

## *makale*

Salih Uğur BAYÇA\*,  
Salim ŞAHİN \*\*

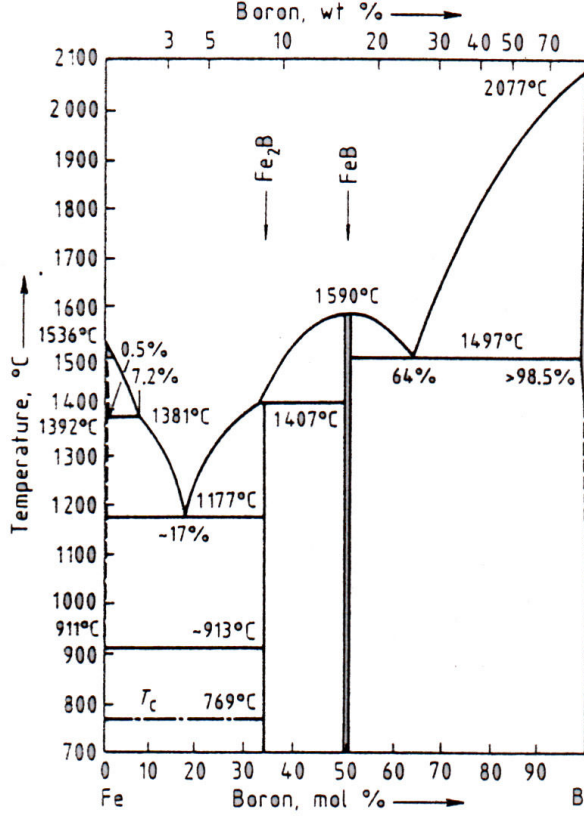
## **BORLAMA**

### **GİRİŞ**

Çelik, dökme demir, nikel alaşımları, titanyum alaşımları ve sinterlenmiş karbürlerin borlanması birçok araştırmacı çalışmıştır. Bu araştırmalar sonucunda borlanmış malzeme yüzeyinin çok yüksek sertliğe, yüksek bir aşınma direncine ve yüksek korozyon direncine sahip olduğu belirlenmiştir. Ancak borlamanın tek dezavantajı borlanmış tabakanın kırılganlığıdır [ 1 - 3 ].

Borlama işlemi katı, sıvı gaz, plazma ve iyon implantasyonu gibi yöntemlerle yapılmaktadır. Katı borlama genellikle patentlerle korunan yaklaşık %5 B<sub>4</sub>C, %5 KBF<sub>4</sub> ve %90 SiC içeren karışımlar ile yapılmaktadır. Bu yöntemde toz karışım sızdırmaz bir kutuya doldurulur ve içine numune yerleştirilir. Kutu gerekli sıcaklığa kadar ısıtılır. Bu sıcaklıkta gerektiği kadar tutulur ve soğutulur [3 ]. Sıvı borlamada boraks, borik asit ve ferro silis karışımından oluşan erimiş tuz banyosuna numune daldırılır ve bu sıcaklıkta gerekli bir süre bekletilir. Gaz ve plazma borlamada BCl<sub>3</sub>, TMB (trimetil borat), TEB (trietyl boran) ve BF<sub>3</sub> gibi bor kaynakları ile H<sub>2</sub> ile Ar gazları kullanılmaktadır [5 -8]. Katı borlama ile C 45 çeliği borlanmış ve 170 mm kalınlığında ve 1600 HV sertliğinde borür tabakası elde edilmiş, borür tabakasının metal alt tabakaya göre 20 kat daha fazla aşınma direncine sahip olduğu gözlenmiştir [ 1 ]. AISI 316L çeliği sıvı borlama işlemi ile borlanmış ve 12 - 14 mm kalınlığında ve 1500 HV sertliğinde borür tabakası elde edilmiştir [ 4 ]. Düşük karbonlu çelik karbürlendikten sonra BCl<sub>3</sub> ve H<sub>2</sub> gaz ortamında borlanmış ve 70 - 150 mm kalınlığında ve 1500 - 1800 HV mikrosertliğinde borür tabakası elde edilmiştir [ 6 ]. Bu yöntemlerden sıvı borlamada erimiş tuz tabakası numune yüzeyine yapışır ve kalıntının temizlenmesi problem oluşturmaktadır. Katı borlamada numune yüzeyinin temizlenmesi gerekir. Ancak yapışma tam olmadığından numune yüzeyi kolaylıkla temizlenir. Gaz ve plazma borlamada malzeme yüzeyi temiz olmasına rağmen kullanılan gazların zehirli, pahalı ve patlayıcı olması dezavantajlarıdır.

Yüksek sıcaklıkta (850-1050°C) yapılan borlama işlemi ile demir yüzeyine bor yayılması gerçekleşir. Bu yayılma işlemi ile tek fazlı Fe<sub>2</sub>B veya iki fazlı Fe<sub>2</sub>B+ FeB den oluşan ferrobör tabakası elde edilir. Tek faz Fe<sub>2</sub>B oluşumu, iki faz Fe<sub>2</sub>B+ FeB nin oluşumundan daha fazla istenir. Çünkü borca zengin FeB fazının kırılganlığı yüksektir; bu yüzden FeB fazının oluşması istenmez. FeB nin ısıl genleşme katsayısı (23.10<sup>-6</sup>/°C), Fe<sub>2</sub>B nin genleşme katsayısından (7,85.10<sup>-6</sup> /°C) büyüktür. İki fazlı sistemde oluşan Fe<sub>2</sub>B ve FeB fazları arasındaki ısıl genleşme farklılıkları nedeni ile yüzeyde çatlamlar oluşur. Bu çatlamları önlemek FeB fazını azaltmak veya FeB fazının oluşmasını önlemek ile mümkündür [ 3 ]. Demir bor diyagramı Şekil 1'de görülmektedir.



