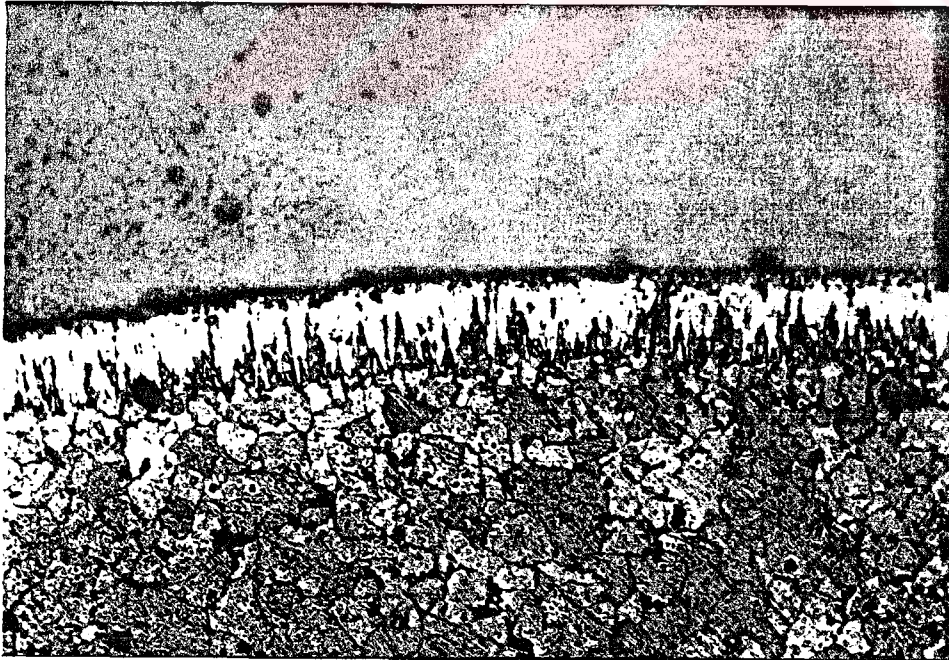
Işık mikroskobu incelenmesinde geçiş bölgesi (alt tabaka) görülemedi.



%2 Nital

×100

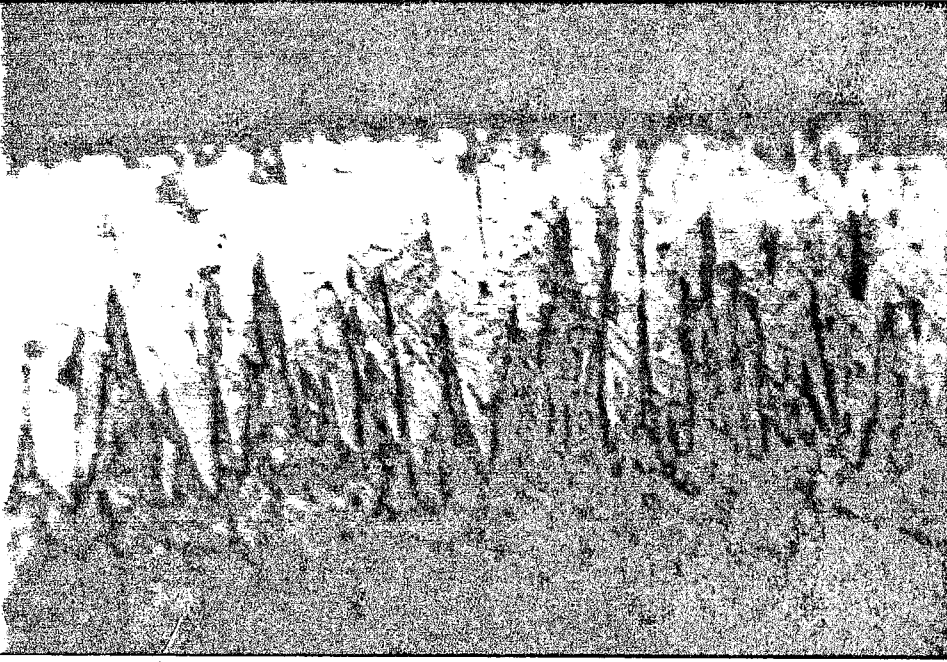
Şekil 3.1.Katı borlama ortamında 950 °C, 1 saatte borlanan numunenin metalografik yapısı.



