

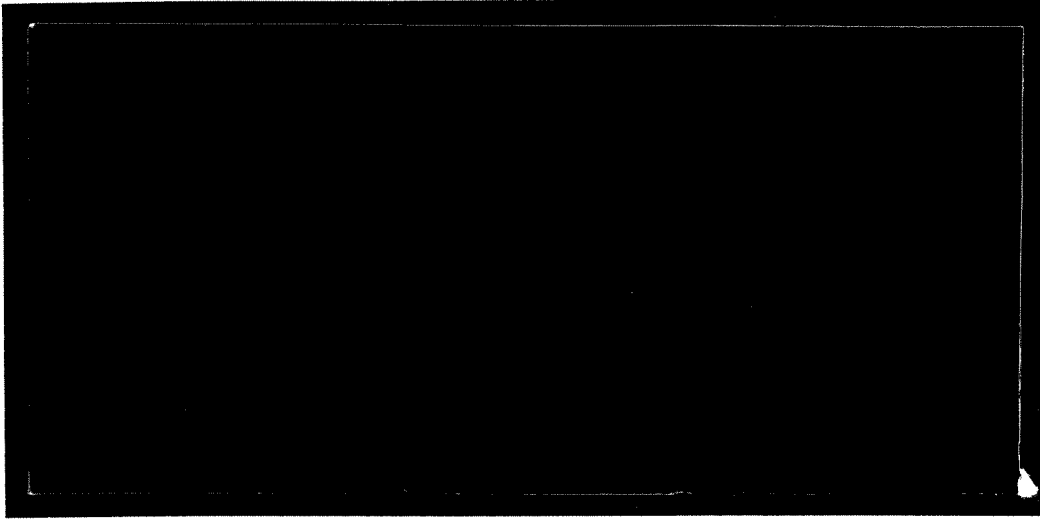
DUP

1996-2210



TÜRKİYE BİLİMSEL VE  
TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL  
RESEARCH COUNCIL OF TURKEY



**Makina, Kimyasal Teknolojiler, Malzeme ve İmalat Sistemleri  
Araştırma Grubu**

**Mechanical Engineering, Chemical Technologies, Material  
Sciences and Manufacturing Systems Research Grant  
Committee**

MAG-806 MiSAG-6  
X210 CR12 TAKIM GELİĞİNİN  
TUZ BANYOSUNDA BORLANMASI  
PROF. DR. MEHMET YÜKSEL

69.14:669.018.25 669.14:669.018.25  
Y 94 X Y94 X

MFN: 2210

X210Cr12 (1.2080) TAKIM ÇELİĞİNİN TUZ BANYOSUNDA BORLANMASI\*

Prof.Dr. Mehmet YÜKSEL\*\*

Doç.Dr. Ahmet Çetin CAN\*\*

Mak. Yük. Müh. Yılmaz ÖZMEN\*\*

ÖZET

Borlama termokimyasal bir ısıl işlem olup, karbürleme ve nitrürlemeye benzer. Bor elementinin çeliğe yayılımı esnasında demirborür fazları (FeB, Fe<sub>2</sub>B) teşekkül eder. Bu fazların çok değişik özellikleri vardır. Bu özellikler sayesinde sürtünme, oksidasyon gibi zor şartlar altında çalışan makina parçalarında borlama işlemi faydalı bir şekilde kullanılabilir.

Borlamanın yapılabilmesi için pek çok metodlar mevcuttur. Bunlar; toz ortamda borlama, sıvı ortamda borlama, elektrolitik borlama, gaz ortamda borlama, plazma ile borlama vs. sayılabilir.

Bu çalışmada X210Cr12 (1.2080) soğuk iş takım çeliği sıvı ortamda borlanmış olup, dört farklı banyo muhtevası kullanılmıştır.

\* Bu proje (MAG 806) TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir

\*\* DEÜ- Denizli Mühendislik Fakültesi- DENİZLİ

## BORIDING OF X210Cr12 (1.2080) TOOL STEEL IN SALT BATH

Boriding is one method of thermochemical heat treatment analogous to nitriding and carburising. During the diffusion saturation of the surface of steel products with boron, iron borides are formed which possess very effective properties. These properties allow boriding process to be successfully applied to manufacture of working parts under some difficult conditions such as friction, oxidation, etc.

There are many boriding techniques such as boriding in powder mixture, electrolytic boriding, molten bath boriding, plasma boriding, etc.

In this study, X210Cr12 (1.2080) cold work tool steel was borided in a liquid medium, and four different bath contents were used.

### 1. GİRİŞ

X210Cr12 soğuk iş takımçeliği genellikle kesme, derin çekme, kıvrırma vs. kalıplarının imalinde kullanılan bir takım çeliğidir. Toprak işleme kalıpları gibi aşınmanın önemli olduğu yerlerde kalıbın yüzey sertliğinin daha da yüksek olması istenir. Yüzey ve kabuk sertleştirme işlemleri ile

aşınma önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Borlama, yüzeyde oluşan çok sert (1700 -2200 VSD) ve kararlı fazlardan ötürü, diğer yüzey işlemleri içinde dikkate değer bulunmaktadır [1]. Ancak borlama için kullanılan kimyasal maddelerin zor bulunabilmesi, fiyatlarının yüksek oluşu ve yüksek sıcaklık gerektirmesi borlamanın nitrürleme ve karbürleme kadar yaygın olarak uygulanmasını zorlaştırmaktadır.

Bu çalışmanın gayesi Türkiye'de bulunabilen ve ucuz temin etme imkanı olan kimyasal maddelerle borlama işlemini gerçekleştirmek ve uygulamaya yönelik yeni gelişmelere ön ayak olmaktır.

## 2. SIVI ORTAMDA BORLAMA

Bu metodda bor karbür ( $B_4C$ ), silisyum karbür ( $SiC$ ), boraks ( $Na_2B_4O_7$ ) vs. kimyasal maddelerden oluşan ergimiş sıvı banyoya borlanacak numuneler daldırılır. Borlama süresi 2-8 saat ve sıcaklık aralığı olarak 850-1100 °C seçilebilir. Neticede numune banyodan alınarak suda, havada veya yağda soğutulur. Bazı araştırmacıların kullandıkları banyo bileşenleri ve deney şartları Çizelge 1'de verilmiştir [2].

→ Çizelge 1

### 3. BORLAMA İLE OLUŞAN YAPININ ÖZELLİKLERİ

Çeliğin borlanması neticesinde en üst tabakada sırasıyla  $FeB_x$ ,  $FeB$  ve  $Fe_2B$  gibi çeşitli demirborürler oluşur [3]. Borür tabakalarının altında, bor atomlarının demir dokusunda katı eriyik olarak çözülmüş olduğu bir de "difüzyon tabakası" denen çözüldüğü ölçüde borca zenginleştirilmiş bir kesim mevcuttur.

Borür ve difüzyon tabakalarının altında, içinde bor bulunmayan iç doku gelir. Bu iç dokunun borlu tabakalara sınır kesiminin metalografik yapısı, daha derinlerdeki normal dokudan farklılıklar gösterir. Şöyle ki, çelikte bu durum zaten bulunan karbon gibi, sonradan verilen bor atomları da demir ile beraber arayer (interstisiyel) katı eriyiği oluştururlar. Demir kafesi her iki küçük atom türünü de yanyana aynı hücrede çözülmüş olarak kabul edemediği için dışarıdan göreceli olarak büyük bir potansiyelle yayınan bor atomları karbon atomlarını demir dokusunun iç kesimlerine doğru sürerler. İçerilere itilen karbon atomları demir kafesi içinde imkan verdiği ölçüde arayer katı eriyiği olarak çözünür ve fazlasıyla karbür fazları oluştururlar. Bu karbür tabakası borür tabakasından daha kalın olabilir [4].

Karbonca zorunlu olarak zenginleştirilmiş iç doku ile en

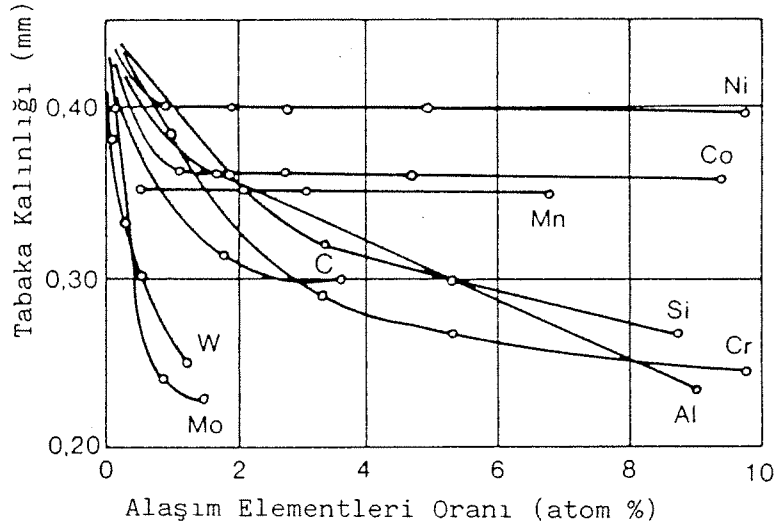
dıştaki borür kabuğu arasındaki difüzyon tabakası tamamen homojen sayılmaz. En derinlerde, borun en azından doyum noktasına kadar uzanan seyreltilikte katı eriyik bölgesi mevcuttur. Bu bölge ile demirborür kabuğu arasında, yani difüzyon tabakasının üst kısımlarında çelikteki alaşım elementlerine (Me: Çeliğin içindeki alaşım elementi) göre  $(Fe,Me)_2B$  ve  $(Fe,Me)B$  gibi çeşitli karma borürler oluşur [5].