Bu çalışmada borlama yöntemleri, borlama teorisi ve borlama işleminin malzeme yüzeyine olan etkileri incelenmiştir.

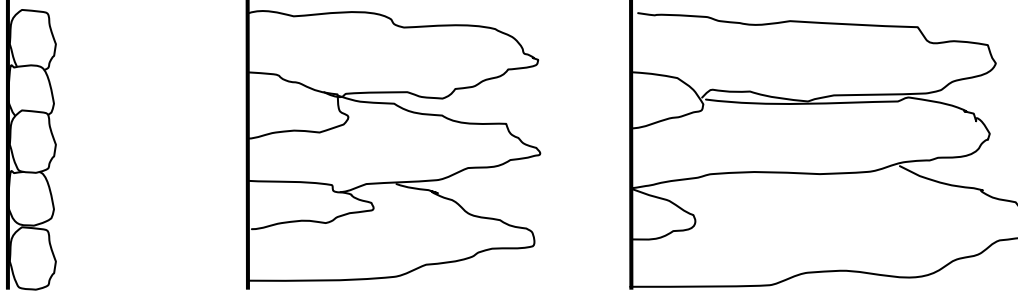
## BORLAMA İŞLEMİ

Borlama; termokimyasal bir yüzey sertleştirme işlemidir. Borlama, bor elementinin yüksek sıcaklıkta metal yüzeyine yayılması ile yüzeyde borür tabakası elde etme işlemidir. Demir borürler termal ve elektrik iletkenliği gibi özelliklerinden başka yüksek sertlik gibi tipik seramik özellikleri de gösteren bileşiklerdir. Tane sınırları, dislokasyonlar, atom boşlukları gibi mikro hatalar ile yüzey pürüzlülükleri ve çizikler gibi yüzeyin daha reaktif olduğu yerler borür tabakası oluşumunun başlangıç noktalarıdır. Bu noktalarda Fe<sub>2</sub>B çekirdekleri oluşur ve gelişir [ 9 ].

Borlamanın birinci aşamasında borlayıcı ortam ve nesnenin yüzeyindeki reaksiyon partnerleri arasında reaksiyon oluşur. Taneler yüzeyde çekirdek oluşturmaktadır. Borlama süresi ile çekirdek oluşumu artar ve ince bir bor tabakası elde edilir. Bor, Fe<sub>2</sub>B ve FeB yapısında çeliğin yüzeyine yayılır. Borlama işlemi sırasında, ilk borür çekirdeği numunenin yüzeyinde oluşmaktadır, Şekil 2.

Oluşan ilk borür çekirdeği numune içinde büyür. Bor atomları kafes yapının 001 doğrultusunda daha hızlı yayıldığı için FeB ve Fe<sub>2</sub>B 001 boyunca yönlendirilir. Bu yüzden borür taneleri 001 yönünde yüzeye dik daha hızlı büyür. Borür tanelerinin diğer yönlerde büyümesi daha yavaştır. Bu nedenle kolonsal yapı oluşur. Önce Fe<sub>2</sub>B fazı oluşur, ortamda

yeterince bor konsantrasyonu varsa FeB fazı da oluşur. İlk önce oluşan Fe<sub>2</sub>B fazı uzun bir sürede büyümektedir. Borür tabakaları çeliğin yüzeyinden içeriye doğru Fe<sub>2</sub>B FeB Fe<sub>2</sub>B yapısında oluşur. Borlamanın son aşamasında sadece FeB fazı oluşur. FeB fazı Fe<sub>2</sub>B fazından daha kısa sürede büyür. Bu yüzden FeB fazının dokusu Fe<sub>2</sub>B fazı kadar güçlü değildir [ 10 ].



Şekil 2. Borlama sırasında borür tabakasının oluşum aşaması [ 10 ].

## Borlama Yöntemleri

### Katı (Paket) Borlama Yöntemi

Borlama ortamı olarak katı maddelerin kullanıldığı yöntemdir. B<sub>4</sub>C, KBF<sub>4</sub> ve SiC içeren toz veya granürden oluşan bir karışım ile malzemenin etrafı sarılır. Bu işlem koruyucu atmosfer altında veya sıkı kapatılmış kutularda yapılır. Burada amaç borlama ortamına dışarıdan oksijen akışını kesmektir. Böylece redüksiyon ortamı korunmuş olur. İşlem sırasında ısıya dayanıklı malzemeden yapılmış kutular kullanılır. Borlama 800 - 1100 °C sıcaklık aralığında ve 2 - 10 saat süreyle inert bir atmosferde yapılır, Şekil 3 [ 11,12 ].

Katı borlama prosesinde yer alan reaksiyonlar şunlardır.