%2 Nital

×100

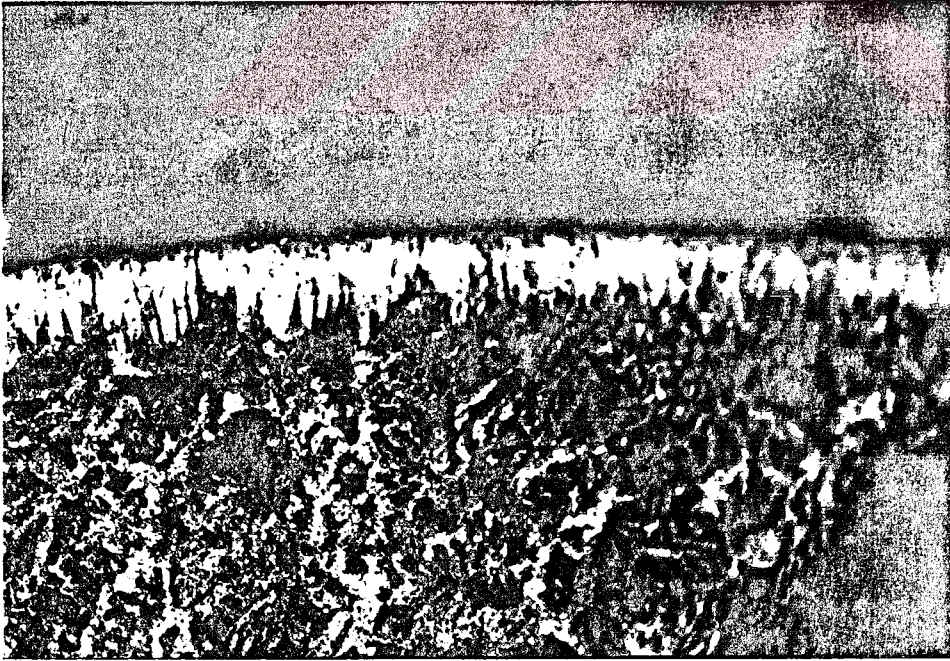
Şekil 3.2.Katı borlama ortamında 950 °C, 2 saatte borlanan numunenin metalografik yapısı.



%2 Nital

×400

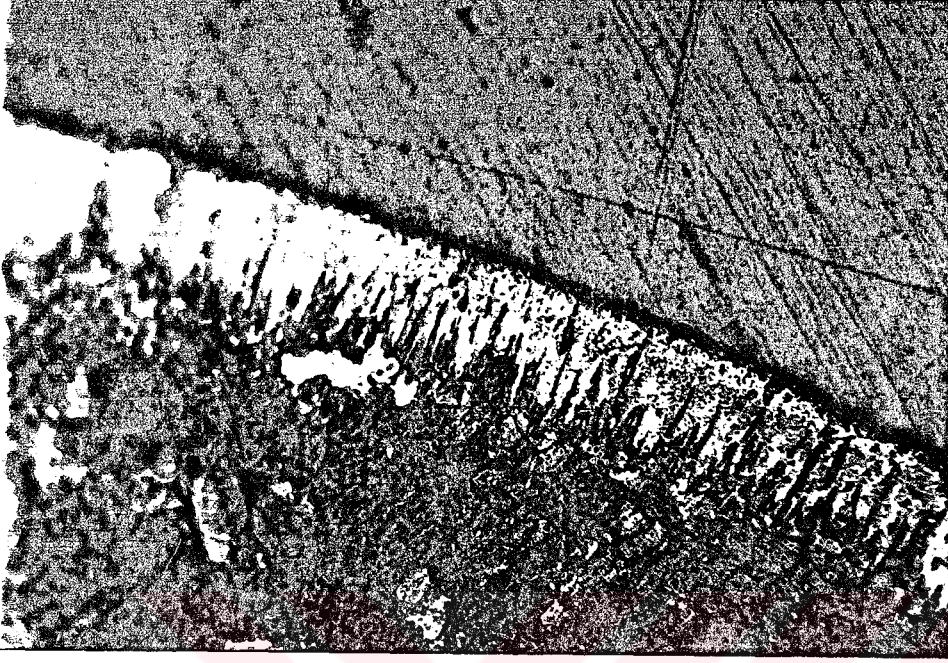
Şekil 3.3.Katı borlama ortamında 950 °C, 2 saatte borlanan numunenin metalografik yapısı.