Kabuğu oluşturan demirborürlerden borca en zengin olanı rombik veya ortorombik diye adlandırılan kafes sistemine sahip  $FeB$  dir.  $FeB$ 'nin içindeki bor oranı atom yüzdesi olarak %50 ile sınırlı değildir. Yani  $FeB$  kafesindeki bor oranı %50 den az da olabilir, çok da:  $FeB_x$ .

$FeB$ 'den borca daha fakir olan  $Fe_2B$  ise ortalama olarak %33 bor atomu içerir. Fakat bu demir borürün de kafesinde (tetragonal) ideal stökiyometri dışında daha az veya daha çok bor bulunabilir. Bütün demirborürlerde atomlararası bağ çeşidi, çoğunluğu demir atomuna ait olan elektronların ortak kullanımı esasına dayalı kovalent bağdır [6]. Dolayısıyla sert ve gevrek bir yapıya sahiptirler. Difüzyon tabakasına doğru iğnemi bağlanma şekli az veya çok uzunluktaki köklerle olur. Köklerin az veya çok tırtıllı oluşu ile kabuğun  $FeB$  mi veyahut da  $FeB+Fe_2B$  mi olacağı çeliğin alaşım elementlerine ve borlama banyosununun terkimine bağlıdır. Alaşım elementleri

orani arttıkça tırtıllı kök sayısa da azalır.

Tabaka kalınlığına borlama süresi yanında, önemli ölçüde alaşım elementlerinin cinsi ve oranı etki eder, Şekil 1.



Şekil 1. Çeliklerde alaşım oranına bağlı olarak oluşan borür tabakası kalınlığı [7].

#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

##### 4.1 Kimyasal Analiz

20 mm çapındaki aynı çubuk malzemedен kesilerek yapılmış olan çelik numunelerin standart kısa gösterilişi TS 3921 'e göre X210Cr12 ve malzeme numarası ise 1.2080 dir.

Denizli'de büyük bir dökümhanede [8] yaptırılan kimyasal



analizde çizelge 2 deki değerler bulunmuştur. Bulunan analiz değerleri hem TS 3921 ve hem de DIN 17350 standartlarında bu çelik için verilen kimyasal içerik sınırları içindedir.

→ Çizelge 2.

#### 4.2 Borlama Deneyi

X210Cr12 soğuk iş takım çeliğinin borlanması için farklı kompozisyonda dört banyo oluşturuldu. Banyo içerikleri Çizelge 3 'de verilmiştir. Kullanılan kimyasal maddelerden borkarbür ( $B_4C$ ) ithaldir ve pahalıdır. Diğer kimyasal maddeler normal denebilecek fiyatlarda bulunabilmektedir. Banyonun hazırlanması aşağıdaki gibi yapılmıştır:

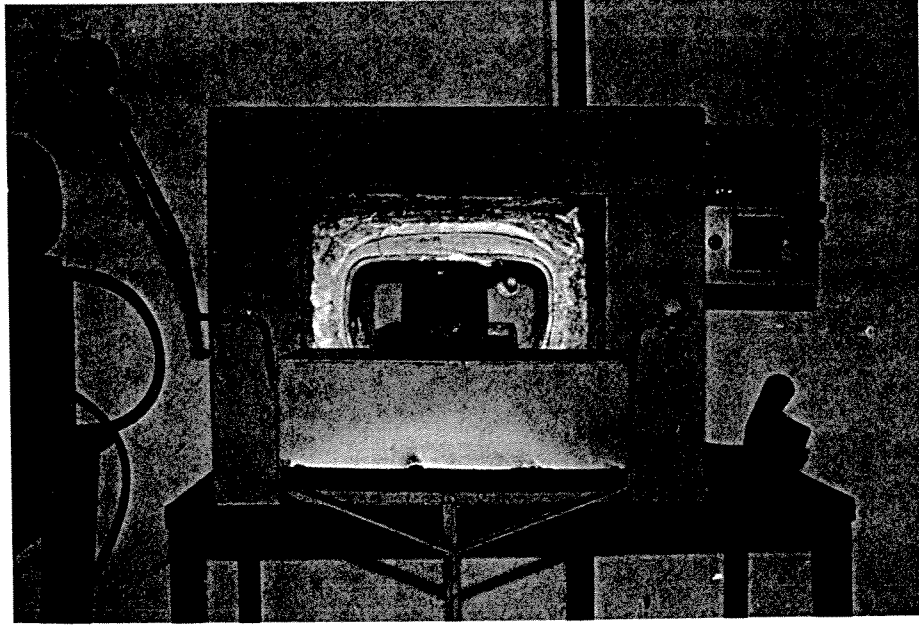
→ Çizelge 3.

- Boraks elektrikli kutu tipi fırında (Şekil 2) 300 °C de 1 saat, daha sonra 600 °C de 3 saat bekletilerek kurtuldu.

- Borikasit ( $H_3BO_3$ ) 130 °C de 3,5 saat, daha sonra 400 °C de 1 saat bekletilerek kalsine edildi ve  $B_2O_3$  elde edildi.

- Pota olarak başlangıçta seramik pota kullanıldı, ancak ergimiş sıvı katılaşıırken potalar çatlamıştır. Daha sonraki deneylerde grafit pota kullanılmış fakat pota yandığı için kullanışlı olmamıştır. Bunlardan dolayı Fe37-2'den imal edilen  $\varnothing 85 \times 70$  mm ölçülerinde çelik pota kullanıldı.

- Borlama işlemi  $980 \pm 10$  °C de 5 saat sürede yapıldı. 4 nolu banyoda iki numune borlandı, biri havada diğeri yağda sertleştirildi.



Şekil 2. Borlama için kullanılan kutu tipi elektrikli fırın.

Borlama banyolarının hepsi macunumsu kıvamda olmuştur. Buharlaştırmanın önlenmesi için banyonun üzeri toz grafit ile örtülmüştür. Deneyde kullanılan çelik numune  $\varnothing 20 \times 20$  mm ebatlarındadır. Hazırlanan 5 adet numune ile ilgili açıklama Çizelge 4'de verilmiştir.

→ Çizelge 4

#### 4.3 Metalografi Deneyi

Numuneler borlandıktan sonra metalografik kesit hazırlamak amacıyla alından taşlandı, son taşlama işlemi olarak 500 numara zımpara ile yaş olarak işlem gördü. Sert yapılı bir çelik olmasından dolayı taşlama akabinde yapılan parlatma işlemi kademeli olarak önce 6  $\mu\text{m}$ , daha sonra 3  $\mu\text{m}$  ve son

olarakda 1  $\mu\text{m}$  tane büyüklüğündeki korund ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) tozları ile yaş parlatıldı. Borlanmış olan kenar kısımlarının düz kalmasına, parlatma esnasında yuvarlatılmamasına özellikle dikkat edildi.

Parlatmadan sonra  $\% \text{HNO}_3$  + Metilalkol terkihiyle ön dağlama yapıldı. Son dağlama olarak Villela-Çözeltisi ( $\%20 \text{HNO}_3$  +  $\%40 \text{HCl}$  +  $\%40$  Gliserin) kullanıldı.

Metalografik incelemeler VEB Carl Zeiss Jena firmasının Jenapol-U tipi ve Leitz firmasının Aristomet tipi mikroskoplarında yapılmıştır. Metalografik iç yapı fotoğrafları Leitz- Aristomet mikroskobunda çekilmiştir.

Borür tabakaları metal mikroskobu altında incelendiğinde tabaka kalınlığının yaklaşık bütün numunelerde 60-100  $\mu\text{m}$  olduğu görülmektedir (Şekil 3-7). Borür tabakası, açık renkli faz olarak martenzit anadokunun üzerinde belirgin olarak izlenebilmektedir. Oluşan borürler genellikle  $\text{Fe}_2\text{B}$  türündendir. Bazı kesimlerinde, bilhassa Şekil 6c deki büyütmede görüldüğü gibi, açık renkli  $\text{Fe}_2\text{B}$  tabakasının içinde daha koyuca renkte  $\text{FeB}$  fazı da bulunmaktadır.