Katı borlama yönteminde kullanılan bor bileşikleri; borkarbür, ferrobor, elementer bordur. Bunlardan en çok kullanılanı, borkarbürdür. Aktivatör olarak sodyum bor florür, potasyum bor florür, baryum florür, sodyum karbonat, amonyum klorür ve redükleyici olarak silisyum karbür, grafit ve sodyum klorür gibi maddeler kullanılır [ 12 ].

Borlama maddesinin tane boyutu küçüldükçe temas yüzeyi artar. Temas yüzeyinin artması yayılımı kolaylaştırır, dolayısıyla borür tabakasının kalınlığı artar [13]. Borlama, kaynaklı birleştirmelerde başarı ile uygulanabilir. AISI 1040 ve AISI 8620 çeliklerinde kaynak birleştirmelerde uygulanan katı borlama yöntemi ile kaynak bölgesinde de yeterli miktarda borür tabakası elde edilmiştir [ 14 ].

### Sıvı Borlama Yöntemi

Bor bileşikleri, aktivatör ve redükleyici maddelerden oluşan erimiş tuza, iş parçasının daldırılması yöntemidir. Daldırma süresi borlama süresidir. Borlama işlemi 900 - 1100 °C sıcaklıkta ve 2 - 9 saat süre ile yapılır. Bu yöntemin dezavantajı sıcaklıktır. Sıcaklığın 850°C nin altına düşmesi durumunda erimiş boraksın akıcılığı azalacağından borlama imkansız hale gelecektir [ 11,12 ].

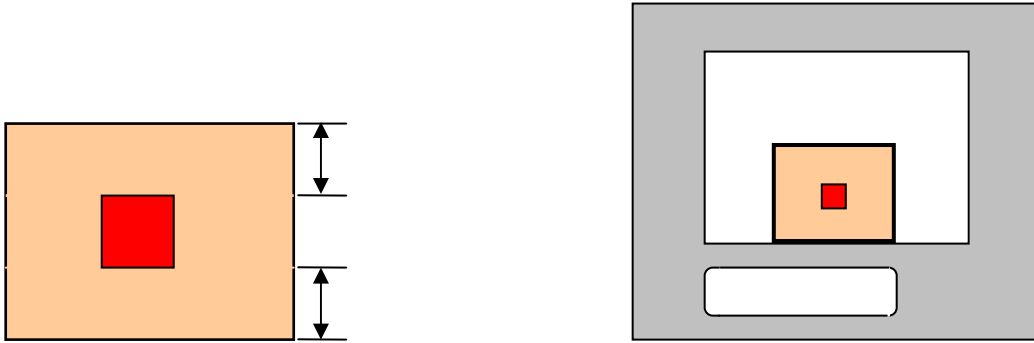
1 – 2 cm borlama tozu

1 – 2 cm borlama tozu

800-1100°C

a) Kutu hazırlama

b) Kutunun fırında ısıtılması



Şekil 3. Katı (paket) borlama işleminin şematik görünüşü

İşlemede susuz boraks ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ), susuz borik asit ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ), metaborik asit ( $\text{HBO}_2$ ), boraks, bor karbür gibi bor bileşikleri kullanılır. Silisyum karbür, ferrosilisyum, grafit,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Al}$  gibi redükleyiciler kullanılır. Borlayıcı ortamın sıvı olması için bor bileşiklerinin veya  $\text{NaCl}$  gibi eriticilerin miktarı yüksek olmalıdır. Böylece eritici olan bu maddeler diğer maddeleri de eriterek sıvı eriyik oluşturur, Şekil 4.

Sıvı ortam borlaması sırasında borlanan metal ile redükleyici madde arasında galvanik pil oluşur. Aktif bor oluşumu sırasında metal yüzeyinde katodik bir reaksiyon olurken, redükleyici madde yüzeyinde anodik bir reaksiyon olmaktadır. Bu işlemin oluşması için; borlanacak metal ile redükleyici madde taneleri arasında elektrokimyasal farkın bulunması gerekir. Difüzyon reaksiyonu esnasında katot potansiyeli, yüzeyde oluşan fazın ( $\text{FeB}$ ,  $\text{Fe}_2\text{B}$ ) potansiyel değerini alır. Katı eriyik, oluşum esnasında yüzeyde yayılan elementin konsantrasyonundaki değişimle birlikte sürekli değişir [ 12 ].

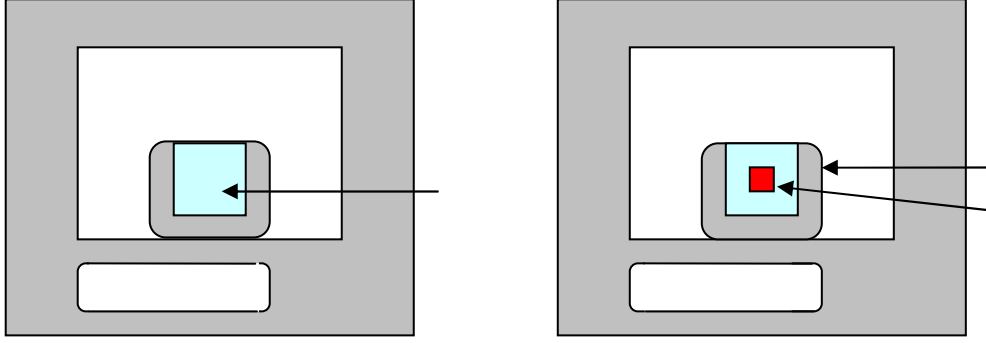
Sıvı borlama yöntemi AISI 1040 çeliğine uygulamış, çelik  $1000^\circ\text{C}$  de erimiş %70 boraks, % 13 borik asit, %10 ferrosilisyum ve %7  $\text{Al}$  içeren tuz banyosuna daldırılmıştır.  $1000^\circ\text{C}$  sıcaklıkta 7 saat borlama sonucu  $150\mu\text{m}$  tabaka kalınlığı ve 2000 HV sertlikte borür tabakası elde edilmiştir [ 15 ].