%2 Nital

×100

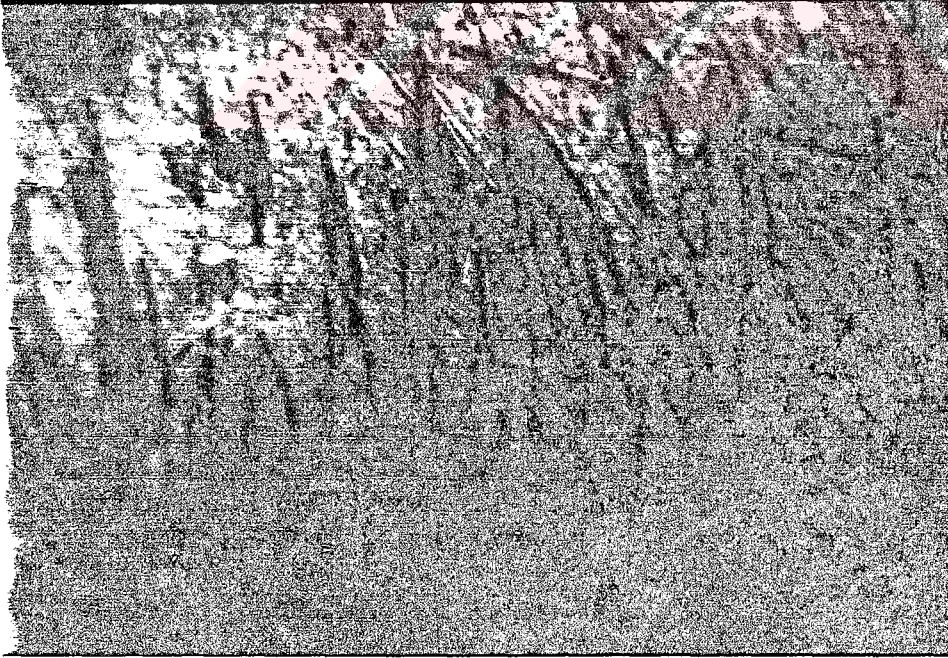
Şekil 3.4.Katı borlama ortamında 950 °C, 3 saatte borlanan numunenin metalografik yapısı.



%2 Nital

×100

Şekil 3.5.Katı borlama ortamında 950 °C, 4 saatte borlanan numunenin metalografik yapısı.



%2 Nital

×400

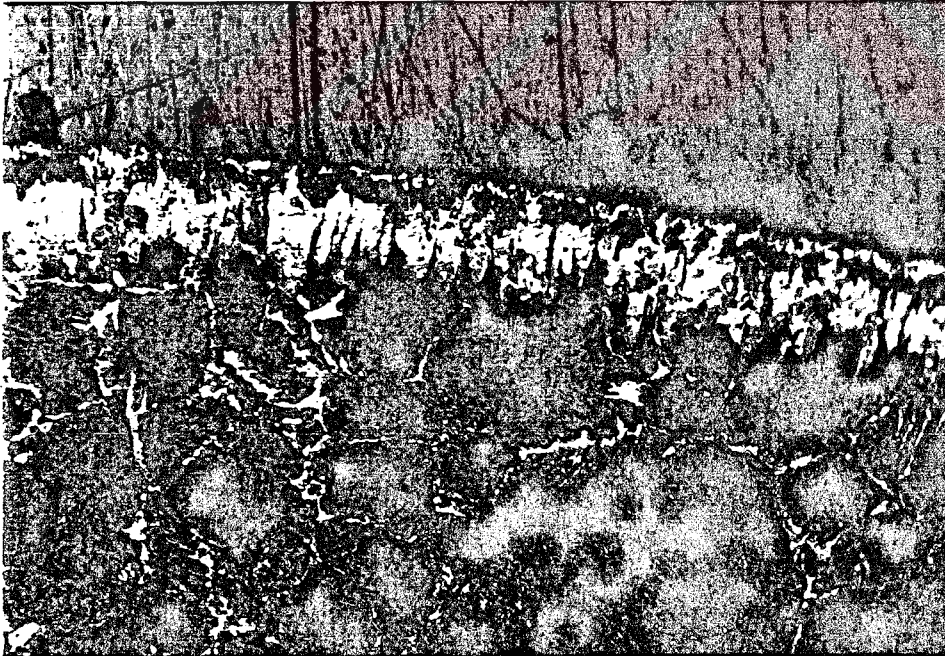
Şekil 3.6.Katı borlama ortamında 950 °C, 4 saatte borlanan numunenin metalografik yapısı.