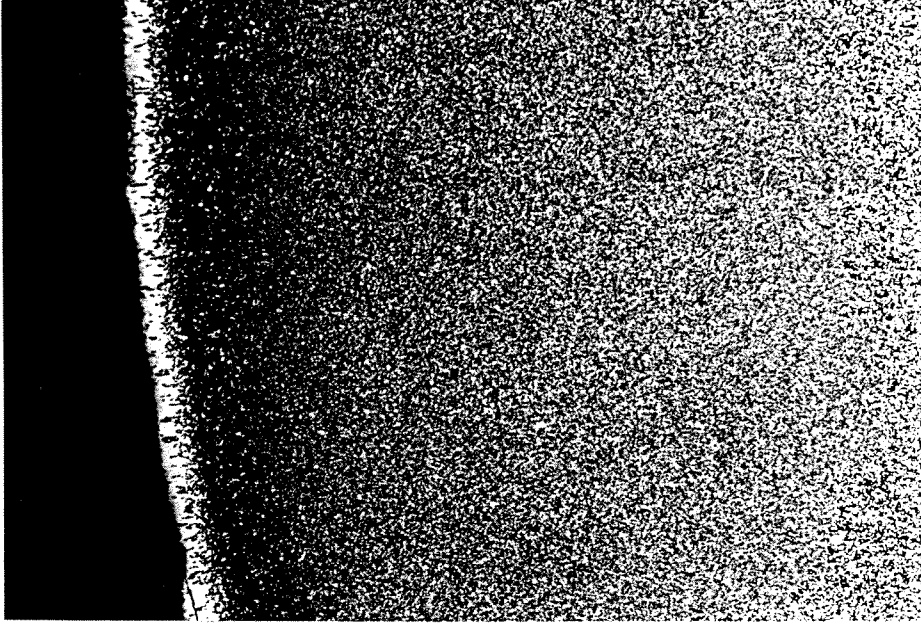
Şekil 7 de görülen 5 nolu numuneye ait iç yapıda, açık renkli borür kalınlığıyla iyi bir tezat teşkil eden martenzit

dokusunun olmaması nedeniyle bilhassa Şekil 7b deki 200:1 büyütmede borür tabakasını fotoğrafla ayırt etmek güçleşiyor. Fakat mikroskopla direkt numune üzerindeki gözlemde kabuk tabakasını, ana dokuya yakın beyazlıkta olmasına rağmen her büyütmede görmek mümkün olmuştur. Bu fotoğrafın özelliği, kabuk tabakasından ziyade, ki Şekil 7a daki 50:1 büyütmede o da iyi görünüyor, kromkarbürlerle bezenmiş olan 1.2080 çeliğinin ana dokusunun iyi bir şekilde görünür oluşudur.

%12 Cr içeren ve yüksek sıcaklıkta uzunca süre tavllanmış olan bu çeliğin dokusunda  $\sigma$  fazının da oluşmuş olacağını ve dış görünüm olarak bu intermetalik fazın kromkarbürlerden zor ayırd edilebileceğini de dikkate almak gerekir.

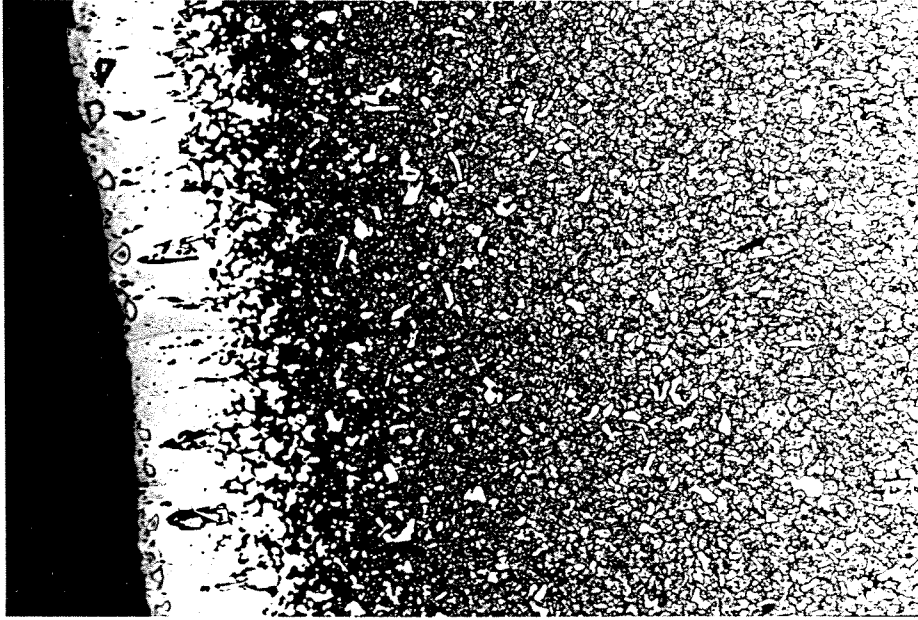
#### 4.4 Mikro Sertlik Deneyi

Numuneler üzerinde yapılan mikro sertlik ölçümleri 0,25 N' luk kuvvet ile ölçülmüştür. Ölçümler daha çok Denizli Mühendislik Fakültesindeki Jenapol-U metal mikroskobuyla yapılmıştır. Kontrol için aynı ölçümler Hannover Üniversitesi Takım Tezgahları Enstitüsü Metalografi laboratuvarında da tekrarlanmıştır. Çıkan sayısal sertlik değerleri toplu olarak Çizelge 5'de ve diyagram olarak da Şekil 8'de verilmektedir.



100 μm

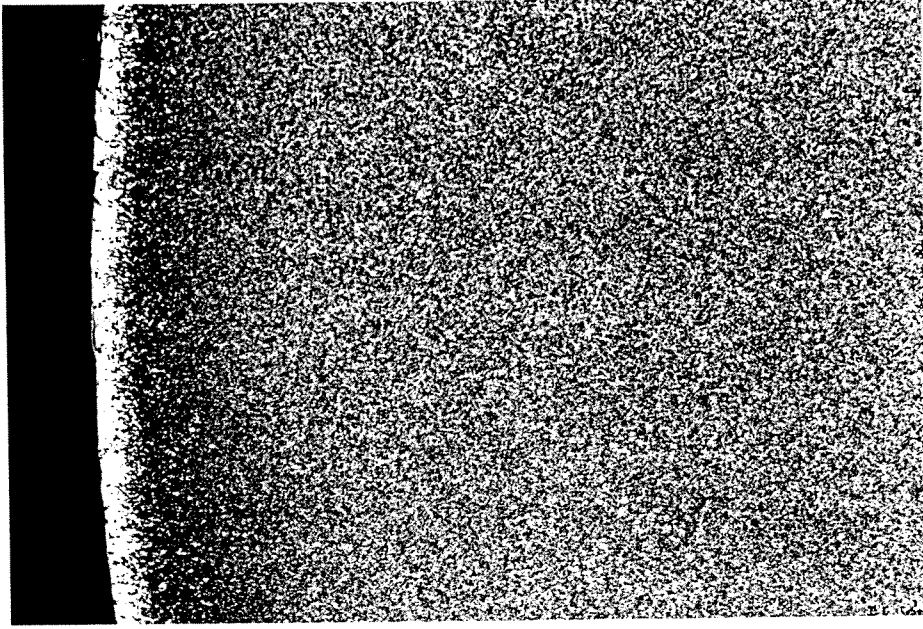
a



100 μm

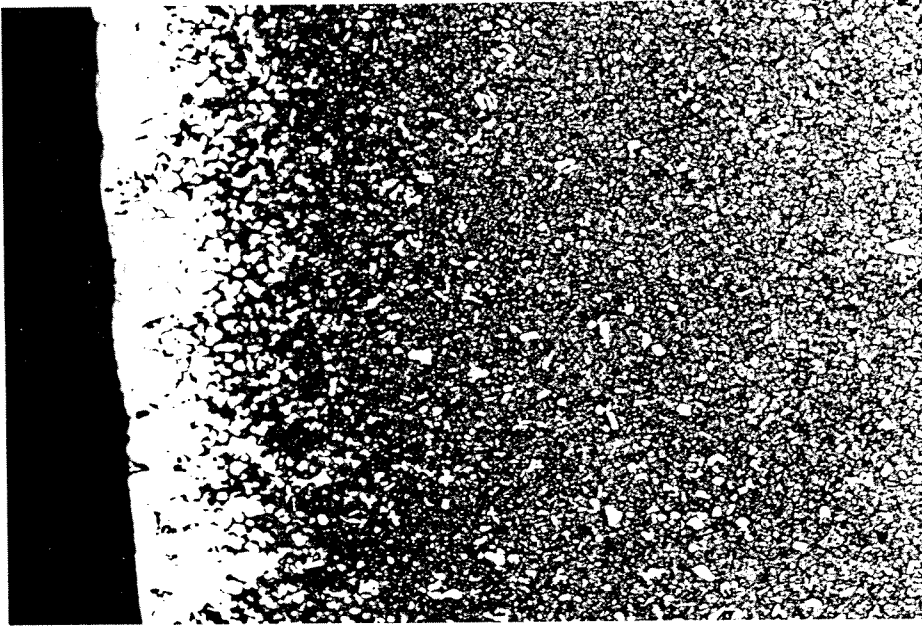
b

Şekil 3. 1 nolu banyoda, 980 °C de 5 saat borlanmış ve yağda sertleştirilmiş 1.2080 çeliğinin mikro yapısı (numune no 1).



