

ÜÇ FARKLI ÇELİĞE KATI BORLAMA İŞLEMİ YAPILMASININ İÇ YAPI VE SERTLİK ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Mehmet ÖZER¹, İrfan AY²

¹mozer@balikesir.edu.tr Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir M.Y.O., 10145 Balıkesir

²iay@balikesir.edu.tr Balıkesir Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 10145 Balıkesir

ÖZET

Bu çalışmada AISI 1020, AISI 1060 ve AISI 4140 çeliklerinden imal edilmiş olan borlama numunelerine 840–880–920 ve 960°C’ de 2–4–6 ve 8 saat sürelerle katı borlama işlemi uygulanmıştır. Bor kaynağı olarak da “**Ekabor-2**” tozu kullanılmıştır. Borlanan numunelerin optik mikro yapı fotoğrafları çekilmiştir. Difüzyon bölgesinin kalınlığı ve sertliği ölçülmüştür. Katı borlamanın iç yapıya ve sertleşmeye olan etkileri araştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Borlama / AISI 4140 Çeliği / AISI 1020 çeliği / AISI 1060 çeliği

ABSTRACT

In this study, solid boronizing is applied in conditions 840–880–920–960 °C temperature and 2–4–6–8 hours to the samples which are manufactured from AISI 1020 – AISI 1060 – AISI 4140 steels. In boronizing (Ekabor-2) powder is used. The optical microstructures of the samples boronized have been taken photos. Effects to microstructures and hardness of solid boronizing are investigated.

Keywords: Boronizing / AISI 4140 Steel / AISI 1020 Steel / AISI 1060 Steel

1. GİRİŞ

Borlama günümüzde sürtünen yüzeylerde aşınma problemlerine çare olarak çeliklere uygulanan termo-kimyasal bir işlemdir. Bor atomları, sıcaklık yardımıyla malzeme yüzeyine difüzyonla girerler. Yüzeyde FeB ve Fe₂B bileşikleri oluştururlar. Borlama tüm çeliklere, nikel alaşımlarına, titanyum alaşımlarına ve sinterli karbürlere uygulanabilmektedir [1].

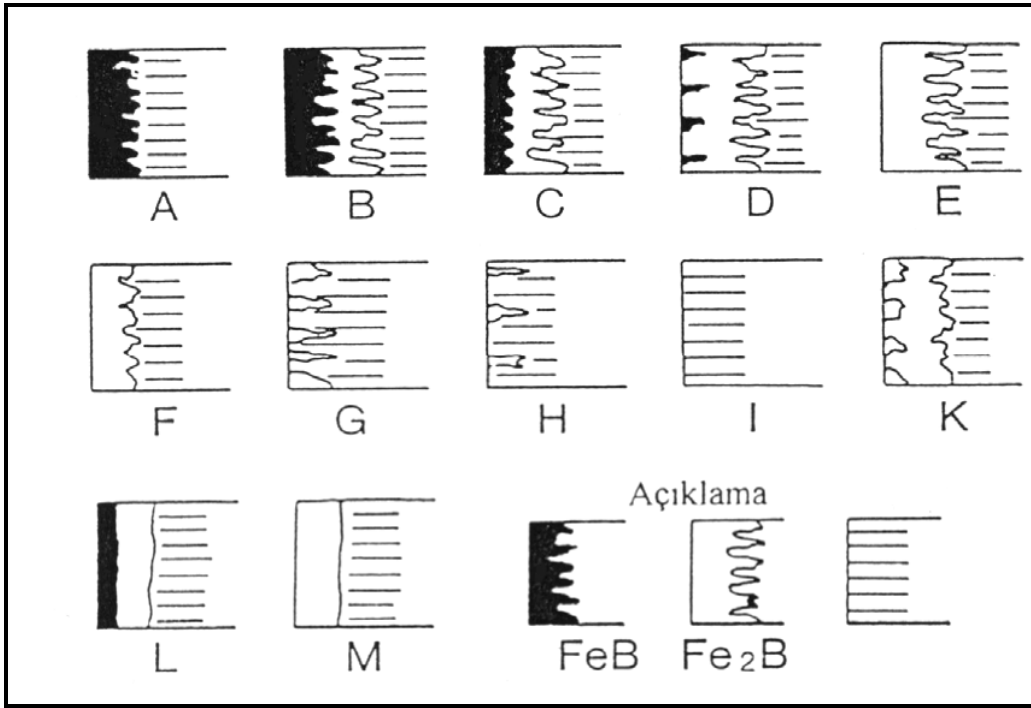
Demir alaşımları içerisinde bor atomları daha kolay difüze olurlar bunu bor atom çapının nispeten daha küçük olması ile açıklayabiliriz. Proses sıcaklığına ve borlama zamanına bağlı olarak bor tek Fe₂B yada çift (FeB, Fe₂B) intermetalik fazlar şeklinde alaşım içinde yer alır. Bunlar atomların içinde aşırı sertliklere ulaşmakla beraber, malzemenin ısıl ve elektriksel iletkenliğini de artırmaktadırlar [2,3].