### **Gaz Borlama Yöntemi**

Borlama ortamının gaz fazında olduğu borlama işlemidir. Borlama işlemi  $\text{Ar}$  ve  $\text{H}_2$  gazlarının ve bir evapotartörde gaz haline getirilmiş bir bor kaynağının ( $\text{BCl}_3$  gibi) belirli karışımının, dış ortama kapalı paslanmaz çelik bir odadaki numune üzerine püskürtülmesiyle yapılır, Şekil 5 [ 16 ].

a) Bor ortamının eritilmesi

b) Borlama sıvısına numunenin daldırılması



Gaz borlamada gazlaştırılabilen BCl<sub>3</sub> (bor halitler), BF<sub>3</sub>, B<sub>2</sub>H<sub>6</sub> (diboran) ve TEB (trietyl boran) gibi bor bileşikleri ve redükthan olarak hidrojen gazı kullanılmaktadır. Gaz borlama işleminde genellikle bor halitler ve diboran kullanılmaktadır. Diboran ve bor halitlerin gazları zehirli ve patlayıcıdır; çevreyi kirletici etki yaptığından ticari kullanımı sınırlıdır. Gaz borlamanın avantajları gaz sirkülasyonu sonucu daha uniform bir bor dağılımın sağlanması, sonradan temizleme gerektirmediği için kolay elde edilmesidir [ 5,9 ].

Gaz borlama reaksiyonları şunlardır. Gaz borlamada bor triklorür ısı ile aktive edilir.



Burada hidrojen BCl<sub>3</sub> ü redükler. Böylece bor, demire yayılır. Reaksiyon bileşenleri iki aşamada oluşur.



Gaz borlamada diboran ve bor klorür gazlarına alternatif olarak zehirsiz organik bor kaynakları trimetil borat, TMB, B(OCH<sub>3</sub>)<sub>3</sub> ve trietyl boran, TEB, B(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>3</sub> boran trietyl amin gibi maddeler kullanılmaktadır [ 16 ].

### **Plazma Borlama**

Katı haldeki bir maddeyi enerji vererek sıvı, sıvı haldeki maddeyi enerji vererek gaz; ve gaz durumdaki maddeyi enerji vererek plazma haline getirmek mümkündür. Plazma, içerisinde iyon, elektron, uyarılmış atom, foton ve nötral atom veya molekül içeren karışımdır. Uygulamada plazma, ısı enerjisi verilerek, ışınla veya elektriksel boşalma ile elde edilir. En yaygın kullanılan plazma yöntemi elektriksel boşalmadır. Bir elektrik gerilim kaynağı gaz içinde bulunan iki iletken plaka arasına bağlanırsa belirli şartlar gerçekleştiği takdirde uygulanan gerilim plakalar arasındaki gazın delinme geriliminin üzerinde ise , bu iki plaka arasında bir elektrik akışı olur [ 16 ].

Plazma borlama BCl<sub>3</sub>, BF<sub>3</sub>, B<sub>2</sub>H<sub>6</sub> ve TEB (trietil boran) gibi bor bileşikleri ve redükthan olarak hidrojen gaz kullanılarak, 800 - 1100°C sıcaklıkta, yaklaşık 10-2 Pa gibi düşük bir basınçta oluşturulmuş bir plazma içerisinde yapılan borlamadır [ 7,8 ]. Klasik borlama, tuz borlama ve gaz borlama gibi işlemlerin çevreye kirlenici etkisi nedeniyle son yıllarda plazma borlama işlemi daha yoğun olarak çalışılmaktadır [ 5 ].

Plazma borlama reaksiyonları şunlardır.



Bor florür (BF<sub>3</sub>) ile borlama reaksiyonu



Plazma borlamanın avantajları yüksek enerji etkinliği, minimum çarpılma, düşük işlem sıcaklığıdır. Plazma borlamanın dezavantajları BCl<sub>3</sub> ve B<sub>2</sub>H<sub>6</sub> gazları kullanılmasıdır. Bu gazlar, pahalı, zehirli, patlayıcıdır ve korozyona neden olmaktadır [ 8 ].

## BORÜR TABAKA ÖZELLİKLERİ

Borlama esnasında uygulanan yöntem, kullanılan borlama maddesi, borlanan malzemenin cinsi ve işlem parametreleri oluşan borür tabakasının şekline ve özelliklerine etki eden faktörlerdir. Demir esaslı malzemelerin borlanması ile oluşan ferrobör tabaka çeşitleri Şekil 6'da görülmektedir [ 12 ].

Borür tabakası ile metal arasındaki geçiş bölgesinde de sertlik artışı meydana gelmektedir. Bu, bor elementinin metalde alaşım elementi etkisi göstermesinden kaynaklanır.