100  $\mu\text{m}$

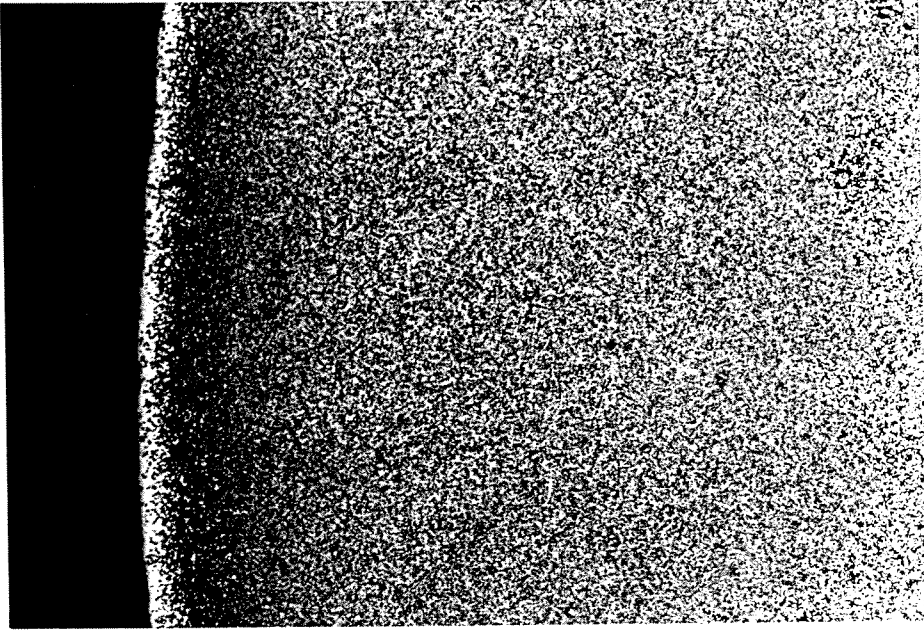
a



100  $\mu\text{m}$

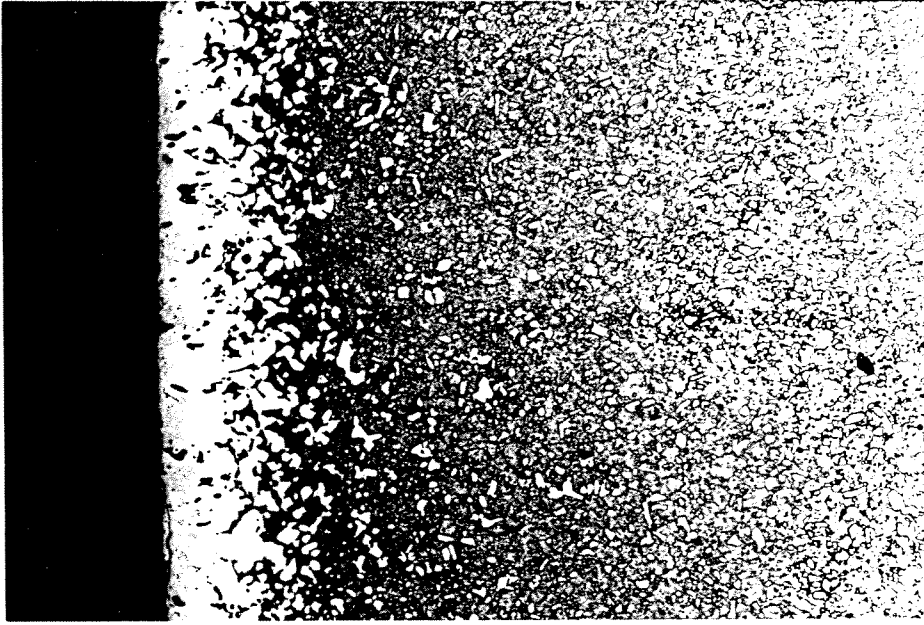
b

Şekil 4. 2 nolu banyoda, 980 °C de 5 saat borlanmış ve yağda sertleştirilmiş 1.2080 çeliğinin mikro yapısı (numune no 2).



100 μm

a

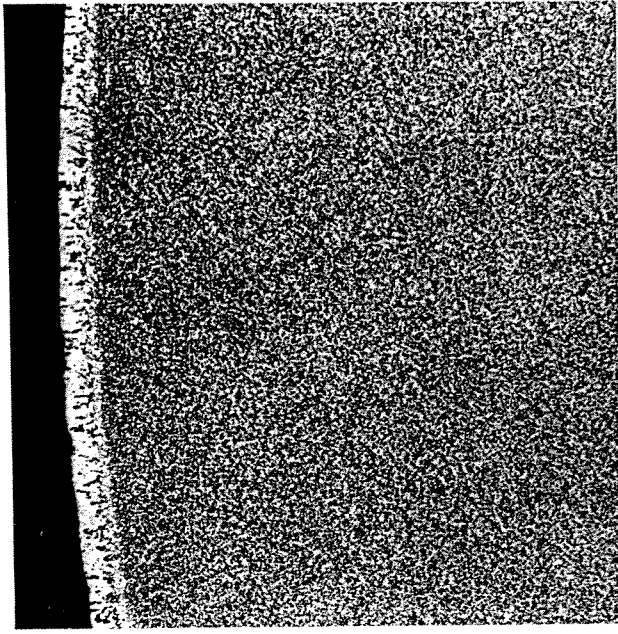


100 μm

b

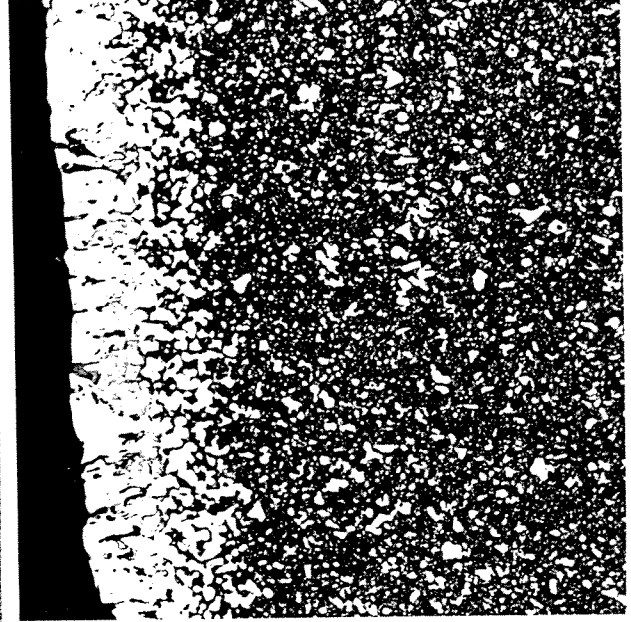
Şekil 5. 3 nolu banyoda, 980 °C de 5 saat borlanmış ve yağda sertleştirilmiş 1.2080 çeliğinin mikro yapısı (numune no 3).





