

T.C
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

REFRAKTER TANTALYUM METALİNİN
KATI ORTAMDA BOR KAPLANMASI

Orkun KILIÇ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

GEBZE
2007

T.C
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

REFRAKTER TANTALYUM METALİNİN
KATI ORTAMDA BOR KAPLANMASI

Orkun KILIÇ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Doç.Dr.Metin USTA

GEBZE
2007

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI : Refrakter Tantalyum Metalinin Katı Ortamda Borlanması

YAZAR ADI : Orkun KILIÇ

Bu çalışmada, borlanmış tantalyumun mekanik ve kinetik özellikleri incelendi. Borlama işlemi ekabor tozlarından meydana gelen katı bir ortamda 1040 °C, 1090 °C ve 1140 °C'lerde 2, 4, 8, 12 ve 16 saat süreyle uygulandı. X-ışınları analizleri; tantalyum metali üzerinde oluşan borür tabakasının, çoğunlukla TaB₂ olduğunu göstermektedir. Ancak, bazı sıcaklık ve sürelerde TaB fazını da görmek mümkündür. Metalografik çalışmalar tantalyum yüzeyi üzerindeki neredeyse bütünüyle dişli ve poroz yapıdaki borür tabakasını açığa çıkardı. Deneysel sonuçlar borlama süresi ve sıcaklığı ne kadar yüksek olursa o kadar kalın borür tabakası oluşturduğunu gösterdi. Bu çalışmada borlama tabakasının sıcaklıkla ve süreyle beraber değiştiği görülebiliyor. Borür tabakası kalınlığı bazı değişkenlerle birlikte 8.63 ile 47.74 µm aralığında değişiyor. Borlanmış numunelerin yüzeyden itibaren içeriye doğru sertlikleri mesafeyle beraber düşmektedir. Altlık malzemenin üzerindeki borürün ortalama sertliği 3410 ile 5937 Hv aralığında değişirken, altlık malzemenin sertliği 107 ile 138 Hv aralığında değişmektedir. X-ışınları analizleri incelenerek TaB₂ fazı gözükmektedir, TaB fazı da bazı sıcaklık ve sürelerde gözükmektedir.

SUMMARY

TITLE OF THE THESIS : Boronizing of refractory Tantalum Metal in a Solid Environment

AUTHOR : Orkun KILIÇ

In this study, mechanical and kinetics properties of borided Ta were investigated. Boronizing was carried out in a solid medium consisting of Ekabor powders at 1040 °C, 1090 °C and 1140 °C for 2, 4, 8, 12 and 16 hours. X-ray analysis showed that the boride layer formed on the tantalum was generally TaB₂. However it was possible to observe the TaB phase at some temperatures and times. Metallographic studies revealed an almost sawtooth and porous boride layer on the surface of the tantalum. Experimental results showed that longer boronizing time, and the higher temperature resulted in thicker boride layers. It can be seen that the thickness of boride layers change with the time and temperature. The thickness of boride layer ranged from 8.63 to 47.74 μm with some scatters. The hardness of borided specimens decreased with the distance from the surface to the interior of the test material. The average hardness of the boride on the substrate ranged from 3410 to 5937 HV while the hardness of the substrate varied from 107 to 138 HV. Examining X-Ray analyses, TaB₂ phase was observed and TaB phase was detected at some temperatures and times.

TEŞEKKÜR

Bitirme tezimin hazırlanması sırasında bana her konuda yardımcı olan Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı Öğretim Üyesi, danışmanım Doç.Dr .Metin USTA'ya teşekkür ederim.

Tez çalışmam için gerekli olan deneysel çalışmalarında bana yardımcı olan arkadaşlarım Ömer Faruk DENİZ ve Bilal DAŞCILAR arkadaşlarıma ve Adem ŞEN'e teşekkür ederim

Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Mayıs 2007

Orkun KILIÇ

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tantalıum	1
1.2. Tantalıumun Fiziksel Özellikleri	2
1.3. Tantalıum Uygulamaları	3
1.3.1. Korozyon Direncine Bağlı Uygulamaları Alanları	3
1.3.2. Yüksek Termal İletkenliğe Bağlı Uygulama Alanları	4
1.3.3. Yüksek Ergime Noktasına (2996°C) Bağlı Uygulama Alanları	4
1.3.4. Yüksek Gaz Tutuculuğu Karakteristiğine Bağlı Uygulama Alanları	4
1.3.5. Yüksek Valf Aksiyonuna Bağlı Uygulama Alanları	4
1.3.6. Sert ve Sünek Olmasına Bağlı Uygulama Alanları	4
1.4. Tantalıum Alaşımları	5
1.4.1 %97,5 Tantalıum; %2,5 Tungsten	5
1.4.2. %90 Tantalıum; %10 Tungsten	5
1.5. Korozyon Direnci	5
1.6. Çalışma Karakteristikleri	6
1.7. Tantalıumun Mekanik Özellikleri	7
1.8. Borlama İşlemi	8
1.8.1 Katı (paket) Borlama Yöntemi	10
1.8.2 Borlama İşleminin Avantajları	13
1.8.3 Borlama İşleminin Dezavantajları	14
1.8.4 Borür Tabakası Ve Özellikleri	14
1.8.5 Borlanabilen Malzemeler	15

1.8.6 Borlayıcı Ortamın Bileşimi Ve Konsantrasyonunun Tabaka Kalınlığına Etkisi	16
1.8.7 İşlem Sıcaklığı ve Süresinin Tabaka Kalınlığına Etkisi	17
1.8.8 Borlu Tabakanın Tribolojik Özellikleri	17
1.8.9 Borlama Kinetiği	19
2. ÇALIŞMANIN AMACI	21
3.DENEYSEL ÇALIŞMALAR	22
3.1. Deneyleerde Kullanılan Numuneler	22
3.2. Borlama İşlemi	22
3.3. X- Işınları Difraksiyon Analizi	22
3.4. Metalografik İncelemeler	23
3.5. Sertlik Ölçümleri	23
3.6.Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemesi	23
4. SONUÇLAR VE İRDELENMESİ	24
4.1 X- Işınları Difraksiyon Analizi	24
4.2 Sertlik Ölçümleri	34
4.3 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemesi	53
4.4 Yüzey Analizi	60
4.5 Kinetik	61
5. SONUÇLAR	65
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	70

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

μm	mikrometre
N	Newton
Hv	Vickers sertliği
X	Tabaka kalınlığı
t	Borlama süresi
K	Büyüme hız sabiti (m^2/sn)
Ko	Frekans faktörü (m^2/sn)
Q	Aktivasyon enerjisi (j/mol)
R	Gaz sabiti (8.32 j/mol K)

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Tantalyum-bor denge diyagramı	9
4.1. Çeşitli sıcaklıklarda 2 saat süreyle borlanmış Tantalyum (Ta) x-ışınları difraksiyon paternleri: (a) 1040 °C, (b) 1090 °C, (c) 1140 °C	27
4.2. Çeşitli sıcaklıklarda 4 saat süreyle borlanmış Tantalyum (Ta) x-ışınları difraksiyon paternleri: (a) 1040 °C, (b) 1090 °C, (c) 1140 °C	28
4.3. Çeşitli sıcaklıklarda 8 saat süreyle borlanmış Tantalyum (Ta) x-ışınları difraksiyon paternleri: (a) 1040 °C, (b) 1090 °C, (c) 1140 °C	29
4.4 Çeşitli sıcaklıklarda 12 saat süreyle borlanmış Tantalyum (Ta) x-ışınları difraksiyon paternleri: (a) 1040 °C, (b) 1090 °C, (c) 1140 °C	30
4.5 Çeşitli sıcaklıklarda 16 saat süreyle borlanmış Tantalyum (Ta) x-ışınları difraksiyon paternleri: (a) 1040 °C, (b) 1090 °C, (c) 1140 °C	31
4.6. Tantalyum-karbon denge diyagramı	33
4.7 2 saat süreyle 1040 °C'de borlanan tantalyumun (a) optik mikroskopta (b) SEM'de çekilmiş görüntülerinde bor kaplamadan matrise doğru sertlik ölçümleri ve değişimleri.	35
4.8. 4 saat süreyle 1040 °C'de borlanan tantalyumun (a) optik mikroskopta (b) SEM'de çekilmiş görüntülerinde bor kaplamadan matrise doğru sertlik ölçümleri ve değişimleri.	36
4.9. 8 saat süreyle 1040 °C'de borlanan tantalyumun (a) optik mikroskopta (b) SEM'de çekilmiş görüntülerinde bor kaplamadan matrise doğru sertlik ölçümleri ve değişimleri.	37
4.10. 12 saat süreyle 1040 °C'de borlanan tantalyumun (a) optik mikroskopta (b) SEM'de çekilmiş görüntülerinde bor kaplamadan matrise doğru sertlik ölçümleri ve değişimleri.	38
4.11.16 saat süreyle 1040 °C'de borlanan tantalyumun (a) optik mikroskopta (b) SEM'de çekilmiş görüntülerinde bor kaplamadan matrise doğru sertlik ölçümleri ve değişimleri.	39