%2 Nital

×100

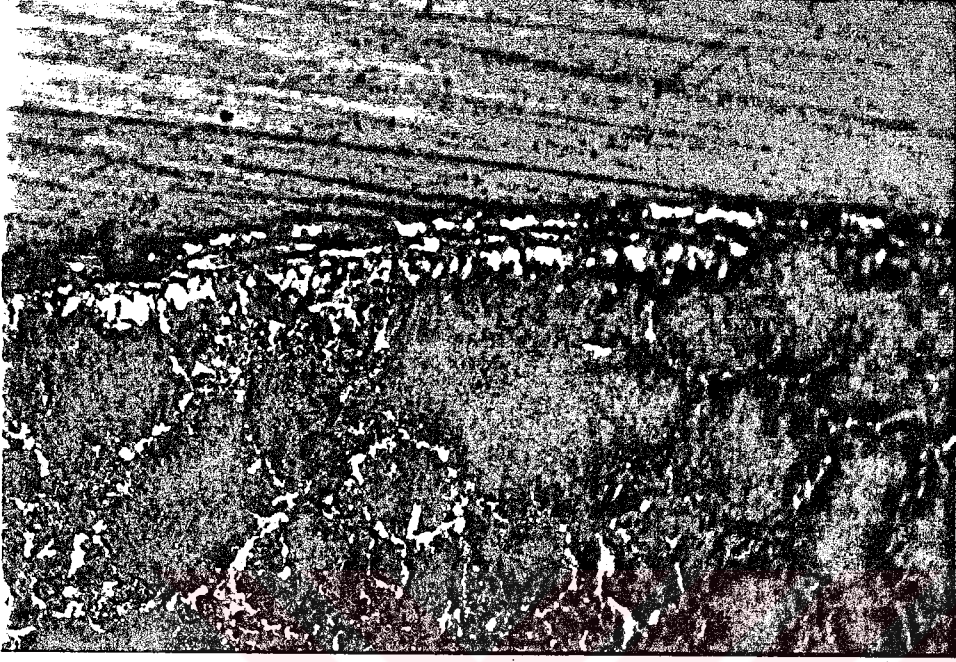
Şekil 3.7.Katı borlama ortamında 950 °C, 5 saatte borlanan numunenin metalografik yapısı.



%2 Nital

×100

Şekil 3.8.Katı borlama ortamında 1050 °C, 4 saatte borlanan numunenin metalografik yapısı.



%2 Nital

×100

Şekil 3.9.Katı borlama ortamında 1050 °C, 5 saatte borlanan numunenin metalografik yapısı.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada az karbonlu bir çelik olan MKE Ç 1020'nin katı borlama ortamında borlanabilmesi incelenmiştir. Numuneler ortamda 800⁰C, 850⁰C, 900⁰C, 950⁰C, 1000⁰C ve 1050⁰C de 1 ile 5 saat arasında tutulmuşlardır. Numunelerin mikrosertliklerine bakılmış ve metalografik incelemeler için ışık mikroskobunda incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda çıkartılmıştır.