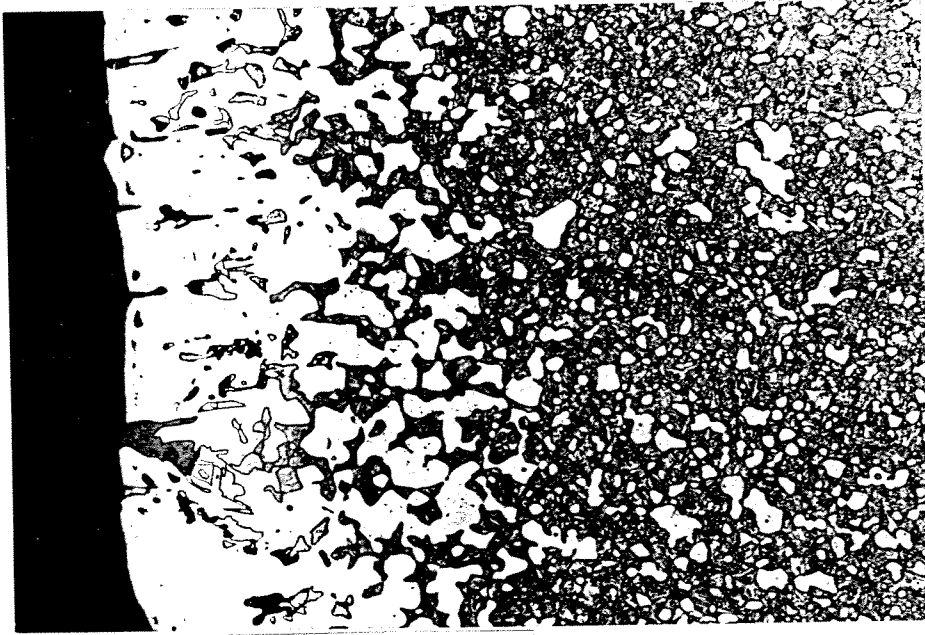
100 μm

a



100 μm

b

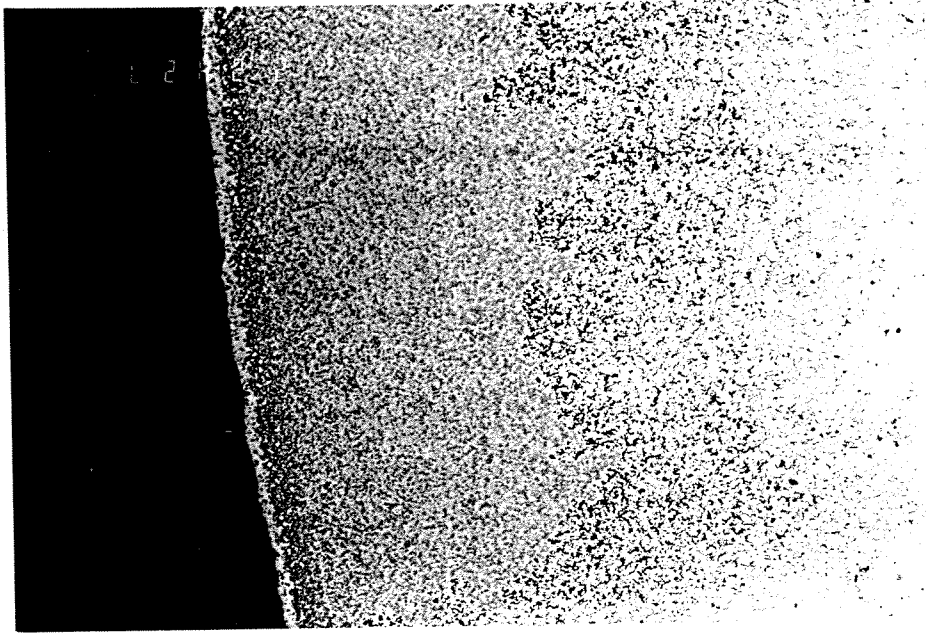


100 μm

c

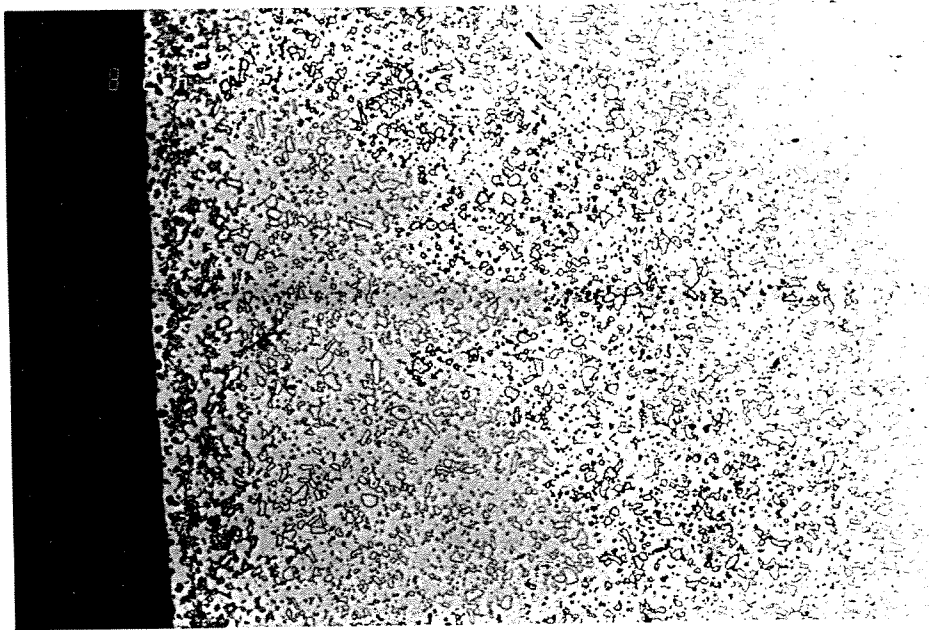
Şekil 6. 4 nolu banyoda, 980 °C de 5 saat borlanmış ve yağda sertleştirilmiş 1.2080 çeliğinin mikro yapısı (numune no 4).





100 μm

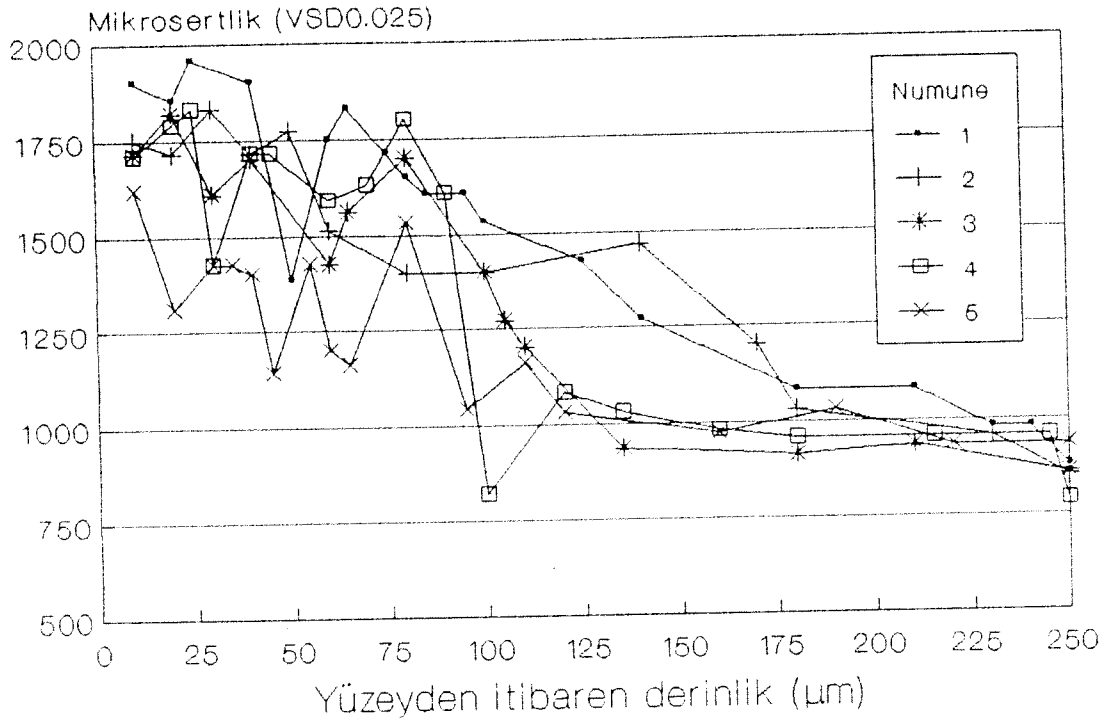
a



100 μm

b

Şekil 7. 4 nolu banyoda, 980 °C de 5 saat borlanmış ve havada sertleştirilmiş 1.2080 çeliğinin mikro yapısı (numune no 5).



Şekil 8. Borlanmış numunenin mikro sertlik değerleri.

→ Çizelge 5.

Bilhassa diyagramdan açık olarak görüldüğü gibi, borür kabuğunun oluşumuna ve faz kompozisyonuna bağlı olarak mikro sertlik değerleri en çok 1620-1900 VSD0,025 arasında değişmektedir. Martenzit yapının genelde 900-950 VSD0,025 olabileceği düşünülürse, bu deneyler sonucu oluşturulan borür kabuğunun önemli bir sertlik artışı sağladığı ve beklenen borür sertliklerine ulaşıldığı anlaşılır.

Mikro sertlik değerleri ile, metalografik incelemeden daha objektif olarak borür tabakası kalınlığını irdelemek mümkün olabilmektedir. Metalografik kesitlerde 100 µm civarında gözlenen borür kabuğunu burada 150-175 µm değerlerine

ulaşdığı, fakat bu fazların difüzyon kesiminden kaynaklandığı ve maksimum borür sertliği değerlerine ulaşmadığı da görölmektedir.

## 5. SONUÇLAR

-Sıvı ortamda borlama, hazırlanan dört banyoda yapılmıştır. Bor tabakaları şekil 3-7'deki mikro yapı fotoğraflarında açıkca görölmektedir.

- Yüzeydeki mikro sertlik değerleri 1600-2000VSD 0,025 arasında değişmektedir. Matriks sertliği 930-1000VSD 0,025 arasında ölçölmüştür.

- Borlanmış tabaka kalınlığı bütün numunelerde hemen hemen aynı olmuştur: 60-100  $\mu$ m.

-Türkiye'de ucuz bulunabilen SiC ve Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> bileşenli banyo ile hazır satılanlara yakın derecede borlama gerçekteştirilmiştir.

- SiC ve Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> bileşenli banyoda seyreltici olarak kalsine borik asit kullanıldığında banyonun kıvamı daha akıcı olmuş ve dolayısıyla daha kolay çalışılabilir hale gelmiştir.

## 6. KAYNAKLAR

1. ÖZMEN, Y.: "The Effect of Surface Hardening with Boriding on the Wear Resistance in X210Cr12 Steel", M.Sc. Thesis, DEÜ-Fen Bilimleri Enst., December 1991, İzmir, 88 S.
2. CAN, A.Ç., ÖZMEN, Y.: "Çeliklerin Sıvı Ortamda Borlanması", 6. Mühendislik Haftası, Akdeniz Üniversitesi, İsparta Mühendislik Fak., İsparta, 28 Mayıs-2 Haziran 1990.
3. DUKAREVICH, I.S., BALTER, M.A.: "The Effect of Silicon on the Microstructure and Phase Composition of the Boride Layer", Protective Coatings on Metals, Consultant Bureau, V.1, P.30-34, New York, 1966.
4. DUKAREVICH, I.S., MOZHAROV, M.V.: "A Radioactive Isotope Study of Carbon Redistribution in the Borided Layer", Protective Coatings on Metals, Consultant Bureau, V.4, P.31-33, New York, 1966.
5. BADINI, C. et.al.: "The Effect of Carbon, Chromium and Nickel on the Hardness of Borided Layers", Surface and Coating Technology, V.30, P.157-170, 1987.
6. QUING'EN, M., ZAICHI, C.: "Boronizing Process in Steel: Theory of Diffusion Channel Model of Boron Atoms", Metals Soc. (Book 310), P.3.8-3.12, London, 1983.
7. MATUSCHKA, G.V.: "Borieren", Beratungsstelle für Stahlverwendung, Merkblatt 446, 1979.
8. UYGAR MOTOR A.Ş., Kocabaş, DENİZLİ.

Çizelge 1. Borlama için uygulanmış farklı banyo bileşimleri

Sıcaklık [°C]	Zaman [h]	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> %	B <sub>4</sub> C %	SiC %	NaCl %	BaCl <sub>2</sub> %	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %
1000	5	60	40	-	-	-	-
930	5	10	-	-	45	45	-
600-1050	5	60	40	-	-	-	-
960	4-8	80-85	-	15-20	-	-	-
980	2-6	65	35	-	-	-	-
950	5	70	-	30	-	-	-
950	5	70	-	20	-	-	10
950	5	70	-	10	-	-	20

Çizelge 2. Numunelerin (X210Cr12) kimyasal analizi.