- 4.12. 2 saat süreyle 1090 °C’de borlanan tantalyumun (a) optik mikroskopta
(b) SEM’de çekilmiş görüntülerinde bor kaplamadan matrise doğru sertlik ölçümleri ve değişimleri. 40
- 4.13. 4 saat süreyle 1090 °C’de borlanan tantalyumun (a) optik mikroskopta
(b) SEM’de çekilmiş görüntülerinde bor kaplamadan matrise doğru sertlik ölçümleri ve değişimleri. 41
- 4.14. 8 saat süreyle 1090 °C’de borlanan tantalyumun (a) optik mikroskopta
(b) SEM’de çekilmiş görüntülerinde bor kaplamadan matrise doğru sertlik ölçümleri ve değişimleri. 42
- 4.15. 12 saat süreyle 1090 °C’de borlanan tantalyumun (a) optik mikroskopta
(b) SEM’de çekilmiş görüntülerinde bor kaplamadan matrise doğru sertlik ölçümleri ve değişimleri. 43
- 4.16. 16 saat süreyle 1090 °C’de borlanan tantalyumun (a) optik mikroskopta
(b) SEM’de çekilmiş görüntülerinde bor kaplamadan matrise doğru sertlik ölçümleri ve değişimleri. 44
- 4.17. 2 saat süreyle 1140 °C’de borlanan tantalyumun (a) optik mikroskopta
(b) SEM’de çekilmiş görüntülerinde bor kaplamadan matrise doğru sertlik ölçümleri ve değişimleri. 45
- 4.18. 4 saat süreyle 1140 °C’de borlanan tantalyumun (a) optik mikroskopta
(b) SEM’de çekilmiş görüntülerinde bor kaplamadan matrise doğru sertlik ölçümleri ve değişimleri. 46
- 4.19. 8 saat süreyle 1140 °C’de borlanan tantalyumun (a) optik mikroskopta
(b) SEM’de çekilmiş görüntülerinde bor kaplamadan matrise doğru sertlik ölçümleri ve değişimleri. 47
- 4.20. 12 saat süreyle 1140 °C’de borlanan tantalyumun (a) optik mikroskopta
(b) SEM’de çekilmiş görüntülerinde bor kaplamadan matrise doğru sertlik ölçümleri ve değişimleri. 48
- 4.21. 16 saat süreyle 1140 °C’de borlanan tantalyumun (a) optik mikroskopta
(b) SEM’de çekilmiş görüntülerinde bor kaplamadan matrise doğru sertlik ölçümleri ve değişimleri. 49
- 4.22. 2 saat süreyle 1040 °C , 1090 °C, 1140 °C sıcaklıklarda borlanmış numunenin yüzeyden itibaren mesafeye bağlı sertlik değişimi 51
- 4.23. 4 saat süreyle 1040 °C , 1090 °C, 1140 °C sıcaklıklarda borlanmış numunenin yüzeyden itibaren mesafeye bağlı sertlik değişimi 51

- 4.24 8 saat süreyle 1040 °C ,1090 °C, 1140 °C sıcaklıklarda borlanmış numunenin yüzeyden itibaren mesafeye bağlı sertlik değişimi 52
- 4.25. 12 saat süreyle 1040 °C ,1090 °C, 1140 °C sıcaklıklarda borlanmış numunenin yüzeyden itibaren mesafeye bağlı sertlik değişimi 52
- 4.26. 16 saat süreyle 1040 °C ,1090 °C, 1140 °C sıcaklıklarda borlanmış numunenin yüzeyden itibaren mesafeye bağlı sertlik değişimi 53
- 4.27 (a) 2 saat, 1040 °C’de (b) 4 saat, 1040 °C’de (c) 8 saat, 1040 °C’de (d) 12 saat, 1040 °C’de (e) 16 saat, 1040 °C’de borlanmış Ta’ların (1) bor tabakalarını (2) geçiş bölgelerini ve (3) ana metal malzemelerini gösteren SEM resimleri. 56
- 4.28. (a) 2 saat, 1040 °C’de (b) 4 saat, 1040 °C’de (c) 8 saat, 1040 °C’de (d) 12 saat, 1040 °C’de (e) 16 saat, 1040 °C’de borlanmış Ta’ların (1) bor tabakalarını (2) geçiş bölgelerini ve (3) ana metal malzemelerini gösteren SEM resimleri. 58
- 4.29. (a) 2 saat, 1040 °C’de (b) 4 saat, 1040 °C’de (c) 8 saat, 1040 °C’de (d) 12 saat, 1040 °C’de (e) 16 saat, 1040 °C’de borlanmış Ta’ların (1) bor tabakalarını (2) geçiş bölgelerini ve (3) ana metal malzemelerini gösteren SEM resimleri. 60
- 4.30. 1140 °C’de 2 saat borlanmış Ta malzemenin yüzey analizi. 61
- 4.31. Bor tabaka kalınlığının karesinin borlama süresiyle değişimini gösteren grafik 62
- 4.32. Tantalyumun büyüme hız sabitinin sıcaklıkla değişimi. 63

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Tantalyumun Fiziksel Özellikleri	2
1.2. Tantalyumun Korozyon Direnci	6
1.3. Tantalyumun Mekanik Özellikleri	7
1.4. Katı Ortamda Borlama İşleminde Kullanılan Bazı Bor Kaynakları	11
1.5. Ekabor Borlama Ürünleri	12
4.1. Borlanmış tantalyum numuneler üzerinde oluşan borür tabakaların borlama sürelerine göre ortalama tabaka sertlikleri	50
4.2. Borlanmış tantalyum numuneler üzerinde oluşan borür tabakaların borlama sürelerine göre ortalama tabaka kalınlıkları	54
4.3. 1040°C ,1090°C ,ve 1140 °C de borlanmış Ta'nın aktivasyon enerjisi ve büyüme hız sabitleri	64

1. GİRİŞ

1.1 Tantalum

Tantalum periyodik tablonun 73 numaralı elementidir. Ergime sıcaklığı 2996 °C ve yoğunluğu 16.654 gm/cm³'dür. Tantalum en iyi refrakter malzemelerden biridir ve sahip olduğu fiziksel ve mekanik özelliklerinin bileşimi tantalyumu önemli bir malzeme yapmaktadır.

Tantalum ve alaşımlarının yoğunlukları ve ergime sıcaklıkları değer olarak tungsten ve molibdenin yoğunluğunun ve ergime sıcaklığının arasında bir değerdedir. Tantalum ile oda sıcaklığında çok kolayca çalışılabilir.

Termal iletkenliği molibdeninkinin dörtte biri kadar ve termal genleşme katsayısı üç kat daha iyidir. Yüksek sıcaklık dayanımı tungsten ve molibdene göre düşüktür.

Tantalumun korozyon direnci birçok ticari asit bileşimine karşı oldukça iyidir. Saf tantalum yaklaşık olarak 1204 °C'de rekristalize olur.

Tantalumun bazı özellikleri kendine hastır ve bazı uygulamalar için gereklidir. Bu özellikleri değerli ve yüksek maliyetli bir malzeme olmasına sebep olur. Bir çok aside ve aşındırıcıya karşı yaklaşık cam kadar karşı koyabilmektedir.

Ek olarak metal üretiminde deneyimi olmuş herkes bükme, hadde ve kaynak ile tantalumun fabrikasyonunda kolayca çalışabilir. Tantalum sünekliliği ve yoğunluğu ile ordularda zırhlı techizat için en çok tercih edilen malzemedir. Yoğunluğu ve nükleer kararlılığı sayesinde radyoaktif elementlerin konteynerleri için çok kullanışlı bir malzemedir. [Forest, 2002]

1.2. Tantaliumun Fiziksel Özellikleri

Tantalium 1802 yılında İsveç'li kimyacı Ekeberg tarafından keşfedilmiştir ve niyobyum ile yakın özellikler gösteren bir metaldir. Tantalium şekillendirmede bakır ile aynı uygulamalardan geçer. Tane yönünde ve tane yönünün tersinde soğuk şekillendirilebilir. Tantalium tornalanabilir ve çekilebilir. Bakır gibi, sertleşebilir ve bu meydana geldiğinde ileriki işlemlerden önce vakum kaynağı gerekmektedir. Dikkatli yapılması gerekiyorsa Tungsten Inert Gaz (TIG) kaynağı da yapılabilir. Kaynaklar kuvvetli olur ve gerilim vakum kaynağı ile giderilebilir. Kaynak yapılmış tantalium ileride şekillendirilebilir hatta çekilebilir.

Tablo 1.1. Tantalium'un Fiziksel Özellikleri [Forest, 2002]

ÖZELLİK	
Atomik Ağırlık	180.95
Yoğunluk	16.6 g/cm ³
Ergime Noktası	3290 K, 3017 °C, 5462°F
Kaynama Noktası	5731 K, 5458 °C, 9856 °F
Termal Genleşme Katsayısı (20°C)	6.5 x 10 ⁻⁶ /°C
Elektriksel Özdirenç (20°C)	13.5 mikrohm-cm
Elektriksel İletkenlik	13% IACS
Spesifik Sıcaklık	0.036 kal/g/°C
Termal İletkenlik	0.13 kal/cm ² /cm°C/sn

Tantalium mükemmel bir gaz gidericidir. Bu özelliği vakum tüplerinde ürünleri absorblayarak tüp bileşenlerinin üzerinde ısıtılmasını sağlar. Isıl işlem operasyonları sırasında meydana gelen kirliliklerin giderilmesinde de tantalium, titanyum ve niyobyum ve alaşımları kadar iyi özellikler sergiler. Tantalium vakum fırınlarında çok yüksek sıcaklığın gerektiği yerlerde kullanılmaktadır ve devir sırasında artık oksijen ve hidrojen görülmez.

Tantalyum iyi termal iletkenlik sağlar ve bu özelliği korozyon özelliği ile birlikte asit üretim cihazları için ısı değiştiricilerde en ideal seçimdir. Her iki kategoride de nikel esaslı alaşımlardan üstündür.