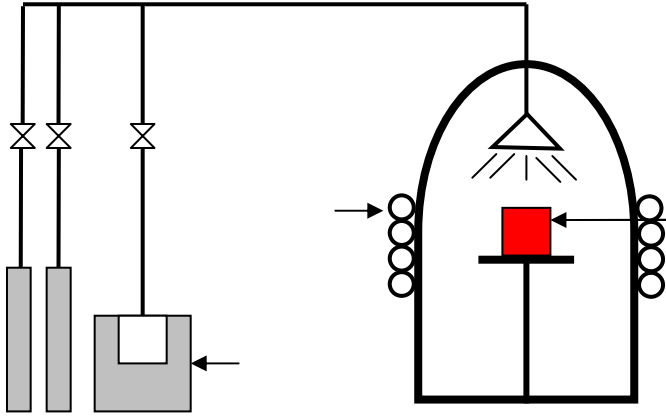
Ar H<sub>2</sub> BCl<sub>3</sub>

Kriostat

Paslanmaz çelik oda

Numune

Isıtıcı



Şekil 5. Gaz borlama ünitesi

### Borür Tabaka Kalınlığı

Metal yüzeyinde borlama işlemi ile oluşturulan borür tabakasının kalınlığını etkileyen faktörler borlayıcı ortamın bileşimi ve konsantrasyonu, işlem sıcaklığı ve süresi, alt tabaka metal bileşimidir [ 9 ].

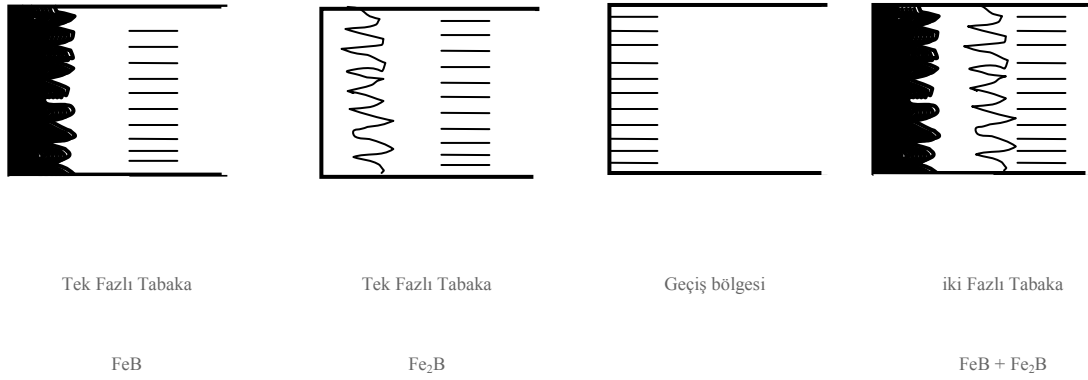
### Borlayıcı Ortamın Bileşimi ve Konsantrasyonun



## Tabaka Kalınlığına Etkisi

Bor kaynaklarının ortamda yeterince bulunması borür tabaka kalınlığını artırır. Ancak ortamda yeterince bor kaynağı yoksa yani borlama işlemi sırasında bor kaynağında bor kalmaz ise tabaka oluşumu durur. Böylece ince bir borür tabakası oluşur. B<sub>4</sub>C den B'nin yalnız bırakılması için ortamda redüksiyonu sağlayacak bir madde (redükтан) bulunmalıdır. Böylece redükтан bir madde olan SiC ile B<sub>4</sub>C bileşiminden B (elementel bor) elde edilir. Serbest kalan B'nin oksijene olan afinitesi çok yüksektir ve hemen oksijenle B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oluşturur. Bunu önlemek için ortamda yeterince SiC bulunmalıdır.

Redüksiyonu sağlayan SiC aynı zamanda demiri de redükler, böylece serbest kalan bor, demire yayılır. Böylece FeB ve Fe<sub>2</sub>B tabakaları oluşur. Borun demire yayılmasını KBF<sub>4</sub> hızlandırır [ 3 ].



Şekil 6. Borür tabakalarında oluşan fazlar [ 12 ].



## İşlem Sıcaklığı ve Süresinin Tabaka Kalınlığına Etkisi

Bor oksitten Bor elementinin serbest kalması için belirli bir sıcaklık gerekir. Demir ve bor oksidin birlikte redüksiyonu (koredüksiyonu) Fe<sub>2</sub>B ve FeB borürlerinin oluşumundan dolayı tek tek redüksiyonundan daha hızlıdır. İşlem devam ettikçe çelik yüzeyine bor yayılması devam edecektir. Böylece borür tabaka kalınlığı artacaktır. Ancak işlem sırasında redüksiyon işlemi de devam etmelidir. Redüksiyon işlemi için borlama sıcaklığı gereklidir. Borlama süresi, borlama sıcaklığında bekleme süresidir [ 3,18 ]. Borür tabakası kalınlığının işlem süresi ve sıcaklığı ile değişimi Şekil 7'de verilmiştir.

Borlama süresinin artması ile tabaka kalınlığı artar. İşlem sıcaklığını sınırlayan erimelerdir. FeB denge diyagramında ötektik sıcaklığın 1149°C altında olması gerekir. Uygulamada bu sıcaklığın üzerinde çıkılırsa malzeme üzerinde lokal erimeler meydana

gelerek malzeme yüzeyi bozulabilir. Sıcaklık artması tabaka kalınlığını artırması yanında poroziteyi de artırmaktadır. Porozitenin artması ise tabakanın gevrekleşmesine yol açmaktadır [ 9 ].