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Cu	%Mo	%Ni
2,2	0,252	0,247	0,025	0,0065	12,0	0,152	0,101	0,297

Çizelge 3. X210Cr12 Çeliğinin borlanması için kullanılan sıvı banyo kompozisyonları

Banyo No	İçerik
1	%30 SiC + %70 Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>
2	%2,5 B <sub>4</sub> C + %10 KBF <sub>4</sub> + %87,5 SiC
3	%40 B <sub>4</sub> C + %60 Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>
4	%10 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + %20 SiC + %70 Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>

Çizelge 4. Borlama deneyinde kullanılan numuneler ve özellikleri

Numune No	Numunenin borlandığı banyo	Sertleştirme ortamı
1	1(%30 SiC + %70 Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> )	yağ
2	2(%2,5 B <sub>4</sub> C + %10 KBF <sub>4</sub> + %87,5 SiC)	yağ
3	3(%40 B <sub>4</sub> C + %60 Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> )	yağ
4	4(%10 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + %20 SiC + %70 Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> )	yağ
5	4(%10 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + %20 SiC + %70 Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> )	hava



Çizelge 5. Borlanmış numunelerin mikro sertlik değerleri (VSD 0,025).

Yüzeyden İtibaren Derinlik ( $\mu\text{m}$ )	N u m u n e N o				
	1	2	3	4	5
10	1900	1750	1714	1710	1620
25	1960	1770	1715	1831	1368
50	1385	1772	1563	1653	1284
75	1715	1457	1630	1715	1347
100	1533	1400	1400	820	1035
125	1426	1435	1069	1057	1000
150	1178	1337	924	1005	986
175	1083	1030	913	957	954
200	1083	994	924	957	944
225	1032	994	897	957	934
250	880	850	860	970	934

537.622.6

B 554e

TÜRKİYE BİLİMSEL ve TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU  
MÜHENDİSLİK ARAŞTIRMA GRUBU

PROJE NO. : MAG-740

537.622.6  
B 554e

ELEKTROKİMYASAL FERRİT ÜRETİMİ

Proje Yürütücüsü : Prof. Dr. Oktay Beşkardeş  
Yardımcı Araştırmacı : Engin Özdaş

Kasım 1990  
ANKARA

6465

X210 Cr12 (1.2080) TAKIM ÇELİĞİNİN  
TUZ BANYOSUNDA BORLANMASI

PROJE NO : MİSAG-6 (MAG-806)

PROF.DR.MEHMET YÜKSEL  
DOÇ.DR.AHMET ÇETİN CAN  
MAK.YÜK.MÜH.YILMAZ ÖZMEN

EKİM 1991  
DENİZLİ

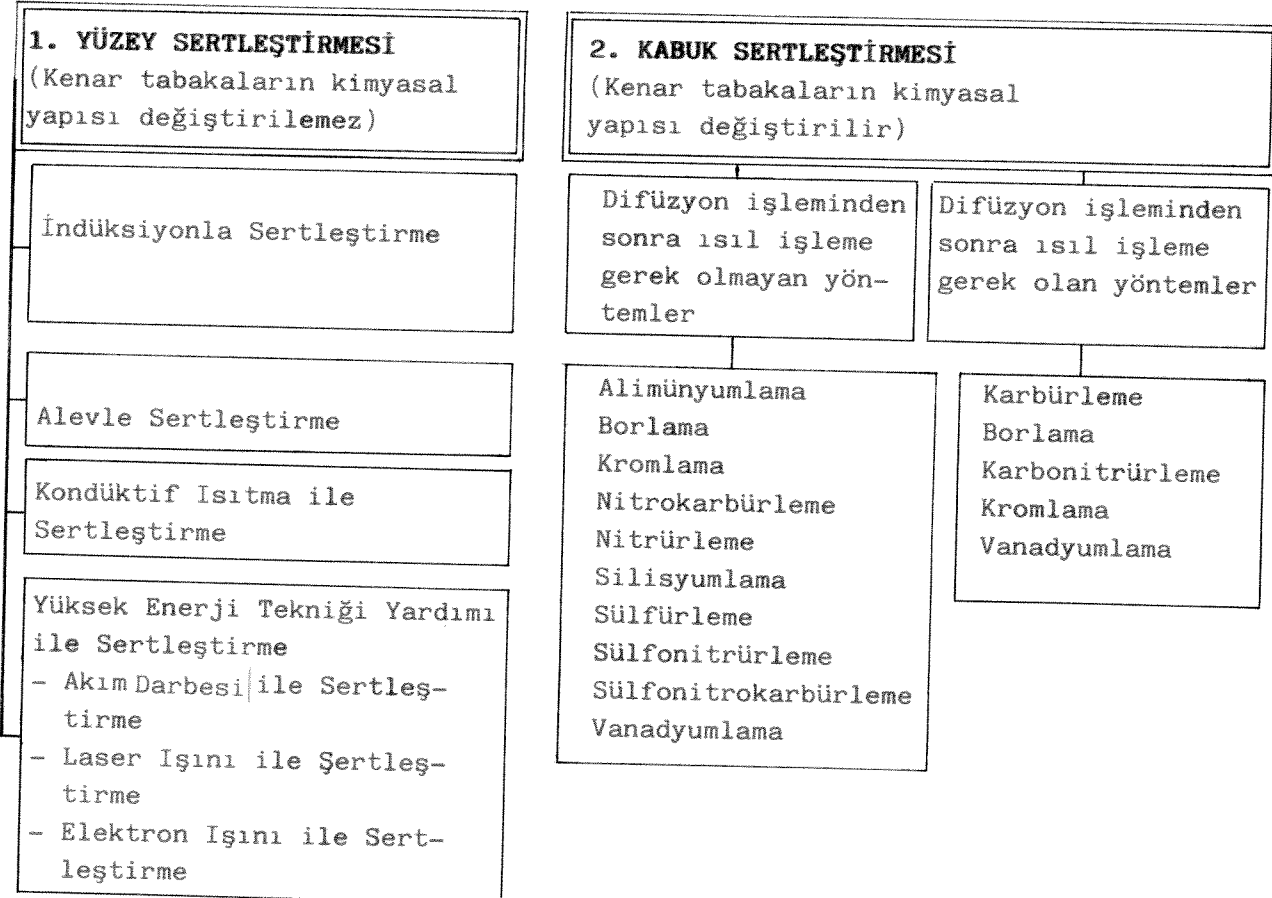
## RAPOR

Proje no : MAG806 Proje bedeli 2.960.000 TL.  
Proje başlama tarihi : 1.04.1990  
Proje bitiş tarihi : 1.10.1991  
Projenin adı : X210Cr12 (1.2080) Takım Çeliğinin Tuz Banyosunda Borlanması

### 1. GİRİŞ

X210Cr12 soğuk iş takım çeliği Türkiye'de en çok satılan ve kullanılan takım çeliğidir. Genellikle kesme, derinçekme, kıvrırma vs. kalıpları imalinde kullanılır. Toprak işleme kalıpları gibi aşınmanın önemli olduğu yerlerde kalıbın yüzey sertliğinin daha da yüksek olması istenir. Yüzey ve kabuk sertleştirme işlemleri ile aşınma önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Çizelge 1'de yüzey ve kabuk sertleştirme yöntemleri verilmiştir. Bu yöntemlerin içinde borlama en sert ve stabil yüzey yapısı meydana getiren işlemlerden birisidir. Ancak borlama için kullanılan kimyasal maddeler çeşitli firmaların patenti altında ve pahalıdırlar. Bu çalışmanın gayesi Türkiye'de bulunabilen ve ucuz temin edilebilen kimyasal maddelerle borlama işlemini yapmak ve uygulamaya aktarmaktır. Borlama ortamı çalışma pratikliğinden dolayı sıvı seçilmiştir.

Çizelge 1. Kenar tabakaların özelliğini değiştirerek malzeme dayanımını arttırma yöntemleri.