Tantalyum elektronik endüstriyel uygulamalar için kullanışlı kararlı bir oksit tabakası geliştirir. [Forest, 2002]

1.3. Tantalyum Uygulamaları

Tantalyum elektronik parçalar, kimyasal cihazlar, füze teknolojisi ve nükleer reaktörler için çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Elektronik endüstrisi kapasitör üretiminde tantalyumdan en çok faydalanan sektördür.

Başta kimyasal işlemler endüstrisi olmak üzere diğer endüstriler tantalyumunun korozyon direnci ile ilgilenmektedir ve tantalyumun bu pazarda yüzdesi gittikçe artmaktadır.

Tantalyum korozif sıvılar için valflerin üretiminde ,asitlerin ısıtıcılarının yapımında ve roket motorlarında ısı başlığı olarak kullanılmaktadır. Yarı iletkenlerin üretiminde iyon implantler de kullanılmaktadır. Ayrıca tantalyum radyasyon başlığı olarak kullanılmaktadır. [Forest, 2002]

Tantalyumun kullanışlı diğer özelliklerinin uygulamaları aşağıdadır:

1.3.1. Korozyon Direncine Bağlı Uygulama Alanları

Tantalyum asitlere ve sıvı metallere karşı oldukça dayanıklıdır. Asitlere karşı direnci caminkine eşittir ve sıvı metallere karşı 899 °C 'a kadar dayanıklıdır. Sadece bazı maddeler hidroflorik asit, sülfürik asit buharı ve güçlü alkaliler tantalyumun korozyon direncini kırabilirler. Bu özelliği ile kimyasal üreticileri tarafından kimyasal cihazlarda, ısıtıcı elementlerde, cerrahi implantların üretiminde kullanılmaktadır. [Forest, 2002]

1.3.2. Yüksek Termal İletkenliğe Bağlı Uygulama Alanları

Tantalyum nikel alaşımlarından, dökme demirlerden, paslanmaz ve yüksek sıcaklığa dayanıklı çeliklerden ısıyı daha iyi iletmektedir. Bununla birlikte tantalyum özellikle asidik ve korozif ortamlarda verimli bir ısı transfer yüzeyi oluşturmaktadır. [Forest, 2002]

1.3.3. Yüksek Ergime Noktasına (2996°C) Bağlı Uygulama Alanları

Refrakter malzemeler içinde sadece iki tanesinin ergime noktası daha fazladır. Bunlar Tungsten (3017 °C) ve Renyum (3167 °C). Tantalyumun yüksek sıcaklık direnci işlenebilirliği ile birleşince yüksek kalitede ısı başlıkları, ısıtma elementlerinde, elektrotlarda ve diğer yüksek sıcaklık parçalarında kullanma avantajı sağlar. [Forest, 2002]

1.3.4. Yüksek Gaz Tutuculuğu Karakteristiğine Bağlı Uygulama Alanları

Tantalyum yüksek sıcaklıkta çevredeki gaz ve buharları oldukça iyi absorblar. Elektronik tüp üreticileri tüplerin içinde vakum ortamını sağlamak için tantalyumu tercih etmektedir. [Forest, 2002]

1.3.5. Yüksek Valf Aksiyonuna Bağlı Uygulama Alanları

Tantalyum yüksek kararlılıkta anodik bir film oluşturur. Tantalyumun aside direncine dayanıklılığı ile bu özelliği birleşince kapasitörlerde, ışık kesicilerde, optik lenslerde kullanımı için diğer malzemelere göre avantaj sağlıyor. [Forest, 2002]

1.3.6. Sert ve Sünek Olmasına Bağlı Uygulama Alanları

Tantalyum diğer refrakter metallere göre sünekliliği, işlenebilirliği, kaynak yapılabilirliği ile diğer metallere göre daha üstündür. Örnek olarak tantalyum

haddelenebilir, kalıplanabilir, çekilebilir ve soğuk işlenebilir. Çekmede, kalıplamada ve bükmede çelik gibi davranır. Dövülmede veya tavlamada tantalyum geri kaçmaz. Tantalyuma yaşlandırma sertleştirilmesi yapılamaz. [Forest, 2002]

1.4. Tantalyum Alaşımları

Tantalyum'un iki alaşımı bazı uygulamalar için çok iyidir.

1.4.1. %97,5 Tantalyum; %2,5 Tungsten

Bu alaşım düşük sıcaklık mukavemetinin önemli olduğu ve yüksek korozyon direnci ve iyi şekillenebilirliğin gerektiği yerlerde kullanılmaktadır. Bu alaşım saf tantalyumdan fabrikasyon işlemleri sonucunda daha fazla mukavemet sağladığı için kullanılmaktadır. Bu alaşım saf tantalyum gibi aynı boyut şekil ve ölçülerde karşılaştırılabilir bir maliyetle kullanılabilir. [Forest, 2002]

1.4.2. %90 Tantalyum; %10 Tungsten

Sıcaklık 2482 °C civarlarına çıktığında ve korozif şartlara karşı yüksek mukavemet gerektiğinde bu alaşımı düşünmek gerekir. Bu alaşımın çekme mukavemeti saf tantalyumun iki katı ve aynı zamanda saf tantalyumun korozyon direncine ve tantalyumun dökülebilirliğinin bir parçasına sahiptir. Hem tantalyum hem de bu alaşım her şekillendirmede kullanılamaz. Mesela ince yanaklı tüplerde. Maliyeti de yukarıda belirtilen alaşımdan fazladır. [Forest, 2002]

1.5. Korozyon Direnci

Tantalyum çok açıkca korozyona en dirençli metallere biridir. Tantalyuma sadece flüor, hidroflorik asit, sülfür üç oksit (sülfürik asitin buharı), konsantre kuvvetli alkaliler, kesin erimiş tuzlar etkileyebilir.

Tantalyum'un korozyon direnci camla karşılaştırılabilir. Bununla birlikte tantalyum yüksek sıcaklığa dayanabilir ve bir metalin gerçek fabrikasyon avantajlarına sahiptir.

Tablo 1.2 Tantaliumun Korozyon Direnci [Forest, 2002]

Ortam	Konsantrasyon	Sıcaklık	Tantalium
Asetik Asit	50%	Kaynama	Hasar yok
Brom	Kuru	93 °C	Hasar yok
Klor	Islak	93 °C	Hasar yok
Kromik Asit	50%	Kaynama	Hasar yok
Hidroklorik Asit	5%	93 °C	Hasar yok
	30%	93 °C	Hasar yok
Nitrik Asit	65%	Kaynama	%2 Hasar
Sodyum Hidroksit	10%	Oda	*
Sülfürik Asit	40%	Kaynama	Hasar yok
	98%	Kaynama	%2 Hasar

* Malzeme hidrojen atağı sırasında kırılabilir.

Tantalium kararlı, pasif bir oksit tabakası geliştirir bununla birlikte birçok korozyon probleminin tek çözümüdür. Bununla birlikte tantalium havada 300 °C'yi geçen sıcaklıklarda kullanılamaz. [Forest, 2002]

1.6. Çalışma Karakteristikleri

Tantalium son derece işlenebilen bir metaldir. Standart cihazlarla soğuk işlenebilir. HMK (hacim merkezli kübik) kristal yapısından dolayı çok dökülebilir bir metaldir. %95 hatasızlık oranıyla olarak soğuk bir şekilde şekillendirilebilir.

Tantalium haddelenebilir, dövülebilir ve çekilebilir. Uygun soğutucular kullanıldığında yüksek hız ve karburlu uçlarla tornalanabilir. Tantalium kaynakla, elektron ışını veya tungsten inert gaz kaynağı ile kaynaklandığında, lehimlendiğinde, perçinlendiğinde daha da mukavemetlendirilebilir. Tantalium işlenirken çubuk şekline gelme eğilimindedir. Bundan kaçınmak için bazı yağlayıcı ve kalıplar yüksek basınçlı şekillendirme uygulamalarında önerilmektedir.

Birçok üretici tantalyumu geleneksel yöntemlerle üretiliyorlar ve zorluklarla karşılaşmıyorlar. Bununla birlikte tantalyumun iki önemli karakteristiği hep akılda tutulmalıdır.

- Tavlanmış tantalyum, bakır, kurşun, paslanmaz çelik ve bazı diğer metaller gibi tam katılaşmaz. Bundan dolayı sıcak yırtılma (yüzeyin altındaki sıvı metalin yüzeyden dışarıya akması) meydana gelebilir..
- Bütün şekillendirme, bükme, derin daldırma işlemleri soğuk olarak uygulanmaktadır. Ağır kesitlerde dövme için yaklaşık 427 °C'a ısıtılmaktadır. Üretim işlemleri az hurda için önceden planlanmalıdır. [Forest, 2002]

1.7. Tantalyumun Mekanik Özellikleri

Tantalyum endüstride kullanım açısından çok üstün özellikler sahiptir. Yüksek sertlik özelliğine rağmen şekillendirebilme özelliği ile diğer malzemelere karşı avantaj sağlar. Yüksek sıcaklıktaki sertlik dayanımı bu özelliğin gerektiği yerlerde tantalyumu çok önemli olmasını sağlamaktadır. [Forest, 2002]

Tablo 1.3 Tantalyumun Mekanik Özellikleri [Forest, 2002]

Tavlanmış	Esas Çekme Mukavemeti	285 M Pa (41 ksi)
	Akma Mukavemeti	170 M Pa (25 ksi)
	% Uzama	30%+
	% Redüksiyon	80%+
Soğuk İşlem	Esas Çekme Mukavemeti	650 M Pa (95 ksi)
	% Uzama	5%
Sertlik	Tavlanmış	90 HV
	Soğuk İşlenmiş	210 HV
Poisson Oranı		0.35
Genleşme Sertleşme Katsayısı		0.24
Elastik Modül	Gerilim	186 G Pa (27 x 10 ⁶ psi)
Sünek Kırılganlık Geçis Sıcaklığı *		<75°K
Rekristalizasyon Sıcaklığı		900 – 1200°C