Tabaka kalınlığını sınırlayan bir diğer faktör de kırılgenlıktır. Tabaka kalınlığı arttıkça kırılgenlık da artacağı için özellikle çift fazlı tabakalarda kalınlığın fazla olmaması gerekir [ 3 ]. Bor tabakasının kalınlığı kutudaki NH4Cl miktarının artması ile artmaktadır [ 19 ].

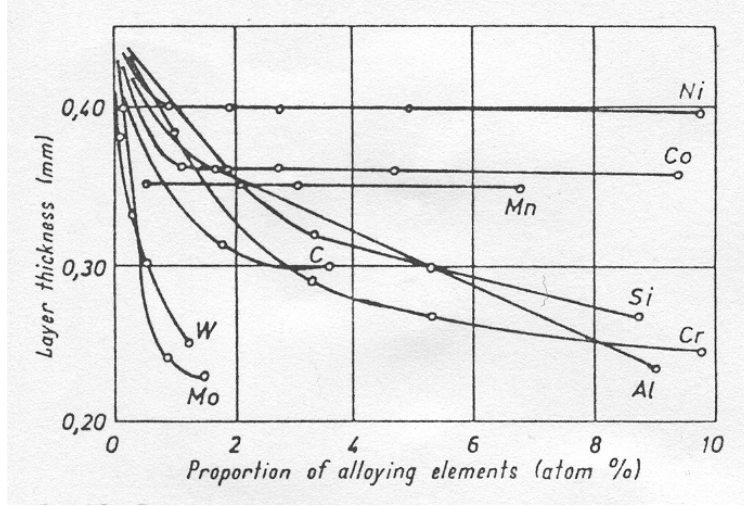
şekil 7. Borür tabakası kalınlığının işlem süresi ve sıcaklığı ile değişimi [ 12 ].

### **Alt Tabaka Metal Bileşiminin Tabaka Kalınlığına Etkisi**

Çelikte alaşım elementleri (C, Cr, W, Mo gibi) borür tabakalarının dişli yapısının düzleşmesine neden olur. Bu da borür tabakasının alt tabakaya zayıf yapışmasına yol açar [ 1 ]. Metaldeki karbon miktarı borür tabaka kalınlığını etkiler. Metaldeki karbon miktarının artması ile borür tabaka kalınlığı azalır [ 12 ]. Alaşım elementlerinin borür tabakasının gelişimine etkileri Şekil 8’de görülmektedir.

#### **Borür Tabakasının Sertliği**

Takım çelikleri genellikle 120 - 200 HV sertliğindedir. Bu çelikler aşındırıcı ortamlarda kullanıldığında yüksek miktarda aşınır ve malzeme boyutları değişir. Takım çelikleri borlanırsa yüzeyde 10 - 200 µm kalınlığında demir borür tabakası elde edilir. Dış yüzeyinde demir borür tabakası oluşturulan çeliğin sertliği 1500 - 2200 HV ye ulaşır. Bor Fe2B ve FeB yapısında çeliğin yüzeyine yayılır. Bu yapı karbürlü ve nitrürlü yüzeylerden daha serttir, Tablo 1 [9,12].



Şekil 8. Borür tabaka kalınlığının metalin bileşimine göre değişimi [ 12 ]

Borlama sonucu oluşan tek faz Fe<sub>2</sub>B tabakası 1800 - 2000 HV arasında sertliğe sahiptir. Fe<sub>2</sub>B ve FeB oluşan İki fazlı tabakanın sertliği 1900 - 2400 HV arasındadır. İki fazlı tabakanın sertliği yüksektir. Borlanmış metallerde sertlik, yüzeyden içeriye doğru azalmaktadır, Şekil 9 [12, 20].

#### Borür Tabakasının Aşınma Dayanımı

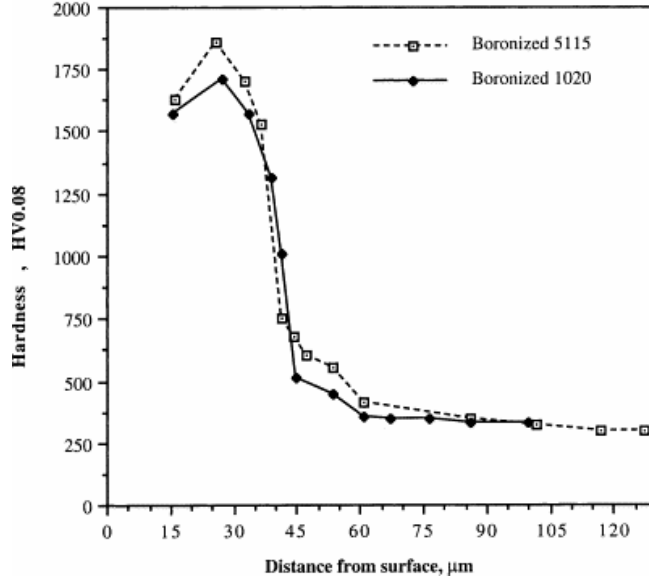
Makina parçalarının ve mekanizmaların ömrü ve güvenilirliği yüzey özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Korozyon, aşınma ve yorulma kırılmasının oluşumu yüzeyden başlar [ 21 ]. Aşınma dayanımı ve sürtünme katsayısı bir sistem özelliği olmakla beraber malzeme sertliği ile doğrudan ilgilidir. Borlanmış tabakanın aşınma dayanımı, tabakanın tek veya çift fazlı oluşuna ve oluşum biçimine bağlıdır. En az aşınma Fe<sub>2</sub>B fazında, en fazla aşınma ise daha sert olan FeB fazında olmaktadır. Çünkü daha sert olan FeB fazı, Fe<sub>2</sub>B fazından daha gevrektrir.