Borlayıcı ortam ; bor kaynağı, aktivatörler, dolgu ve deoksidanlardan oluşur. Aktivatörler borür tabakasını düzenli geliştirirken, dolgu ve deoksidanlar borlama esnasında oksijeni tutarak redükleyici bir ortam oluşturular böylece borlama malzemesinin ana malzemeye yapışmasını önlerler [4].

Genel olarak çelik borlama, 850 – 1000 °C sıcaklıkta 2 – 8 saat bekletilerek borlama gerçekleştirilir. Borlama işlemi katı, sıvı, gaz ve pasta (macun) ortamlarda yapılır. Katı halde borlama düşük maliyet, basit ekipman, kolay uygulanabilirlik açısından diğer yöntemlere göre bazı avantajlar sağlar [4,5].

Bu yüzden biz bu çalışmada , 3 farklı oranda "C" içeren çeliklere 2-4-6-8- saat ara ile 840 ile 960 °C arasındaki farklı sıcaklıklarda katı borlama işlemi yaptık. Katı haldeki bu borlama işleminin çeliğin iç yapı ve sertliği üzerine etkisini araştırdık.

Yapı içerisinde oluşan özel bor tabaka tipleri literatürde aşağıdaki şekillerde görüldüğü gibi oluşabilmektedir [1].



Şekil 1. Borür tabakası çeşitleri

- A: Tek fazlı tabaka, sadece FeB
- B: İki fazlı tabaka, Fe₂B ve FeB
- C: İki fazlı tabaka, B'dekinden daha ince bir FeB tab.
- D: İki fazlı tabaka, yalnız FeB dişleri izole edilmiş
- E: Tek fazlı tabaka, sadece Fe₂B, kuvvetli dişler
- F: Tek fazlı tabaka, sadece Fe₂B, daha az kuvvetli dişler
- G: Fe₂B dişli özel tabaka
- H: Fe₂B dişleri çok izole edilmiş tabaka
- I: Geçiş bölgesi
- K: Bozulmuş tabaka
- L: İki fazlı tabaka, düz yani parmaklı değil
- M: Tek fazlı tabaka, FeB ve Fe₂B, düz

Açıklama:

F tipi Endüstride E ve yani tek fazlı borür tabakası (Fe₂B) tercih edilmektedir. Bu tabakalar, düşük kırılma değeri sahiptir ve ana malzemeye, borlu tabakanın özelliklerini olumsuz yönde etkilemeden; borlama sonrası ısı işlemler uygulanabilir [3].