1.8. Borlama İşlemi

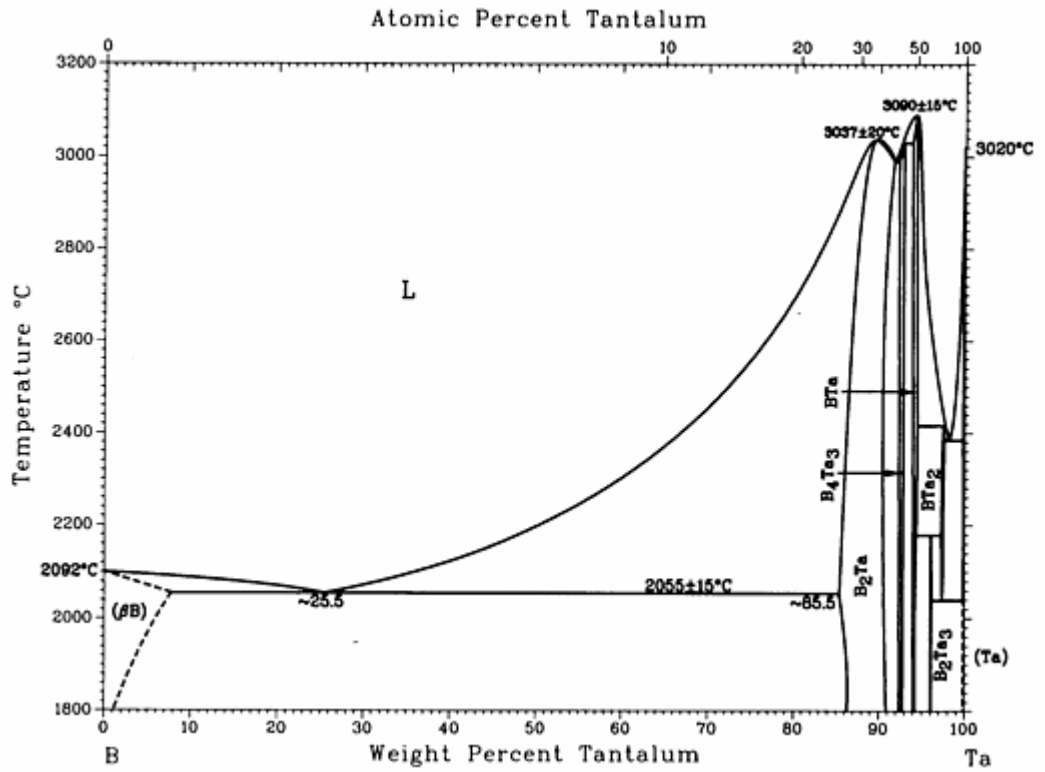
Endüstride, makine elemanlarının kullanım dışı kalmasının başlıca sebepleri ; aşınma, yorulma ve korozyondur. Endüstrileşmiş toplumlarda sürtünme ve aşınmanın kontrol altında tutulması veya azaltılması gittikçe artan bir ihtiyaç olmuştur. Çünkü, makinenin servis ömrünü uzatmak, çevre kirliliğine yol açmamak, daha etkili makine ve aletler yapmak, gittikçe azalan malzeme kaynaklarını muhafaza etmek, enerjiden tasarruf etmek ve daha emniyetli alet ve makineler geliştirmek, büyük ölçüde sürtünme ve aşınmanın önlenmesine bağlıdır. Önceleri sadece sıvı ve katı yağlayıcı kullanmakla önlemeye çalışılan bu probleme tribolojistlerin yaklaşımı, yüzey işlemleri ve kaplamaların kullanılarak aşınmanın önlenmesi yönündedir [Holmberg 1994].

Malzeme yüzeyine uygulanan klasik ve modern kaplama yöntemleri dünyada ve ülkemizde hızla gelişerek yaygınlaşmaktadır. Çünkü sanayileşmiş ülkelerde aşınma sebebiyle G.S.M.H.'nin %7'sine eşdeğer bir harcamanın yapıldığı tahmin edilmektedir. [Metals Handbook, 1975].

Yirminci yüzyılın başlarından itibaren çalışılmaya başlanan borlama ile çok sert ve düşük sürtünme katsayısına sahip yüksek sıcaklık mukavemeti fazla olan ve korozyon dirençli malzeme yüzeyleri elde edilmesi mümkün olmaktadır. Bir termokimyasal yüzey sertleştirme yöntemi olan borlamada, bor atomları metal yüzeyine termokimyasal olarak yayınarak sert bor tabakası oluştururlar. Bu yöntem, yaklaşık 900-1100 °C sıcaklıkta, değişik ortamlarda (katı, sıvı, gaz veya plazma) alaşımsız ve alaşımlı çeliklere, dökme demirlere, demir dışı metal ve alaşımlarına (Ni, Co, Mo, Ti), bu alaşımların toz metalurjisi yöntemiyle üretilen tozlarına bazı süper alaşımlar ile sermetler gibi birçok malzeme grubuna uygulanabilirler [Çelik, 2002].

Dünyada bor rezervi açısından rakipsiz (%63'üne sahip) bir konumda olan ülkemiz [Oğuz, 1994], bu avantajını mutlaka teknolojiye yansıtmak durumundadır. Bor cevherinden katı ve gaz ortam borlamasında kullanılan bor bileşiklerinin üretimi, endüstriyel çapta gerçekleştirilmelidir. Batı Avrupa'da özellikle Almanya'da, Doğu

Avrupa'da ve Rusya'da 1970'li yıllardan beri borlama konusunda oldukça yoğun araştırmalar ve uygulamalar yapılmaktadır. Yurdumuzda da son yıllarda çeşitli demir esaslı alaşımlar üzerine bor kaplama konusunda akademik çalışmalar yapılmıştır. [Bozkurt, 1984], [Bindal, 1991], [Özsoy, 1991], Soydan, 1996], [Ş.Şen, 1998], [U.Şen 1997].



Şekil 1.1 Tantalyum-bor denge diyagramı [www.asminternational.org]

Bor atomları küçük tane boyutuna ve yüksek hareketliliğe sahiptir. Tantalyum içinde kolayca difüze olup Ta_2B , Ta_3B_2 , TaB , Ta_3B_4 ve TaB_2 oksit olmayan borürleri oluştururlar

Şekil 1.1'de gözüktüğü gibi, tantalyum-bor denge diyagramında ağırlıkça %2.3 - %2.6 bor oranında Ta_2B , ağırlıkça %3.7 - %4 bor oranında Ta_3B_2 , %5 - %6 bor oranında TaB , ağırlıkça %7.1 - %7.6 bor oranında Ta_3B_4 %9 - %14.5 oranında TaB_2 arabileşikleri meydana gelmektedir. Ağırlıkça %2.9 bor oranında ergime sıcaklığı 2380 °C olan ötektik faz oluşmaktadır. [www.asminternational.org]

1.8.1. Katı (Paket) Borlama Yöntemi

Borlama ortamı olarak katı maddelerin kullanıldığı yöntemdir. B_4C , KBF_4 ve SiC içeren toz veya granülden 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 malzemedan yapılmış kutular kullanılır. Borlama 1000 - 1200 °C sıcaklık aralığında ve 2 - 16 saat süreyle inert bir atmosferde yapılır [Şahin, 2004].

En yaygın olarak kullanılmakta olan bu yöntem, taban malzemesi üzerine bor veya boronkarbid bileşiminde aktivatörlerle paketlenmesiyle yapılan borlamadır. Metot yalnızca küçük boyutlu parçalara uygulanabilmektedir. Demir dışı alaşımlardan Ti, Ni esaslı alaşımlarda bu yöntemle borlanabilmekte ve bunların borürleri 3200 HV sertliğe kadar ulaşabilmektedir. Bu yöntemin işlem parametrelerinin kontrol yeteneği çok kötü olması, otomasyonun mümkün olmayıp elle çalışma mecburiyeti ve atık ürünlerinin çevreye verdiği zarar gibi dezavantajları mevcuttur [Çelik, 2002].

Kutu olarak, alaşımsız çelik, paslanmaz çelik veya alümina kutular kullanılabilir. Homojen bir ısı dağılımı için borlanacak parçaların şekli fırına uygun olmalı ve yerleştirme bu durum göz önüne alınarak yapılmalıdır.

Borlanacak parçanın etrafı yeterli miktarda yaklaşık 10-20 mm borlama tozuyla kaplanarak üst kısma SiC gibi bir dolgu malzemesi doldurulur ve kapak, hava girişini mümkün mertebe engelleyecek şekilde kapatılır. Kutu borlamada çok farklı bor bileşenleri kullanılabilir. Kutu borlamada kullanılan toz karışımlarını meydana getiren bileşenler; katı bor kaynağı akışkanlar ve aktivatörlerdir. Ticari uygulamalarda genellikle bu toz karışımları kullanılarak yapılan kutu borlama tercih edilmektedir. Sementasyona benzeyen bu yöntem; işlem kolaylığı toz bileşiminin kolayca değiştirilebilmesi, faz bileşenlerinin fazla değişikliğe uğramaması, gerekli cihaz ve donanımın basitliği ve ekonomik yönden de ucuz olması gibi faktörler dolayısı ile geniş bir uygulama alanına sahiptir [Bozkurt, 1984], [Özsoy, 1991], [Singhal, 1977], [Matuschka, 1980], [Knotek, 1977].