Bor elementinin oksijene afinitesi yüksektir. Bu nedenle bor, yüzeyde koruyucu bir oksit tabakası oluşturmakta, bu oksit filmi yüzeyde yağlayıcı vazifesi görüp sürtünme katsayısını düşürerek yüzeylerin birbirine kaynamasını da önlemektedir [ 22 ]. Borür tabakasına aşınma testi uygulanmış, borür yüzeylerindeki aşınma miktarının (10<sup>-6</sup> - 10<sup>-5</sup> mm<sup>3</sup>/m) metal alt tabakanın aşınma miktarından (10<sup>-2</sup> - 10<sup>-1</sup> mm<sup>3</sup> /m) çok düşük olduğu gözlenmiştir. Bu aşınma test sonuçlarının farklılığı borürler ile malzemenin farklı sertlik ve aşınma özelliklere sahip olmasındandır [23 ].

Tablo.1. Çeşitli Malzemelerin sertlik değerleri [ 9 ].

Malzeme	Mikrosertlik, kg/mm <sup>2</sup>
Nitrürlenmiş yüzey	610 - 940
Karbürleşmiş yüzey	700 - 820
Sert krom kaplı yüzey	950 - 1100

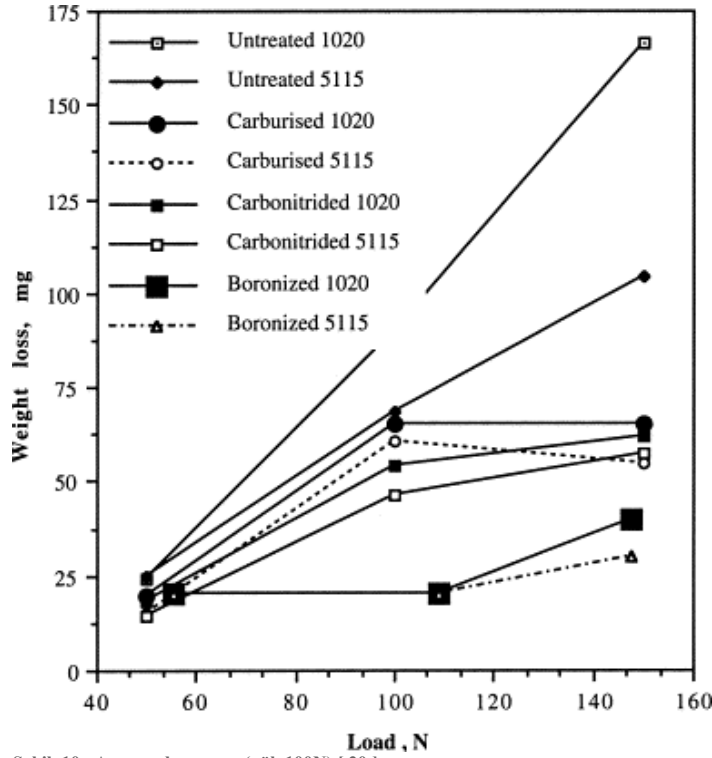
Borlanmamış çeliğin aşınma dayanımı 3,05 mg/devir iken borlanmış çeliğin aşınma dayanımı 0,0065mg/devir olarak bulunmuştur. Buna göre borlanmış çeliğin aşınma dayanımı 500 kat daha fazladır [ 3 ].



Şekil 9. 950 °C sıcaklıkta 90 dakika borlanmış çeliklerin yüzeyden itibaren sertlik dağılımı [ 20 ].

### Korozyon Dayanımı

Borür tabakasının suya ve atmosfere karşı korozyon direncinin düşük olmasına karşılık, bazı asitlere ve sıvı metallere karşı direnci yüksektir. Özellikle HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> gibi asitlere ve alüminyum, kurşun ve çinko gibi metallerin sıvı banyolarında borlu malzemelerin korozyon direnci çok yüksektir.



Şekil 10. Aşınma dayanımı (yük 100N) [ 20 ].

Yüksek kromlu çeliklerde borlama ile koruyucu krom oksit yerine daha az koruyucu olan krom borür oluşur. Bu yüzden yüksek alaşımlı malzemelerin borlanmasıyla korozyon özelliği her zaman elde edilmeyebilir [ 9 ].

## SONUÇ

Borlama etkin bir yüzey sertleştirme işlemidir. Metallerin borlanması sonucu yüzeyde borür tabakası oluşur. Çelikler için Fe<sub>2</sub>B ve FeB yapısında oluşan borür tabakası; 2000 HV civarındaki sertlik ve çok yüksek aşınma direncine sahip olması ve bu özelliklerini yüksek sıcaklıklarda koruyabilmesi gibi nedenlerden dolayı gelişen endüstride önem kazanan bir yüzey sertleştirme işlemidir.