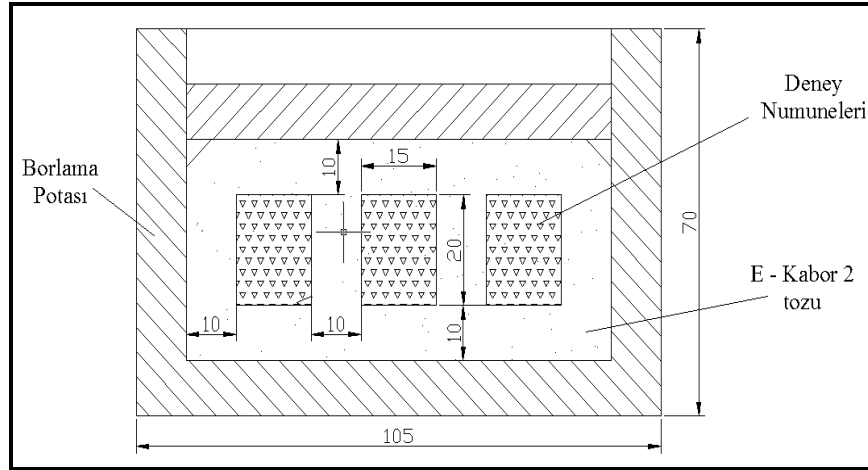
2. MATERYAL VE METOD

Biz bu çalışmada amaca yönelik ayrıntılı bir çalışma yapabilmek için piyasadan kolay bulunabilen düşük ve yüksek karbonlu çelikler ile bir adet de alaşımlı çelik temin ettik. Tablo 1.'de çeliklerin kimyasal içerikleri görülmektedir. Üç farklı çelikten oluşan toplam 48 adet numune 2, 4, 6 ve 8 saatlik sürelerle borladık. Ayrıca yine bu üç farklı çelikten oluşan toplam 3 adet numune ise alevle yüzey sertleştirme işlemine tabi tuttuk.

Tablo 1. Çelik Malzemelerin Kimyasal Bileşimi

MALZEME	% C	% Si	% Mn	P<	S<	Cr	Mo	Ni
AISI 4140	0,38 0,45	0,15 0,40	0,50 0,80	0,035	0,035	0,90 1,20	0,15 0,30	—
AISI 1020	0,18 0,25	0,15 0,35	0,30 0,60	0,035	0,035	—	—	—
AISI 1060	0,55 0,64	0,10 0,30	0,60 0,90	0,040 ençok	0,050 ençok	—	—	—

AISI 1020, AISI 1060 ve AISI 4140 çeliklerinde borlamanın yüzey sertliğine etkisi, borun karbonla olan ilişkisi ve borlama ile yapılan yüzey sertleştirmenin alevle yapılan yüzey sertleştirmeye üstünlüklerinin belirlenmesi için farklı sıcaklık ve zaman parametreleri için 3 'er adet numune hazırlandı. Bu numuneler değişik sıcaklık ve sürelerde borlama işlemine tabi tutulmuş, kıyaslamalar için gerekli 1 'er adedi de borlama veya alevle sertleştirme yapılmadan gerekli ölçümlere tabi tutuldu. Şekil 2' de borlama işleminde numunelerin fırına girecek şekilde bir pota içerisindeki yerleşimi görülmektedir.



Şekil 2. Borlama işleminde kullanılan potanın ve numunelerin pota içerisindeki yerleşiminin dikey kesit görünüşü.

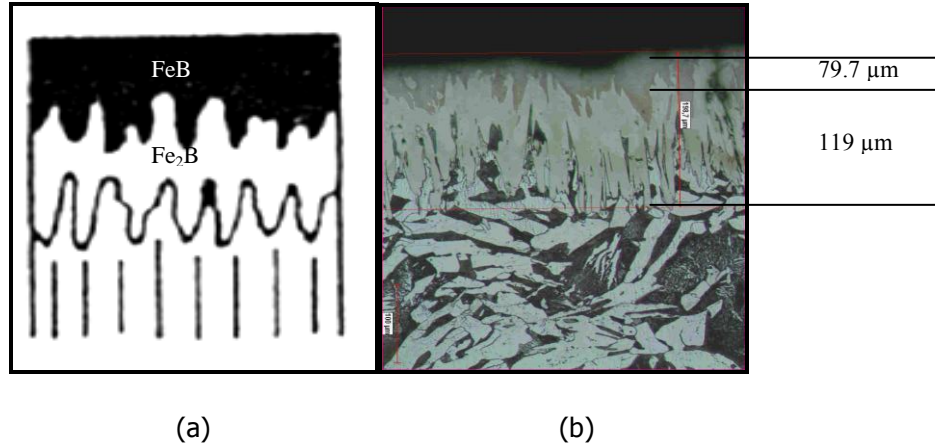
3. DENEYSEL BULGULAR

Tablo 2. 'de AISI 1020, AISI 1060 ve AISI 4140 çeliklerinin değişik zaman ve sıcaklık parametrelerine göre borlanması sonucunda meydana gelen FeB, Fe₂B ve Fe₂B + FeB fazlarının derinlikleri ve nasıl bir geometriye sahip oldukları hakkında bilgi verilmiştir.