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 [Şahin, 2004]. Katı ortam borlamasında kullanılan bazı bor kaynakları Tablo 1.1'de verilmiştir. Tablo 1.1'de görülen bor kaynakları içinde endüstriyel uygulamalar içinde sadece borkarbür kullanılmakta olup hem fiyatı daha ucuzdur hem de kalitesinde düşme yoktur [Fichtl, 1988].

Tablo 1.4. Katı ortamda borlama işleminde kullanılan bazı bor kaynakları [Özbek, 1999].

Malzeme	Formülü	Molekül ağırlığı	Teorik Bor Oranı(%)	Ergime sıcaklığı(°C)
Amorf Bor	B	10,82*(Atom ağırlığı)	95-97	2050
Ferro Bor	Fe-B	-	17-19	-
Borkarbür	B ₄ C	55,29	77,28	2450

Tipik borlama toz karışımlarının bileşimleri (% ağırlıkça) [Özbek, 1999].

- %5 B₄C, %90 SiC, %5 KBF₄
- %50 B₄C, %45 SiC, % 5 KBF₄
- %85 B₄C, %15 Na₂CO₃
- %95 B₄C, % 5 Na₂B₄O₇
- %84 B₄C, %16 Na₂B₄O₇
- Amorf bor (%95-97)
- %(40-80) B₄C + %(20-60) Fe₂O₃
- %60 B₄C + %5 B₂O₃ + %5NAF + %30 Demir oksit
- %50 Amorf bor + %1 NH₄F.HF + %49Al₂O₃
- % 100 B₄C
- %20 B₄C + %5KBF₄ + %75 Grafit
- %95 Amorf bor, %5 KBF

Borlama maddesinin tane boyutu küçüldükçe temas yüzeyi artar. Temas yüzeyinin artması yayılımı kolaylaştırır, dolayısıyla borür tabakasının kalınlığı artar . 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 [Şahin, 2004]

Borlama işlemi uygun bir toz karışımı ile yapılabileceği gibi değişik ticaret toz karışımları ile de yapılabilir. Kullanım alanlarına ve kaplamadan istenen özelliklere göre çeşitli ticari toz karışımları Tablo .1.5’de görülmektedir.

Tablo.1.5. EKabor borlama ürünleri [Özbek, 1999]

Tip	Tane Boyutu (μm)	Yoğunluk Kompakt,gr/cm ³	Özellik
EKabor1	≤ 150	1,80	Yüzey kalitesi en yüksek tabaka için;parça yüzeyine yapışmaya eğimli
EKabor2	≤ 850	1,50	Mükemmel yüzey kalitesi ; işlem sonrası parçadan kolaylıkla ayrılma
EKabor	$\leq 1,400$	0,95	Çok iyi yüzey kalitesi, işlem sonrasındaki toz akıcılığı hala iyidir
EKaborHM	≤ 150	0,95-1,50	Çok iyi yüzey kalitesi; sert metal, küçük delik ve kalın tabakalar için
EKabor B	220-350	0,95	Oksijensiz gaz atmosferde, akışkan yatakta borlama için
EKaborpasta	-	1,90	Daldırma fırça ile sürme ve püskürtmeyle uygulanabilir, inert gaz altında çalışılmalı
EKrit	≤ 420	1,55	Örtü malzemesi, borlama süresince toz borlama ürünlerine oksijen sızmasını önler

1.8.2. Borlama İşleminin Avantajları

- Borlama işleminin en önemli karakteristik özelliği, elde edilen borür tabakasının çok sert (1450-5000HV) ve yüksek ergime sıcaklığına sahip olmasıdır. Sade karbonlu çelikler üzerinde oluşturulan borür tabakalarının sertliği, diğer geleneksel sertleştirme yöntemleri olan sementasyon ve nitrürasyona göre çok daha yüksektir. Hatta bu sertlik, sertleştirilmiş takım çeliklerinin ve sert krom kaplamanın sertliklerinden daha yüksek, tungsten karbürüne ise eşdeğerdir. Bor kaplanmış çeliklerin ve diğer sert metallerin yüzey sertlikleri Tablo. 1.3'de verilmektedir. [Sinha, 1991], [www.ceramics.com], [Bindal 1997], [Singhal, 1997]
- Borür tabakalarının yüksek yüzey sertliğine ve düşük sürtünme katsayısına sahip olmaları; adhezif, tribo-oksidasyon (kimyasal), yüzey yorulması ve abrazyon aşınma gibi temel aşınma mekanizmalarının oluşumunu önlemede çok önemli fayda sağlar. Bu sayede kalıp üreticilerinin, pahalı ve zor işlenen takım çelikleri yerine, üstelik orijinal malzemeninkinden daha üstün özelliklere ve aşınma direncine sahip olan kolay işlenen çelikleri kullanabilmeleri mümkün olmuştur. Bu ise takım ve kalıp ömrünü artırdığı gibi yağlayıcı kullanımını da azaltır.
- Borür tabakası, 550-660 °C sıcaklıklarda bile sertliğini korumaktadır.
- Isıl işlem uygulanabilen malzemeler performanslarını optimize etmek için borlama sonrası tamamen sertleştirilebilirler.
- Borlama, bir iş parçasının sertleştirilmesi istenen seçilmiş bölgelerine, düzensiz karmaşık şekillere üniform bir şekilde uygulanabilir.
- Soğuk yapışma kaynağına eğilimi azalmaktadır.
- Borlama işlemi, demir esaslı malzemelerin oksitleyici olmayan seyreltik asitlere karşı korozyon direncini ve bu malzemelerin erozyon dirençlerini artırmaktadır. Bu özellikleri sebebiyle de endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Borlama işlemi ile, düşük alaşımlı çeliklerin, H₂SO₄, H₃PO₄ ve HCl gibi asitlere karşı direncini artırmak mümkündür.
- Borlanmış yüzeyler çok yüksek sıcaklıklarda (850 °C) orta seviyede oksidasyon direncine sahiptir.
- Oksitleyici ve korozif ortamlarda parçanın yorulma ömrünü artırır.

- Borlama yüzeyi, çok hassas bir şekilde parlatılabilir . [Kartal, 2005].

1.8.3. Borlama İşleminin Dezavantajları

- Bu proses çok hassas bir işlem ve işçilik gerektirmektedir. Bu nedenle borlama, gaz karbürleme ve plazma nitrürleme gibi termokimyasal yüzey sertleştirme işlemlerine oranla daha pahalıdır.
- Borlama sonucunda, taban malzemesinin kompozisyonuna bağlı olarak borlanmış tabaka kalınlığının % 5-25' i oranında boyutsal artış gerçekleşir.
- Yüzeyin geleneksel yollarla işlenmesi kaplama tabakasında kırılmalara neden olmaktadır. [Sinha, 1991].

1.8.4. Borür Tabakası Ve Özellikleri

Borür tabakası malzemenin en dış yüzeyi ile yüzeyin altındaki parmaklı (dişli) kısım arasına verilen addır. Bu bölgeye difüzyon bölgesi de denmektedir. Borür tabakasının kalınlığı malzemenin kimyasal bileşiminin yanı sıra işlem sıcaklığı, işlem yöntemi ve süresine bağlıdır [Oian, 1995].

Borlama işlemi sırasında uygulanan yöntem, kullanılan borlama maddesi, borlanan malzemenin cinsi ve işlem parametreleri oluşan borür tabakasının şekline ve özelliklerine etki eden faktörlerdir.

Borlama süresi ne kadar uzun olursa, borür tabakası o kadar kalın olur. Bununla beraber, boron atomları borür tabakası içinden matrise doğru difüze olduğundan dolayı boron difüzyonu gittikçe zorlaşmaktadır ve boron konsantrasyonu yüzeyde artmaktadır. [Özbek, 2002]

Borür tabakalarının içindeki sertlik farklılıkları yapısal hataların mevcudiyetinden ve farklı borür tiplerinden kaynaklanmaktadır [Özbek, 2002].

Geçiş bölgesi, borür tabakası ile ana yapı (matris) arasında kalan bölgeye verilen addır. Bu bölgede bulunan bor, borür oluşturamayacak miktardadır. Bunun nedeniyle de geçiş bölgesinin meydana geldiği bilinmektedir. Geçiş bölgesi,

mikroyapı bakımından esas malzeme ve borür tabakasından farklıdır. Bu bölgenin kalınlığı, borür tabakasının 10-15 katıdır. Bor tane irileşmesine sebep olduğundan geçiş bölgesinde malzemenin taneleri irileşmekte ve sertliği de artmaktadır [Delikanlı 2003].

1.8.5. Borlanabilen Malzemeler

Endüstriyel olarak borlama işlemi, çok geniş bir yelpazedeki demir esaslı alaşımların hemen hepsine ve bazı demir dışı alaşımlara uygulanmaktadır. Sade karbonlu, paslanmaz ve takım çelikleri gibi yapısal çeliklere, döküm çeliklere, Armco demire (ticari saflıkta), gri ve küresel grafitli dökme demirlere, sinterlenmiş demir ve çeliklere uygulanabilmektedir. Buna ilaveten, nikel, kobalt, molibden, titanyum, krom, mangan ve tantalum gibi demir dışı metal alaşımlarına, bazı seramiklere de uygulanmaktadır. Altlık malzemenin uygunluğuna göre borlama işlemi 800-1050 °C sıcaklık aralığında yapılabilir. Fakat gri dökme demir ve sert metallerde bu kadar yüksek sıcaklıklara çıkılamaz. Gri dökme demirlerin borlanması 850-880 °C sıcaklık aralığında gerçekleştirilir. Çünkü steadit ötektiği içeren gri dökme demir, 950 °C’de ergimeye başlayacak ve bunun sonucunda ise iş parçasının yüzeyi deforme olacaktır. Sert metallere için tavsiye edilen sıcaklık ise en fazla 900°C civarındadır. Daha yüksek sıcaklıklarda altlık malzemenin borlanmasının yanında wolfram karbür partiküllerinin veya mevcut diğer sert karbürlerin de parçalanıp borürlere dönüşmesi mümkündür [Özbek, 1999].