## 2. DENEYLER

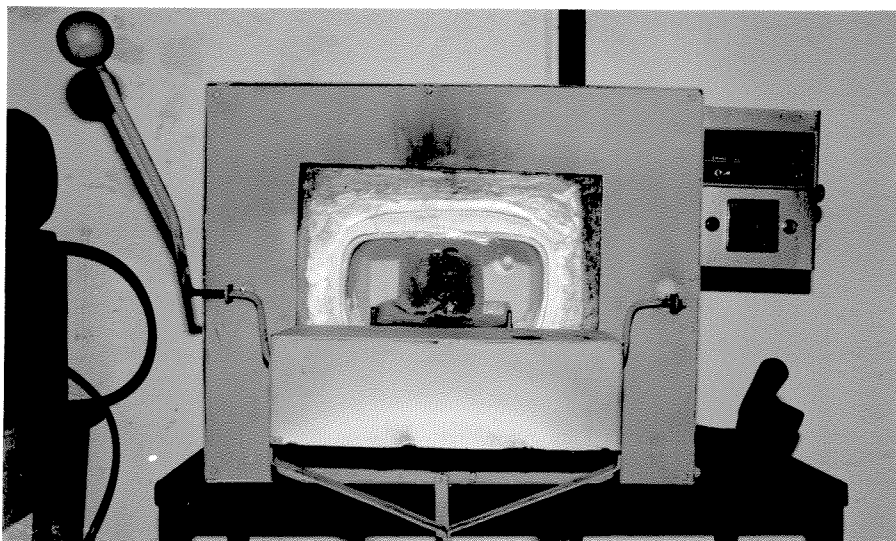
### 2.1. Borlama Deneyi

X210Cr12 soğuk iş takım çeliğinin borlanması için farklı kompozisyonda dört banyo oluşturuldu. Banyo içerikleri çizelge 2'de verilmiştir. Kullanılan kimyasal maddelerden B<sub>4</sub>C ithaldir ve pahalıdır. Diğer kimyasal maddeler normal fiyatlarda bulunabilmektedir. Banyonun hazırlanması aşağıdaki gibi yapılmıştır:

Çizelge 2. X210Cr12 çeliğinin borlanması için kullanılan sıvı banyo kompozisyonları

Banyo no	İçerik
1	%30 SiC + %70 Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>
2	%2,5 B <sub>4</sub> C + %10 KBF <sub>4</sub> + %87,5 SiC
3	%40 B <sub>4</sub> C + %60 Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>
4	%10 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + %20 SiC + %70 Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>

- Boraks (Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>) elektrikli kutu tipi fırında (Şekil 1) 300 °C de 1 saat, daha sonra 600 °C de 3 saat bekletilerek kurutuldu.
- Borik asit (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>), 130 °C de 3,5 saat daha sonra 400 °C'de 1 saat bekletilerek kalsine edildi ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> elde edildi.
- Pota olarak başlangıçta seramik pota kullanıldı, ancak ergimiş sıvı katılaştıkça potalar çatlamıştır. Daha sonraki deneylerde grafit pota kullanılmış fakat pota yandı için kullanışlı olmamıştır. Bunlardan dolayı Fe37-2'den imal edilmiş Ø85X70 ölçülerinde çelik pota kullanıldı.
- Borlama işlemi 980±10°C de 5 saat sürede yapıldı. 4 nolu banyoda iki numune borlandı, biri havada diğeri yağda setleştirildi.



Şekil 1 Borlama için kullanılan kutu tipi elektrikli fırın.

Borlama banyolarının hepsi macunumsu kıvamda olmuştur. Buharlaşmanın önlenmesi için banyonun üzeri toz grafit ile örtülmüştür.

Deneyde kullanılan çelik numune  $\varnothing 20 \times 20$  ebatlarındadır. Hazırlanan 5 adet numune ile ilgili açıklama çizelge 3 de verilmiştir.

Çizelge 3. Borlama deneyinde kullanılan numuneler ve özellikleri

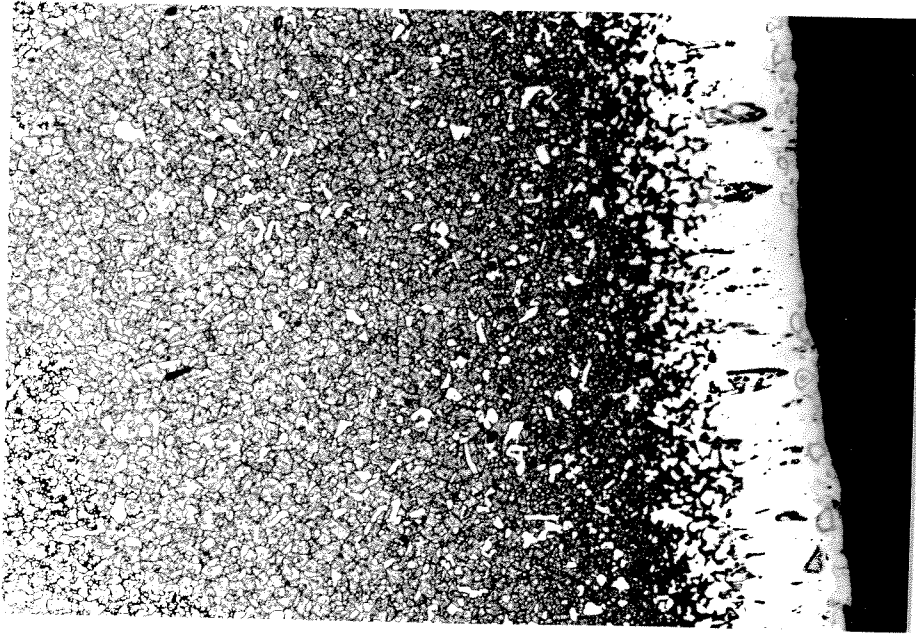
Numune no	Numunenin borlandığı banyo	Sertleştirme ortamı
1	1(%30 SiC + %70 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ )	yağ
2	2(%2,5 $\text{B}_4\text{C}$ + %10 $\text{KBF}_4$ + %87,5 SiC)	yağ
3	3(%40 $\text{B}_4\text{C}$ + %60 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ )	yağ
4	4(%10 $\text{B}_2\text{O}_3$ + %20 SiC + %70 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ )	yağ
5	4(%10 $\text{B}_2\text{O}_3$ + %20 SiC + %70 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ )	hava

## 2.2. Metalografi Deneyi

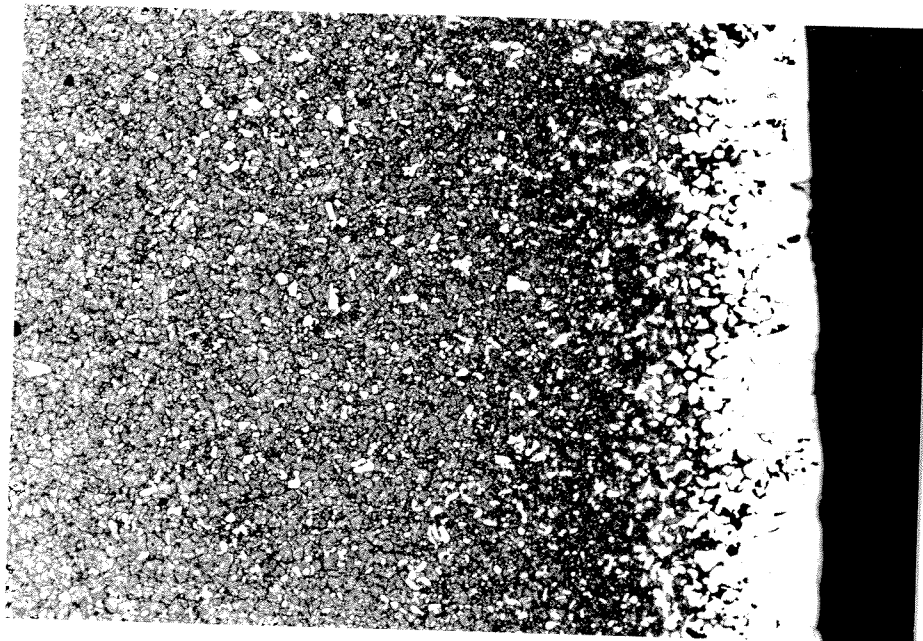
Numuneler borlandıktan sonra metalografik kesit hazırlamak amacıyla alından taşlandı, son taşlama işlemi olarak 500 numara zımpara ile yağ olarak işlem gördü. sert yapılı bir çelik olmasından dolayı taşlama akabinde yapılan parlatma işlemi kademeli olarak önce 6 mikrometre, sonra 3 mikrometre ve son olarak da 1 mikrometre tane büyüklüğündeki korund ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) tozları ile yağ parlatıldı. Borlanmış olan kenar kısımlarının düz kalmasına, parlatma esnasında yuvarlatılmamasına özellikle dikkat edildi.

Parlatmadan sonra % 2  $\text{HNO}_3$  + Metilalkol terkipleriyle ön dağlamaya tabi tutuldu. Son dağlama olarak Vilella-Çözeltilisi (%20  $\text{HNO}_3$  + %40  $\text{HCl}$  + %40 Gliserin) kullanıldı.

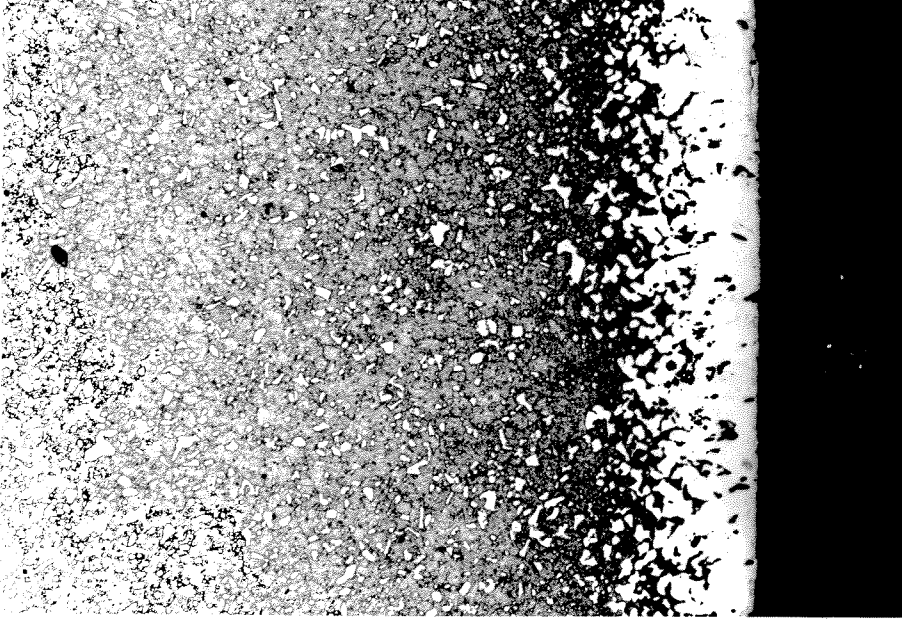
İncelemelerin yapıldığı metal mikroskobu: Leitz-Aristomet.