Tablo 2. Borlama sonucu oluşan fazların derinlikleri ve FeB fazının oluşum biçiminin yorumu.

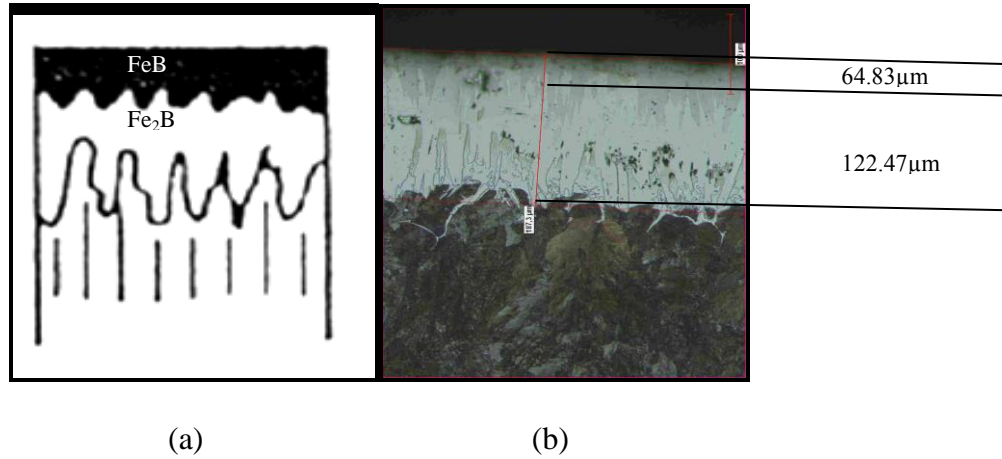
NUMUNE CİNSİ	SICAKLIK (°C)	ZAMAN (SAAT)	OLUŞAN FAZLARIN DERİNLİĞİ (μm)			FeB FAZININ GÖRÜNÜMÜ
			Fe ₂ B (μm)	FeB (μm)	Fe ₂ B + FeB (μm)	
AISI 1020	840	8	95,7	15,9	111,6	Birleşik dişli yapıdan yeni oluşan kolonsal yapıya geçiş.
	880	8	99,6	20,2	119,8	Uçları sivri form almış kolonsal yapı görünümü.
	920	8	119	79,7	198,7	Uçları çok sivri fakat dipte birleşik üçgenimsi dişlenmeler görülmüştür.
	960	2	24,85	YOK	24,85	Yok
	960	4	64,1	YOK	64,1	Yok
	960	6	112,7	28,9	141,6	Çok çok seyrek aynı zamanda ince uzun formda dişli oluşum.
	960	8	149	62,2	211,2	Daha sivri formda üçgenimsi dişli yapı.
AISI 1060	840	8	80,01	16,17	99,18	Çok seyrek geniş dişli yapı.
	880	8	77,26	46,64	123,9	Sık dişli yapıdan kolonsal yapıya geçiş.
	920	8	122,47	64,83	187,3	Kolonsal yapı oluşmuş ve daha sık dişli yapı vardır.
	960	2	21,67	YOK	21,67	Yok
	960	4	57,06	YOK	57,06	Yok
	960	6	98,8	62,8	161,6	İnce uzun geometride ve seyrek dişli yapı oluşmuştur.
	960	8	157,7	46,03	204	Sık dişli tam kolonsal yapı oluşmuştur.
AISI 4140	840	8	76,71	7,23	83,94	Seyrek dişli yapı oluşmuştur.
	880	8	99,75	14,25	114	Sık dişli kolonsala yakın yapı oluşmuştur.
	920	8	126,42	29,27	155,69	Kolonsal yapı görünümünü almıştır.
	960	2	21,67	YOK	21,67	Yok.
	960	4	59,81	YOK	59,81	Yok.
	960	6	88,38	45,61	134	Daha sık dişli kolonsal yapı oluşmuştur.
	960	8	138,22	65,48	203,7	Daha da sık dişli kolonsal yapıdan uçları düz geometriye sahip yapıya geçiş görülmüştür.