Genellikle tüm metaller borür oluştururken, sadece çok az metal, borür oluşturmaz. Bunlar altın, bizmut, kadmiyum, bakır, kurşun, antimon, tellür ve çinkodur. Bu metallere sadece bakır ve altının ergime sıcaklığı 700 °C nin üzerindedir [Kartal, 2005].

Alüminyum, çinko ve magnezyum alaşımları düşük ergime sıcaklıklarından dolayı borlanamayan alaşımlardır [Özbek, 1999].

Nikel üzerindeki bor tabakaların yüksek sertliğe ve mükemmel aşınma dayanımına sahip olduğu bildirilmektedir ve titanyum borların yüksek sertlikte ve mükemmel korozyon aşınma ve oksidasyon dayanımına sahip olduğu iyi bilinmektedir [Anthymidis, 2002].

Saf Tungsten'in üzerinde oluşturulan borür tabakasının yoğun ve dişli bir morfolojiye sahiptir. Mikroyapısal çalışmalar üç farklı bölge göstermektedir.

1) WB'den oluşan yüzey tabakası 2) Borür katı çözültiden oluşan geçiş bölgesi., bu bölge ana metalden daha yüksek sertlik değerine sahiptir. 3) Borondan etkilenmeyen ana metal. Borür tabakanın sertliği 2500 HV iken ana metalin sertliği 445 HV'dir. [Usta, 2005].

Saf Niobium'un üzerinde oluşturulan borür tabakasının yoğun ve dişli bir morfolojiye sahiptir. Mikroyapısal çalışmalar üç farklı bölge göstermektedir . 1) NbB₂'den oluşan yüzey tabakası 2) Borür katı çözültiden oluşan geçiş bölgesi, bu bölge ana metalden daha yüksek sertlik değerine sahiptir. 3) Borondan etkilenmeyen ana metal. Borür tabakanın sertliği 2500 HV iken ana metalin sertliği 110 HV'dir. [Usta, 2005]

Alüminyum içeren çeliklerin (mesela nitrürleme çeliği 34CrAlNi7, malzeme no:1.8550) borlanması tavsiye edilmemektedir. İçerisinde ~%1'den fazla silisyum bulunan çelikler kalın borür tabakası için uygun olmayan malzemelerdir. Bu malzemelerdeki alüminyum ve silisyum, bor atomlarının difüzyonu sırasında yüzeyden içerilere doğru itilirler. Difüzyon bölgesinde Fe₂B fazının altında ferritik bir bölgenin oluşumuna yol açarlar. Bunun sonucu olarak son derece sert borür tabakasının altında orijinal altlık malzemedan daha yumuşak bir tabaka yer alacaktır. Eğer iş parçası, oldukça yüksek gerilmelere maruz kalırsa, sert borür tabakası bunu yumuşak ferrit bölgesine itilecek ve borür tabakasının parçalanmasına (yumurta kabuğu etkisi) yol açacaktır [Özbek, 1999].

1.8.6. Borlayıcı Ortamın Bileşimi Ve Konsantrasyonunun 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. B₄C den B'nin yalnız bırakılması için ortamda redüksiyonu sağlayacak bir madde (redükta) bulunmalıdır. Böylece redükta bir madde olan SiC ile B₄C bileşiminden B (elementsel bor) elde edilir. Serbest kalan B'nin oksijene olan

afinitesi çok yüksektir ve hemen oksijenle B_2O_3 oluşturur. Bunu önlemek için ortamda yeterince SiC bulunmalıdır [Şahin, 2004]

1.8.7. İşlem Sıcaklığı ve Süresinin Tabaka Kalınlığına Etkisi

Bor oksitten Bor elementinin serbest kalması için belirli bir sıcaklık gerekir. Metal ve bor oksidin birlikte redüksiyonu (koredüksiyonu) bor bileşiklerinin oluşumundan dolayı tek tek redüksiyonundan daha hızlıdır. İşlem devam ettikçe metal 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 [Şahin, 2004].

Borlama süresinin artması ile tabaka kalınlığı artar. İşlem sıcaklığını sınırlayan erimedir. Uygulamada ötektik 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 [Şahin, 2004]

1.8.8. Borlu Tabakanın Tribolojik Özellikleri

Aşınma direnci için, malzemenin aşındırıcıdan daha sert ve sürtünme katsayısının düşük olması gerekir. Borlama ile bu özellikler geniş ölçüde sağlanabilmektedir [Bozkurt 1984].

Borlanmış çelikler yüksek sertliklerinden dolayı abrasif aşınmaya karşı çok iyi direnç gösterirler. Bu nitrürlenmiş ya da karbürleşmiş çeliklerle kıyaslandığında mükemmel derecede fazladır. Abrasif aşınmanın meydana geldiği ve borlama ile önemli ölçüde düşürüldüğü sistemlere; pnömatik transport sistemleri, plastik işleme makineleri, haddeleme elemanları, pompalar, valfler vs. örnek olarak verilebilir [Çelik, 2002].

Adhezif aşınma mukavemeti bakımından diğer yöntemlerden oldukça üstün olduğu görülmektedir. Burada, yüksek sıcaklıklardaki mukavemeti özellikle ön plana çıkarmakta olup, borlu tabakaların iyi aşınma özelliği göstermesi sebebi ile çok az ya

da hiç yağlayıcı kullanmasızın çevreyi korumak için gelecekte önemli bir etken olacaktır [Çelik, 2002].

Borlanan çeliğin eroziv aşınmaya karşı gösterdiği direnç sertlikten ziyade oluşan bor tabaksının derinliğiyle alakalıdır. Bu sebeple işletme şartlarında yüksek tabaka kalınlığı oluşturmaya yönelik parametrelerin belirlenmesi gerekir [Nair, 2003].

Bor'un oksijene afinetesi fazla olduğundan yüzeyde koruyucu ince bir oksit filmi oluşturmakta, bu oksit filmi yüzeyde yağlayıcı vazifesi görerek, sürtünmeli aşınma esnasında sürtünme katsayısını düşürürken, yüzeylerin birbirine kaynamasını da önler. Kaymalı sürtünmelerde açığa çıkan ısı, semente edilmiş tabakanın yumuşamasına neden olurken borlu tabakaya etki etmez [Bozkurt, 1984].

Adhezif aşınma mukavemetleri demirbor tabakalarında Cr ve Mo ilavesiyle iyileştirilebilir. Abrasif aşınma Cr, Mo, V veya bunların hepsi üzerine vanadyum karbidlerin solüsyonlarıyla düşürülür. Yüzey yorulmasına karşı düşük mukavemet Mo ve V'la yükseltilir. Triboksidatif aşınma alaşım elementleriyle çok az etkilenir. Demir dışı metallerin borlanmasında özellikler Ti, Ta ve Ni metallerinin abrasif aşınma özelliklerinde çok büyük iyileşme gözlenmektedir. Ti ve Ta' ın aşınma mukavemetine olumlu yönde etki ettiği saptanmıştır [Çelik, 2002].

Borlanmış yüzeylerin aşınma açısından diğer bir üstünlüğü, gerek çalışma ortamından kaynaklanan, gerekse kayma sürtünmesi sonucunda ortaya çıkan ısının, borlu tabakanın sertliklerinde ve aşınma dayanımlarında büyük bir düşüşe neden olmamasıdır [Özbek, 1999].

Bor tabakanın 1000 °C' e kadar ısıya karşı iyi bir dayanımı vardır ve 650 °C' den sonra borlanmış yüzeyin üstündeki oksidasyondan dolayı aşınma dayanımları mükemmeldir. Oksidasyondan filmi metal-metal temasını korur ve sürtünme katsayısını düşürür [Kuzucu 2000].

Borlanmış, karbürleşmiş ve bu iki işlemede maruz kalmış numunelerin aşınma mukavemetleri araştırıldı. Beklendiği gibi en büyük aşınma kaybını işlem görmemiş

numunelerde görüyoruz. Yine beklendiği gibi borlanmış AISI 1020 çeliği en yüksek sertliğe ve en az aşınma kaybına sahiptir. Hafif yüklerdeki kaymalı şartlar altındaki işlemlerde, borlanmış düşük karbonlu çelikler karbürleşmiş alaşımın yerine kullanılabilmesi anlaşılıyor [Kuzucu, 2000].

Daha önceki çalışmalar gösteriyor ki en yüksek aşınma dayanımı bor tabakası tek fazlı Fe₂B den meydana geliyorsa yani FeB fazı oluşmamışsa elde ediliyor. FeB tercih edilmiyor çünkü daha yüksek iç gerilime sahiptir. Ancak FeB difüzyon tavlamaıyla engellenebiliyor [Meriç, 2002]

Fe₂B ve FeB fazlarının termal genişleme farklılıkları Fe₂B ve FeB fazlarının arayüzeyinde çatlaklara yol açar. Bu sebepten dolayı sadece Fe₂B fazından oluşan bor tabakasının aşınma mukavemeti çift fazlı olan tabakalardan çok daha yüksektir. FeB fazı Fe₂B fazından daha gevrek yapıda olduğundan dolayı arzu edilmez [Uslu, 2005]

Kaplamaların aşınma hızı kayma ve abrasif şartlar altında, başlangıçta hızlıdır çünkü yüzeyde ince ve gevrek olan düzensiz kristal tabaka vardır. Daha sonra aşınma hızı azalır çünkü düzenli yapıdaki FeB ve Fe₂B yapıları aşınmaya karşı dayanıklıdır. Fe₂B fazında aşınma minimuma iner çünkü, Fe₂B düzenli kristallerinden oluşan kompakt bir tabaka aşınma hızını azaltır [Prandstraller, 2004]

1.8.9. Borlama Kinetiği

Bor tabakasının büyümesi numune yüzeyine dik olarak boron difüzyonunun bir sonucu olarak meydana gelmektedir. Bor tabakasının büyümesi parabolik kanuna uymaktadır [Uslu, 2005].