Ana metal ile karşılaştırıldığında borlanmış yüzeylerde önemli bir miktarda sertlik artışı sağlanır. Ayrıca borlanmış yüzeylerde sürtünme katsayısı da önemli miktarda azalmaktadır. Makina parçalarındaki aşınma kayıplarının azaltılması çalışmalarında borlama işlemi alternatif bir yöntemdir. Özellikle darbesiz aşınmaların olduğu nozullar, otomotiv endüstrisi ve ekstruder vidası gibi makina parçalarında borlama ile yüzeylerin sertleştirilmesi aşınma miktarını önemli ölçüde azaltmaktadır.

## KAYNAKÇA

1. Yan, P. X., Zhang, X. M., Xu, J. W., Wu, Z. G., Song, Q M., High Temperature Behavior of the Boride Layer of 45 # Carbon Steel, Materials Chemistry and Physics, Vol. 71 (2001) 107 - 110.
2. Şahin, S., Meriç, C., Investigation of Effect Boronizing on Cast Irons, Materials Research Bulletin, 37 (2002) 971-979.

3. **Jain, V., Sundararajan, G.,** Influence of the Pack Thickness of the Boronizing Mixture on the Boriding of Steel, *Surface and Coatings Technology*, 149 (2002) 21 - 26.
4. **Özbek, İ. Konduk, B. A. Bindal, C. Üçışık, A.H.,** Characterization of Borided AISI 316 L Stainless Steel Implant, *Vacuum*, 65 (2002) 521 - 525.
5. **Yoon, J. H., Jee, Y. K., Lee, S. Y.,** Plasma Paste Boronizing Treatment of the Stainless Steel AISI 304, *Surface and Coatings Technology*, 112 (1999) 71 - 75.
6. **Pertek, A. Kukla, M.,** Characterization of Complex (B+C) Diffusion Layers Formed on Chromium and Nickel-Based Low Carbon Steel, *Applied Surface Science*, 202 (2002) 252 - 260.
7. **Nam, K., S., Lee, K. H., Lee, S. R. Kwon, S. C.,** A Study on Plasma-Assited Boriding of Steels, *Surface and Coatings Technology*, 98 (1998) 886-890.
8. **Hunger, H. J., Löbig, G.,** Generation of Boride Layers on Steel and Nickel Alloys by Plasma Activation of Boron Trifluoride, *Thin Solid Films*, 310 (1997) 244 - 250.
9. **Şahin, S,** Katı Borlama Yöntemi İle Ferrobör Üretimi ve Özelliklerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999, Manisa.
10. **Xu, C. H., Gao, W., Yang, Y. L.,** Superplastic Boronizing of a Low Alloy Steel- Microstructural Aspects, *Journal of Materials Processing Technology*, 108 (2000) 349-355.
11. **Roskill,** The Economics of Boron, Roskill Information Services Ltd, 1999, London England.
12. **Mathuschka, A., G.,** Boronizing, Carl Hanser Verlag, München Wien. 1980, Germany.
13. **Meriç, C., and Şahin, S.,** Investigation of Effect on Boride Layer of Powder Particle Size in Boronizing with Solid -Yielding Substances, *Materials Research Bulletin*, 35,(2002) 2165 - 2172.
14. **Meriç, C., and Şahin, S.,** Investigation of Effect Boronizing on Welding zone, *Science Technology of Welding and Joining*, 7 (2002) 107.
15. **Şen, U.,** Termokimyasal Yöntemle Bor Kaplama ve Kaplama Özellikleri, Sekizinci Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 6-9 Haziran, 1995, İstanbul.
16. **Küper, A., Qiao, X., Stock, H. R.;** A Novel Approach to Gas Boronizing, *Surface and Coatings Technology*, 130 (2000) 87-94.
17. **Çelik, A.,** Plazma ile Termokimyasal Yüzeysel İşlemleri, *Mühendis ve Makina*, Sayı 510, 2002, TMMOB, Makina Mühendisliği Odası Yayını.
18. **Özbek, İ, Şen, S, İpek, M, Bindal, C, Zeytin, S Üçışık, H,** A Mechanical Aspect of Borides Formed on the AISI 440 C Stainless Steel, *Vacuum*, 73 (2004) 643-648.
19. **Chen, F. S., Wang, K. L.,** The Kinetics and Mechanism of Multi-Component Diffusion on AISI 1045 Steel, *Surface and Coatings Technology*, 115 (1999) 239-248.
20. **Selçuk, B., İpek, R. Karamış, M. B.,** A Study on Friction and Wear Behaviour of Carburized, Carbonitrided and Borided AISI 1020 and 5115 Steels, *Journal of Materials Processing Technology*, 141 (2003) 189 -196.

21. **Sizov, I. G., Smirnyagina, N. N., Semenov A. P.,** Structure and Properties of Boride Layers Deposited by Electron Beam and Chemicothermal Treatment, Metal Science and Heat Treatment, Metal Science and Heat treatment, 43 (2001) 460 - 461.
22. **Biddulph, R.H.,** Boronizing for Erosion Resistance, Thin Solid film, Vol: 45 (1977) 341 - 347.
23. **Bourithis, L, Papaefthymiou, S., Papadimitriou, G. D.,** Plasma Transferred Arc Boroding of a Low Carbon Steel: Microstructure and wear properties, Applied Surface Science, 200 (2002) 203-218.