Tablo 2. 'de görüldüğü gibi tıpkı daha önceki çalışmalarda olduğu gibi 2 ve 4 saatlik zaman dilimlerinde FeB fazının oluştuğu görülmemiştir. FeB fazının oluştuğu parametrelerin yüksek sıcaklık ve zaman dilimlerinde ortaya çıktığı belirlenmiştir. Çelik içerisinde alaşım elementi oranının fazla olması, bor tabakası bölgesinin dişli kolonsal yapıdan ziyade yüzeyden içe doğru oluşan tabakada uçları düz forma yakın olan bor tabakası oluşumuna neden olduğu görülmüştür.



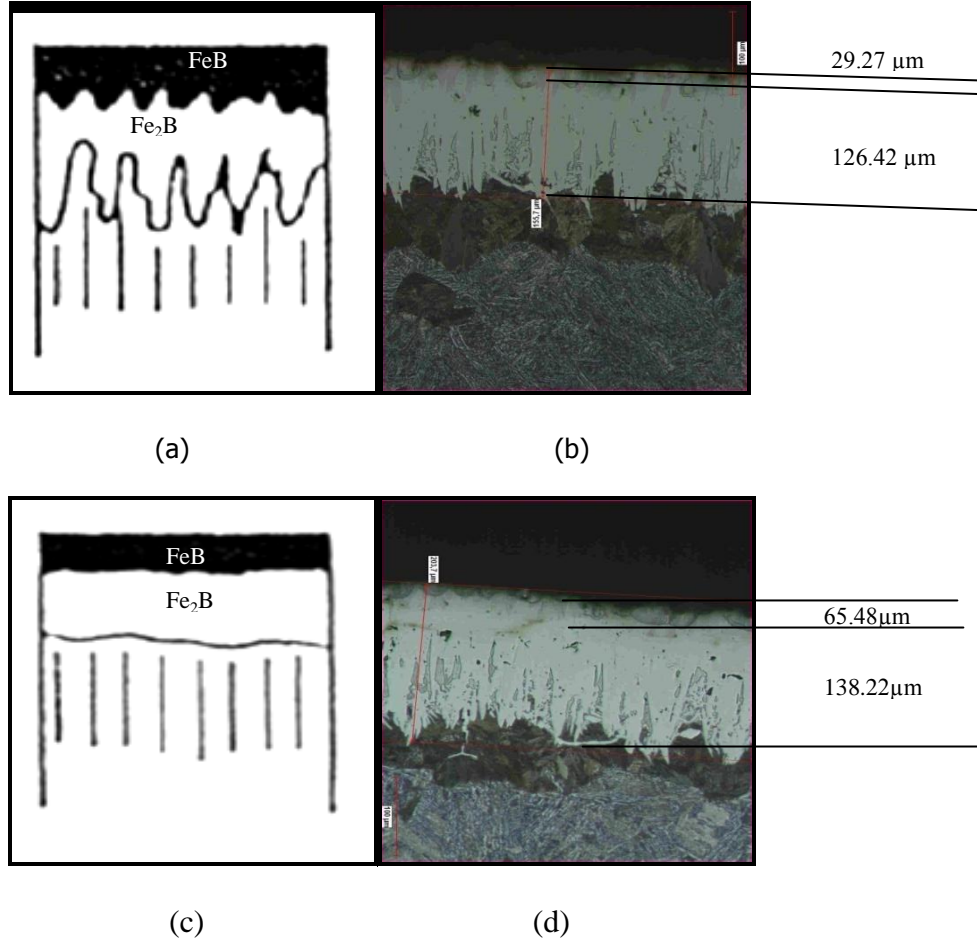
Şekil 3. AISI 1020 çeliği için 920 °C ve 8 saatlik metalografik inceleme sonuçları.