K sabiti, difüze olan elemente ve difüzyon katsayısı ile ilişkili bir bağıntıdır. [Melendez, 1997].

$$X^2 = Kt$$

eşitlik [1]

t = proses süresi

K = Büyüme hız sabiti

X= Borür tabakası kalınlığı

[Melendez, 1997]

“K”, x^2 nin işlem süresine karşılık gelen grafiğin eğrisinden hesaplanmaktadır. Hız sabiti “K” ile sıcaklık arasındaki bağıntı Arrhenius eşitliği ile açıklanabiliyor [Uslu, 2005].

Büyüme hız sabiti ile sıcaklık arasındaki bağıntı (Arrhenius eşitliği) [Bouayad, 2003]

$$K=K_0.e^{-Q/RT} \quad \text{eşitlik [2]}$$

Büyüme hız sabiti ile sıcaklık bağıntısının logaritmasını alırsak

$$\ln K = \ln K_0 - (Q/RT) \quad \text{eşitlik [3]}$$

K_0 = Frekans faktörü

Q = Aktivasyon enerjisi (j/mol)

T = Mutlak sıcaklık (K°)

R = Gaz sabiti (8.32 j/mol K)

Sonuç olarak bor tabakası içindeki bor difüzyonunun aktivasyon enerjisi $\ln K'$ nın $1/T$ ile grafikteki olan eğiminden elde ediliyor. Aktivasyon enerjisi ve K_0 $1/T=0$ da elde edilen düz çizginin eğiminden bulunuyor [Sen, 2005]

2. ÇALIŞMANIN AMACI

Tantalyum'un borlanması sırasında oluşan reaksiyonların kinetikleri hakkında hiçbir çalışma literatürde bulunmamaktadır. Bu çalışmanın yapılmasının amacı tantalyum'un (Ta) borlanması ile ilgili önemli bilgiler elde etmektir.

Bu çalışmanın yapılmasıyla hakkında bilgi edinmek istediğimiz başlıca konular aşağıdaki gibidir;

- Tantalyum'un borlanması sonucu borür tabakasının kalınlığı, sertliği ve borlama reaksiyon kinetikleri hangi değerlerde olur?
- Tantalyum (Ta) malzemenin borlanması ile sadece yüksek sertlikteki TaB₂ fazından oluşan borür tabakası elde edilebilir mi?

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. DeneYlerde Kullanılan Numuneler

DeneYlerde TantalYum (Ta) altlık malzeme olarak %99.95 saf tantalYum malzeme kullanılmıştır [Alfaser Kataloğu].

3.2. Borlama İşlemi

Borlama işlemi katı-toz ortamında gerçekteştirilmiştir. Bor kaynağı olarak EKabor® 1 ve deoksidan olarak EKrit® toz karışımları kullanılmış (Bkz Tablo1.2) olup, her iki malzeme de Salihli/Manisa'da bulunan Vezneli A.ř.'den temin edilmiştir.

Borlama işlemi 1040 °C, 1090 °C ve 1140 °C sıcaklıklarda 2, 4, 8, 12, 16 saat sũrelerle atmosferik şartlarda yapılmıştır. Ta numuneler kesici disk ile sulu ortamda 7mm x 2mm silindirik ebatlarında kesilmişlerdir. Borlama tozu ile doldurulmuş olan pota iãerisine Ta numuneler, yũzeyleri 500 no'lu zımparayla parlatılarak gũmũlmũř, potanın en yũstũne de en az 15 mm kalınlığında deoksidan toz serilerek potanın kapağı kapatılmıştır. Her bir borlama işlemi iãin yeni toz karışımları kullanılmıştır. Numune ile pota kenarları arasında en az 12 mm borlama tozu olacak şekilde yerleştirme yapılmış ve işlem sıcaklığına ııkartılmış olan elektrik direnç fırınına yerleştirilmiştir ve bu sıcaklıkla belirtilen sũrelerde tutulmuştur. Borlama sonrası fırından ııkartılan numuneler oda sıcaklığına kadar pota iãerisinde havada soğutulmuşlardır. Potadan ııkarıldıktan sonra numunelerin yũzeyi metanol kullanılarak ultrasonik temizleme yũntemi ile temizlenmiştir.

3.3. X- Işınları Difraksiyon Analizi

Numunelerin yũzeyinde oluşan borũr fazlarının tespiti iãin Rigaku X-ray difraktometresi kullanılmıştır. Analizde 1.504 Å dalga boyunda 2θ' sı 20° - 90° arasında olan Cu K_α için demetleri kullanılmış ve hangi fazların oluştuğu bulunmuştur.

3.4. Metalografik İncelemeler

Borlama işleminden sonra numuneler bakalite alınıp 180, 500, 800 ve 1200 nolu zımparalama kademelerinden geçirilmiştir. Parlatma işlemi ise 3 µm'lik elmas pasta ile gerçekleştirilmiştir.

Tabaka kalınlığı ölçümleri Anton Paar mikrosertlik cihazıyla ölçülmüştür. Tabakanın 10 ayrı noktasından tabaka kalınlığı değerleri alınmıştır.

3.5. Sertlik Ölçümleri

Tantalyum (Ta) yüzeyinin üzerinde oluşan borürlerin ve borlanan Ta malzemenin mikrosertliği Anton Paar mikrosertlik cihazı ile ölçülmüştür. Borlama işleminden sonra numunelerin mikrosertlikleri malzemenin yüzeyinden içerilere doğru farklı mesafelerde ölçülmüştür. Her numunede tabakanın sertlik değeri en az beş ayrı noktadan alınan sertlik değerinin ortalamasıdır.

3.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemesi

Borür tabaka yapısının morfolojisinin incelenmesinde, Philips marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Farklı borlama sıcaklığı ve süresi için borlama işlemine maruz kalan numunelerin elektron mikroskobu (SEM) resmi çekilmiştir.

4. SONUÇLAR VE İRDELENMESİ

4.1. X- Işınları Difraksiyon Analizi

1040 °C, 1090 °C ve 1140 °C sıcaklıklarda 2, 4, 8, 12, 16 saat süreyle borlanmış Ta numunelerin yüzeyinde oluşan borür tabakasındaki mevcut fazların tayini için x-ışınları difraksiyon analizi kullanılmıştır. Analizler yapılırken, Rigaku X-ray difraktometresi kullanılmıştır.

Şekil 4.1'den şekil 4.5 kadar ki şekiller borlanmış tantalumların x-ışınları difraksiyon paternlerini gösteriyorlar. X-ışını çalışmaları TaB₂ fazının hakim faz olduğunu gösteriyor. Her sıcaklıkta ve sürede.

Şekil 4.1'de 1040 °C, 1090 °C ve 1140 °C sıcaklıklarda 2 saat süreyle yapılan borlama işlemlerinin x-ışınları sonuçları gözüküyor. 1040 °C'de yapılan 2 saatlik borlamada TaB₂, Ta ve TaB fazı gözüküyor. 1090 °C'de yapılan 2 saatlik borlamada TaB₂ fazıyla birlikte TaC oluştuğu gözüküyor. 1140 °C'de yapılan 2 saatlik borlamada ise TaB₂ fazının yanında Ta ve TaB fazlarının oluştuğu gözüküyor.

Şekil 4.1 (a)'da TaB ve TaB₂ piklerinin varlığı bize kaplamanın olduğunu Ta pikinin görülmesi ise bazı bölgelerinde kaplamanın tam olarak olmadığını veya Ta metalinden geldiğini göstermektedir.

Şekil 4.1 (b)'de sıcaklık arttıkça TaB₂ pikinin şiddeti çok değişmemekle birlikte piklerin sayısı artmakta ve Ta piki belirmemektedir. Bu artan sıcaklıkla birlikte kaplamanın homojen olarak dağıldığını göstermektedir. Artan sıcaklığın bir diğer etkisi olarak TaC fazı belirmektedir. Şekil 4.6'dan TaC oluşumunu C-Ta denge diyagramından da anlayabiliyoruz.

Şekil 4.1' (c)'de TaB₂ piklerinin sayısı ve şiddeti değişmemekte artan sıcaklıkla birlikte TaB pikinin varlığı kaplamanın yoğunlaştığını fakat Ta piki belirmesi sebebi ile kaplamanın homojen olarak dağılmadığını görmekteyiz.

Sonuç olarak 2 saatlik değişken sıcaklıklarda kaplamanın varlığı olmakla birlikte homojen bir kaplamadan söz edemeyiz.

Şekil 4.2’de 1040 °C, 1090 °C ve 1140 °C sıcaklıklarda 4 saat süreyle yapılan borlama işlemlerinin x-ışınları sonuçları gözüküyor. 1040 °C’de yapılan 4 saatlik borlamada TaB₂, Ta ve TaB fazı gözüküyor. 1090 °C’de yapılan 4 saatlik borlamada TaB₂ ve Ta ile birlikte TaC fazı oluştuğu gözüküyor. 1140 °C’de yapılan 4 saatlik borlamada ise TaB₂ fazının yanında TaC fazı oluştuğu gözüküyor.