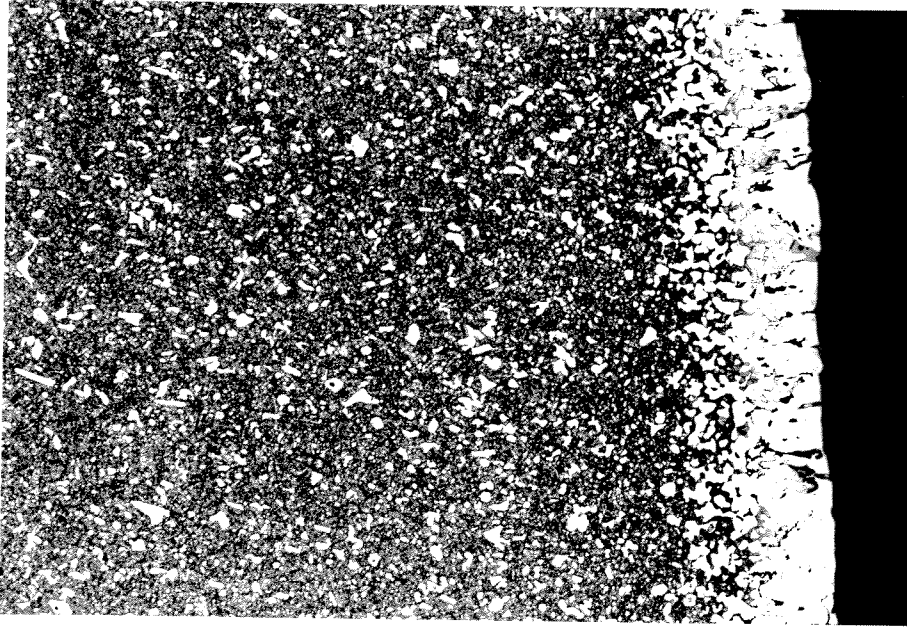
Şekil 2. %30 SiC + %70 Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> kompozisyonlu banyoda, 980 °C de 5 saat borlanmış ve yağda sertleştirilmiş X210Cr12 çeliğinin mikro yapısı (X 200). Numune No.1



Şekil 3. %2,5 B<sub>4</sub>C + %10 KBF<sub>4</sub> + %87,5 SiC kompozisyonlu banyoda 900°C da 5 saat borlanmış ve yağda sertleştirilmiş X210Cr12 çeliğinin mikro yapısı (X 200). Numune No.2

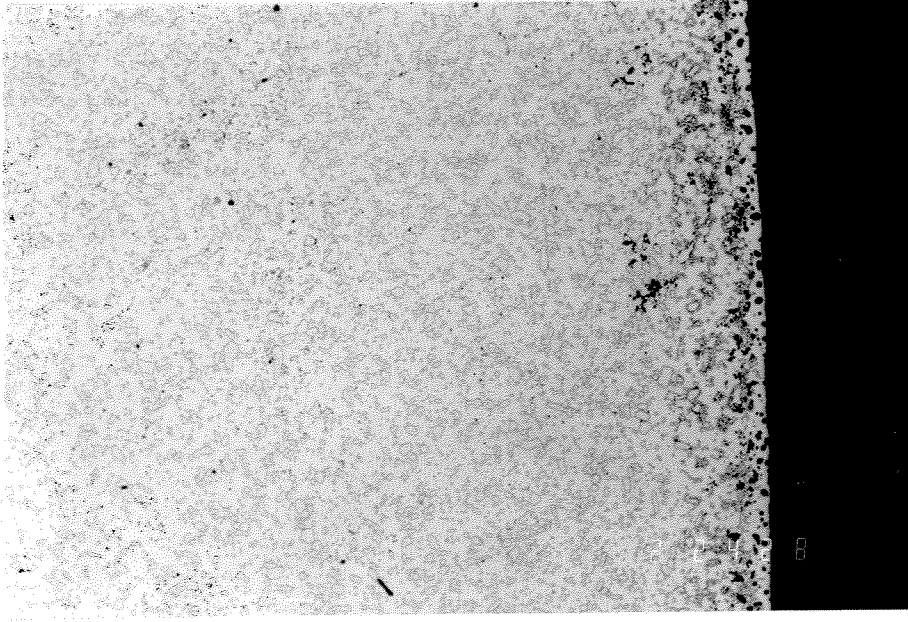


Şekil 4. %40 B<sub>4</sub>C + %60 Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> kompozisyonlu banyoda 980 °C de 5 saat borlanmış ve yağda sertleştirilmiş X210Cr12 çeliğinin mikro yapısı (X 200). Numune No.3



Şekil 5. %10 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + %20 SiC + %70 Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> kompozisyonlu banyoda 980 °C de 5 saat borlanmış yağda sertleştirilmiş X210Cr12 çeliğinin mikro yapısı (X 200) Numune No.4

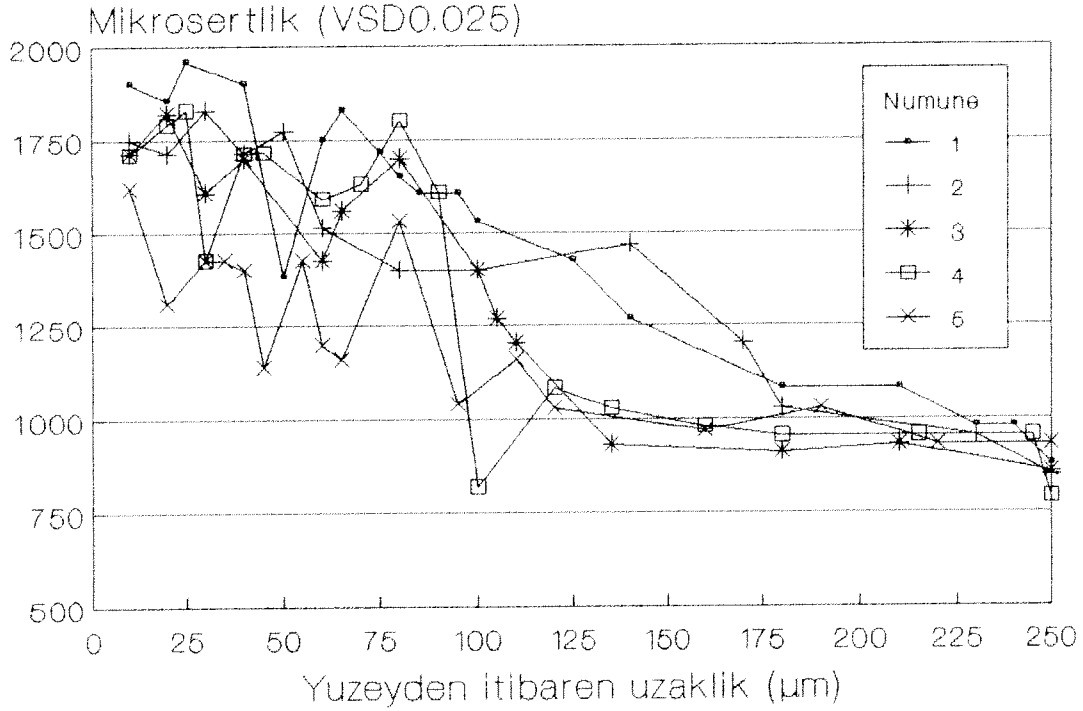




Şekil 6. %10 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + %20 SiC + %70 Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> kompozisyonlu banyoda 980 °C de 5 saat borlanmış havada sertleştirilmiş X210Cr12 çeliğinin mikro yapısı (X 200). Numune No.5

### 2.3. Mikro Sertlik Deneyi

Numunelerin mikro sertlik değerleri 0,25 N'luk kuvvet ile ölçülmüştür. Elde edilen sertlik değeri Şekil 7 de verilmiştir.

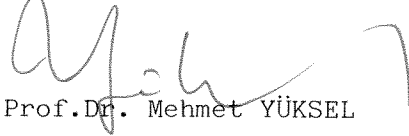


Şekil 7: Borlanmış numunelerin mikro sertlik değeri

### 3. SONUÇLAR

- Sıvı ortamda borlama, hazırlanan 4 banyoda da başarılıdır. Bor tabakları şekil 2-3-4-5-6 daki mikro yapı fotoğraflarında açıkça görülmektedir.
- Yüzeydeki mikro sertlik değerleri 1500-2000 HV arasında değişmektedir. Matrix sertliği ise 930-1000 HV arasında değişmektedir.
- Borlanmış tabaka kalınlığı bütün numunelerde hemen hemen aynı olmuştur.
- Türkiyede ucuz olarak bulunabilen SiC ve  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  banyo ile diğerlerine yakın borlama başarılabilmiştir.
- SiC ve  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  bileşenli banyoda seyreltici olarak kalsine borik asit kullanıldığında banyonun kıvamı daha akıcı olmuştur.

Proje Yürütücüleri:



Prof.Dr. Mehmet YÜKSEL



Doç.Dr. Ahmet Çetin CAN

Yardımcı: Araş.Gör. Yılmaz ÖZMEN