Şekil 3. (a) 'da AISI 1020 çeliğinin 920 °C ve 8 saatlik borlama işlemi sonrasında oluşan iki fazlı (Fe_2B ve FeB) teorik iç yapı fotoğrafı görülmektedir [1]. (b) 'de ise aynı şartlarda borlanmış AISI 1020 çeliğine ait gerçek iki fazlı (Fe_2B ve FeB) iç yapı fotoğrafı görülmektedir. Elde ettiğimiz iç yapı fotoğraflarının literatürde önceden belirtilmiş iç yapı fotoğrafları ile uyum sağladığı görülmektedir.



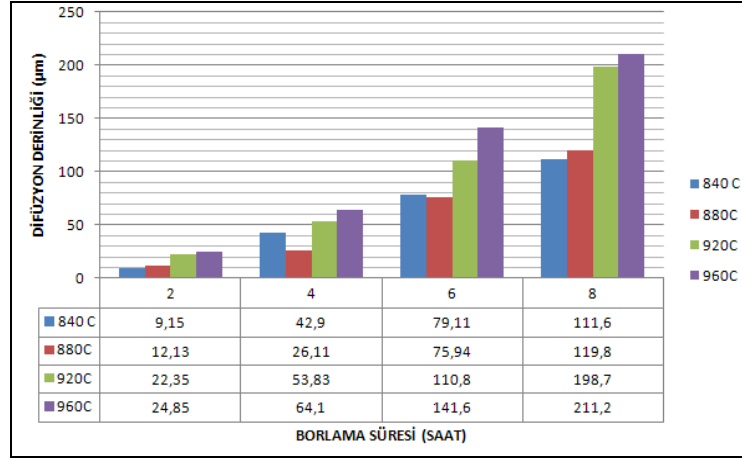
Şekil 4. AISI 1060 çeliği için 920 °C ve 8 saatlik metalografik inceleme sonuçları.

Şekil 4. (a) 'da AISI 1060 çeliğinin 920 °C ve 8 saatlik borlama işlemi sonrasında oluşan iki fazlı tabaka, daha ince bir FeB tabakasının teorik iç yapı fotoğrafı görülmektedir [1]. (b) 'de aynı şartlarda borlanmış AISI 1060 çeliğine ait gerçek iki fazlı tabaka, daha ince bir FeB tabakasının iç yapı fotoğrafı görülmektedir. Elde ettiğimiz iç yapı fotoğraflarının literatürde önceden belirtilmiş iç yapı fotoğrafları ile uyum sağladığı görülmektedir.



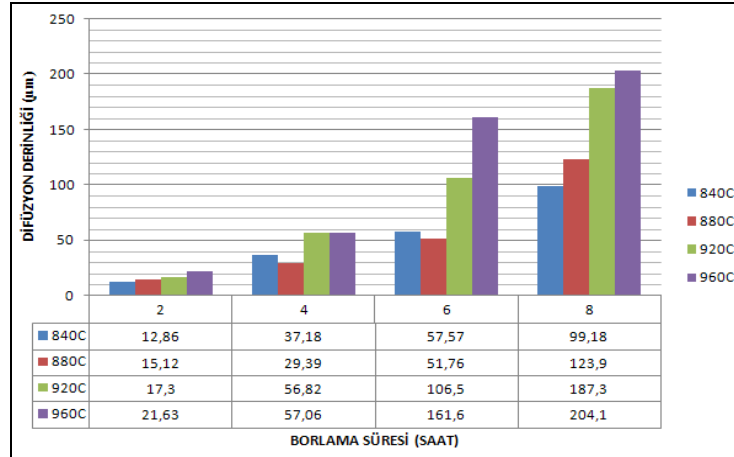
Şekil 5. AISI 4140 çeliği için 920 °C - 960 °C de ve 8 saatlik metalografik inceleme sonuçları.