1. 800⁰C, 850⁰C, 900⁰C sıcaklıklarda borlamanın gerçekleşmediği görüldü.
2. 950⁰C de 2, 3 ve 4 saatlerde borlamanın istenilen şekilde olduğu tespit edildi.
3. 1000⁰C ve 1050⁰C de bor tabakasının bozulduğu görüldü (şekil 3.8 ve 3.9).
4. Bor tabakasının mikrosertliği ortalama 1376 HV ölçüldü.
5. Bor tabaka kalınlıkları; 950⁰C 2 saatte 130 μ , 950⁰C 3 saatte 140 μ , 950⁰C 4 saatte 160 μ olarak ölçüldü.
6. Bu ölçümler sonucu bor tabaka kalınlığı süreye bağlı olarak arttığı tespit edildi.
7. En ideal katı borlama ortamının 950⁰C de 2 saat, 950⁰C de 3 saat ve 950⁰C 4 saat olduğu tespit edildi.
8. Eğer tabaka kalınlığının fazla olması isteniyorsa, borlama parametresi olarak 950⁰C 4 saat önerilir.
9. Işık mikroskobunda, geçiş bölgesi (alt tabaka) görülemedi.
10. Bor tabakasının bozulması, 950⁰C sıcaklığın üzerinde ve yüzeyden itibaren olduğu görülmüştür (şekil 3.8 ve 3.9).

5. KAYNAKLAR

1. BOZKURT, N., " Bor yayınımlı ile çeliklerde yüzey sertleştirme" Doktora tezi. Kimya-Metalurji Fakültesi ofset atölyesi İstanbul, Eylül 1984.
2. DEMİRCİ, A. H., " Fe - Esaslı malzemelerin borlanması ile kaviteleşme dayanımının değişimi". 7.Uluslar arası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi. 11 - 13 Eylül 1996, ODTÜ, ANKARA, TÜRKİYE.
3. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu. " Kimya Sanayii Hammaddeleri Çalışma Grubu Raporu" T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilâtı. Müsteşarlığı, Yayın No : DPT : 2414 - ÖİK : 474 , EYLÜL 1995.
4. Handbook of Chemistry and Physics , CRC Press, 61 st edition, 1980 - 1981.
5. FİLYAND, M.A., SEMENOVA E.I., " Handbook of the Rare Elements, Vol.2, Refractory Elements ". Macdonalds Technical and scientific, 49 Poland Street, London W.1.
6. EYRE, T.S., " Effect of Boronising on Friction and Wear of Ferrous Metals " , Wear, 34 (1975), 383 - 397
7. A. GRAF, VON, MATUSCHKA, " Borieren " Carl Hanser Verlag München Wien, 1977
8. YÜKSEL, M., CAN, A.Ç., ÖZMEN, Y., " X210Cr12 (1.2080) Takım Çeliğinin Tuz Banyosunda Borlanması " Proje; Proje No : MAG806
9. ONARAN, K., " Malzeme Bilimi " İTÜ İSTANBUL 1985
10. KLAAR, H.J., RAFFİES, I., "Mechanical properties and microstructure of boron-alloyed steel 19 MnB 4"Steel Research, Y-1991, V-62, N-11, P-518-521.
11. KARAMIŞ, M.B., NAİR, F., SELÇUK, B., "Borlanmış Malzemelerin Tribolojik Özellikleri" Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 6.Denizli Malzeme Sempozyumu, 12-13-14 Nisan 1995 Denizli.Sayfa-446-454.

12. ATIK, E., "Çeliklerin Borlanarak Aşınma Dayanımlarının Arttırılması" Mühendis ve Makina-Cilt:38 Sayı:445 Sayfa:17-20
13. PENGXUN, Y., "Gaseous boronizing with solid boron-yielding agents" Thin Solid Films. Y-1992, V-214, N-1 Jun 30, P-44-47.
14. MKE NORMU ÖZEL NİTELİKTE ÇELİK TÜRLERİ KATALOĞU. Sayfa 21. MKE Basımevi-1978.



ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında Manisa'nın Soma ilçesinde doğan Selim Sarper YILMAZ, İlk ve Orta Okulu Manisa'da, Lise eğitimini ise Manisa Endüstri Meslek Lisesi'nde tamamlamıştır.1990-1991 yılında girdiği Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi'nden 1994 yılında Makina Öğretmeni olarak mezun olmuştur.1994-1995 öğretim döneminde Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Bölümü'nde Yüksek Lisansa başlamıştır.1995 yılı sonunda Celal Bayar Üniversitesi Gölarmara Meslek Yüksekokulu'nda Öğretim Görevlisi olarak vazifeye başlayan Selim Sarper YILMAZ, halen bu görevini sürdürmektedir.Evli ve bir çocuk babasıdır.