Şekil 5. (a) 'da 920 °C ve 8 saatlik borlama işlemi sonrasında oluşan iki fazlı tabaka ve ince bir FeB tabakasının teorik iç yapı fotoğrafı görülmektedir [1]. (b) 'de ise 920 °C 'de borlanmış AISI 4140 çeliğine ait gerçek iki fazlı tabaka ve ince bir FeB tabakasının iç yapı fotoğrafı görülmektedir. Elde ettiğimiz iç yapı fotoğraflarından da görüleceği gibi FeB fazı karbonlu çeliklerde oluşan faza göre daha da incelmış durumdadır. Şekil 5. (c) 'de 960 °C ve 8 saatlik borlama işlemi sonrasında oluşan iki fazlı tabaka ve daha kalın ve düz yapıda bir FeB tabakasının teorik iç yapı fotoğrafı görülmektedir [1]. Şekil 5. (d) 'de ise 960 °C 'de borlanmış AISI 4140 çeliğine ait gerçek iki fazlı tabaka kalın ve düz bir FeB tabakasının iç yapı fotoğrafı görülmektedir. Bu şartlarda borladığımız AISI 4140 çeliğinde kolonsal dişli yapı yerini düzlemsel yapıya bırakmıştır. Sebebi AISI 4140 çeliğinin içindeki alaşım elementlerinin kolonsal yapıya izin vermemeleridir.



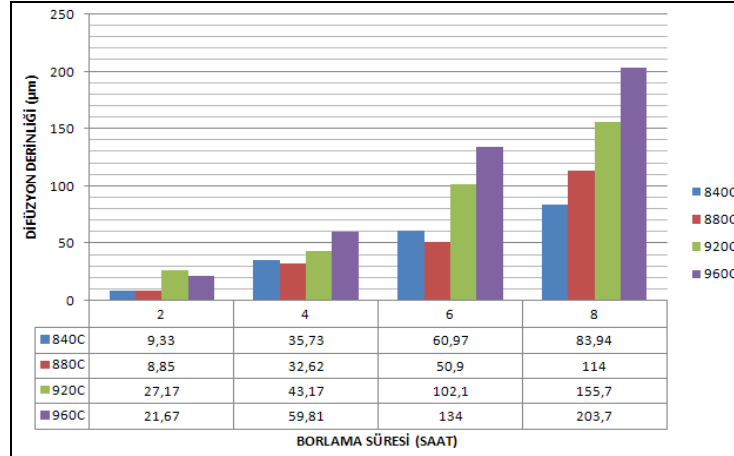
Şekil 6. AISI 1020 deney numunesinin bor difüzyon derinliği grafiği.

Şekil 6. 'da görülen grafikte AISI 1020 deney numunesi için, 6 ve 8 saatlik borlama sürelerinde 840 ile 880 °C, 920 ile de 960 °C 'de borlanan numunelerde birbirine yakın difüzyon derinlikleri oluştuğu görülmüştür. Ayrıca 960 °C 'nin her zaman diliminde diğer sıcaklık koşullarına göre daha derin difüzyon katmanı oluştuğu görülmüş, bu durumun daha önceki çalışmalarda elde edilen sonuçlarla örtüşen bir durum olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak sıcaklık yükseldikçe ve Borlama süresi arttıkça, difüzyon derinliği (Borür tabakası kalınlığı) artmaktadır.



Şekil 7. AISI 1060 deney numunesinin bor difüzyon derinliği grafiği.

Şekil 7. 'de görülen grafikte AISI 1060 deney numunesi için düşük sıcaklık ve düşük zaman değerlerinin bor difüzyon derinliklerinin birbirlerine oldukça yakın olduğu net bir şekilde görülmektedir. Ayrıca 4 saatlik borlama süresi sonunda oluşan difüzyon derinliği değerleri ile 6 saatlik borlama süresi sonunda oluşan difüzyon derinliği değerleri arasında neredeyse 2 kat fark olduğu görülmektedir. Sonuç olarak sıcaklık yükseldikçe ve Borlama süresi arttıkça, difüzyon derinliği (Borür tabakası kalınlığı) artmaktadır.



Şekil 8. AISI 4140 deney numunesinin bor difüzyon derinliği grafiği.

Şekil 8. 'de görülen grafikte; AISI 4140 çeliği deney numunesi için de tıpkı AISI 1060 çeliğinde görülen düşük sıcaklık ve zaman parametrelerinde yapılan borlamada difüzyon derinliklerinin birbirlerine oldukça yakın olduğu durumu net bir şekilde görülmüştür. Ayrıca 4 farklı zaman ve sıcaklık parametrelerine bağlı yapılan borlama neticesinde bor difüzyon derinliğinin belli bir düzgünlükte arttığı görülmüştür. Sonuç olarak sıcaklık yükseldikçe ve Borlama süresi arttıkça, difüzyon derinliği (Borür tabakası kalınlığı) artmaktadır.

4. SONUÇLAR

1. Herhangi bir yüzey işlemi uygulanmamış, normalize edilmiş halde bulunan deney numunelerinde AISI 4140 çeliğinin sertliği 226 HV, AISI 1020 çeliğinin sertliği 200 HV ve AISI 1060 çeliğinin sertliği ise 280 HV'dir.
2. Borlanmış çelikler birbirleri ile bor tabakaları kalınlığı açısından kıyaslandığında AISI 1020 çeliği diğer çeliklere göre, daha büyük boyut değişimi oluşturmaktadır. Bu verileri AISI 1060 ve AISI 4140 takip etmektedir. AISI 1020 çeliğinin diğer çeliklerden daha fazla boyut değişimine sahip olabilmesi alaşım yapısı ve daha az (C) oranına sahip olmasından kaynaklanmaktadır. AISI 1060 çeliğinde alaşım çeliklerden sayılsa da, 1020 çeliğine oranla neredeyse 3 kat (C) oranına sahip olması nedeniyle, borun çelik içine difüzyonu zorlaşmaktadır. AISI 4140 çeliğinin bor gelişimini olumsuz etkileyen ise yapısındaki alaşım elementlerinin çokluğudur.
3. Tüm çelik numuneleri için Bor tabaka kalınlığı, süre artışı ile yükseliş göstermektedir. En düşük bor tabakası 2 saatlik borlamada, en geniş bor tabakası ise 8 saatlik borlamada meydana gelmektedir.
4. 8 saatlik borlanmış numuneler, 2 saatlik borlanmış numunelerden daha geniş bor tabakası oluşturduğundan dolayı, 8 saatlik numuneler – 2 saatliklere oranla ana malzemenin içine doğru daha yüksek mikrosertlikler göstermektedir. Mesafeler karşılaştırıldığında ise AISI 1020 çeliklerinin, AISI 1060 çeliğine ve AISI 4140 çeliğine karşı daha derin mesafelere dek mikro sertlik yüksekliğini koruduğu görülmektedir.
5. Borlanan üç farklı çelik numunede de sertlik, en dış yüzeyden matrise doğru gidildikçe azalma göstermektedir. Bor difüzyonunun bor yapmadığı kısımdan itibaren de matrisin sertliğine düşmüştür. En yüksek sertlik değerleri borürlerin bulunduğu kolonlarda ölçülmüştür.

5. KAYNAKÇA

- [1] MATUSCHKA, A.G.V., "Boronizing", München, Wien, Hanser, (1980).
- [2] BİNDAL C., ÜÇİŞİK A. H., Surface Coating Technology., 208-213, (1999).
- [3] ŞAHİN S., "Effects of boronizing process on the surface roughness and dimensions of AISI 1020, AISI 1040, and AISI 2714", **Journal of Materials Processing Technology.**, Vol 208, 1736-1741, (2009)
- [4] BAŞTÜRK S. ve ERTEN M., "Borlama ile Yüzey Sertleştirme Çalışmaları.", **Mühendis ve Makina**, Cilt 47, Sayı 563, (2006).
- [5] MERİC C., ŞAHİN S. and YILMAZ S., "Investigation of the effect on boride ıcyer of powder particle size used in boronizing with solid boron-yielding substances.", **Metarial Bulletin 35**, 2165-2172, (2000).