Şekil 4.2 (a)’da TaB ve TaB₂ piklerinin varlığı bize kaplamanın olduğunu Ta pikinin görülmesi ise bazı bölgelerinde kaplamanın tam olarak olmadığını veya Ta metalinden geldiğini göstermektedir.

Şekil 4.2 (b)’de TaB₂ pikinin şiddeti ve sayısı artmakta bununla birlikte artan sıcaklıkla TaC piki belirginleşmekte az şiddette ve miktardaki Ta piki kaplamanın bütünüyle bir homojenlik sağlamadığını göstermektedir.

Şekil 4.2 (c)’de TaB₂ piki belirirken Ta pikinin olmaması kaplamanın bir homojenisasyon sağladığını göstermektedir. Artan sıcaklık TaC piki varlığını korumaktadır.

Sonuç olarak artan sıcaklık ve zamanla kaplamada artan bir homojen dağılımın sağlandığı görülmektedir ama yeterli değildir.

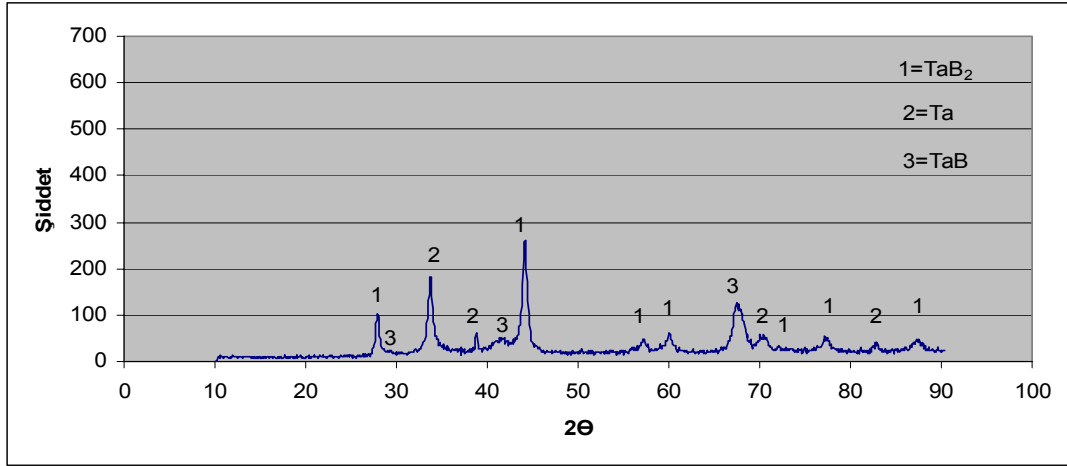
Şekil 4.3’de 1040 °C, 1090 °C ve 1140 °C sıcaklıklarda 8 saat süreyle yapılan borlama işlemlerinin x-ışınları sonuçları gözüküyor. 1040 °C’de yapılan 8 saatlik borlamada sadece TaB₂ fazı gözüküyor. 1090 °C’de yapılan 8 saatlik borlamada TaB₂ fazıyla birlikte Ta ve TaC fazlarının oluştuğu gözüküyor. 1140 °C’de yapılan 8 saatlik borlamada ise TaB₂ fazının yanında TaC fazının oluştuğu gözüküyor.

Şekil 4.3 (a)’da TaB₂ pikinin şiddeti artmaktadır ve tek fazdır. Bu kaplamanın homojen bir şekilde dağıldığını göstermektedir.

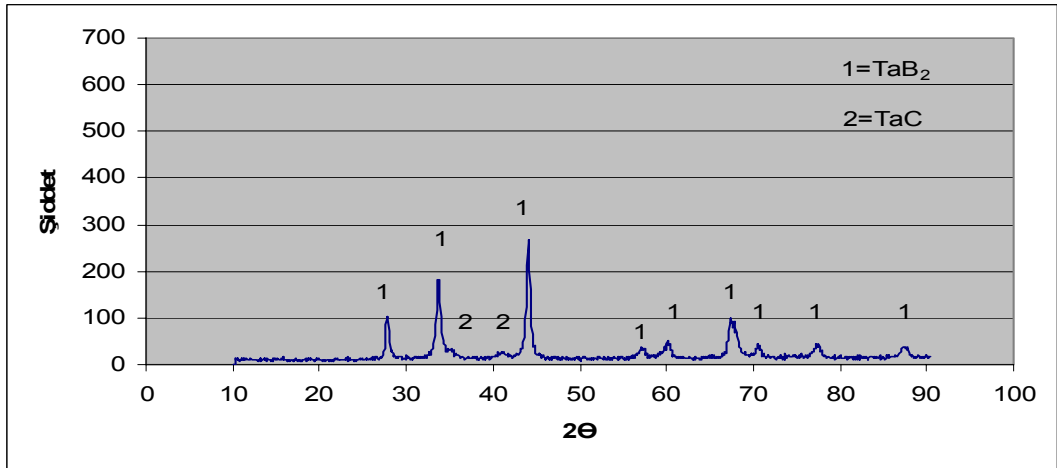
Şekil 4.3 (b) 'de TaB₂ piki varlığını korumakta şiddeti artmaktadır. Artan sıcaklıkla birlikte TaC fazı belirlemektedir. Şiddeti düşük ve az sayıdaki Ta piki bazı bölgelerde kaplamanın azaldığını göstermektedir.

Şekil 4.3 (c)'de TaB₂ piki çok değişiklik göstermemekle birlikte TaC pikinin şiddeti ve varlığı artmaktadır. Ta pikine rastlanmaması kaplamada homojen bir dağılımın olduğunu göstermektedir.

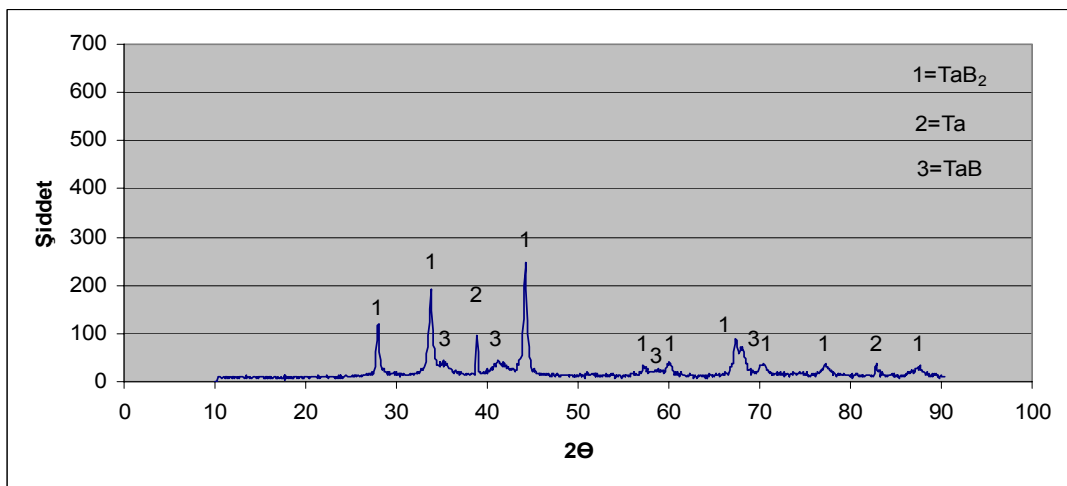
Sonuç olarak artan sıcaklık ve süre ile kaplamada TaB₂ varlığını ve şiddeti arttırmakta ayrıca kaplamanın malzeme yüzeyinde Ta pikinin azlığından dolayı homojen bir şekilde dağıldığını söyleyebiliriz.



(a)

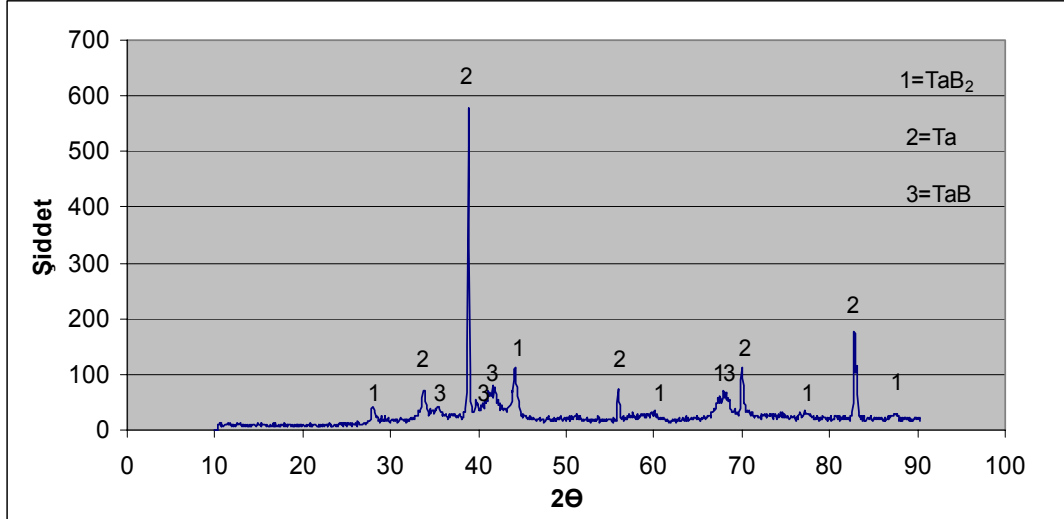


(b)

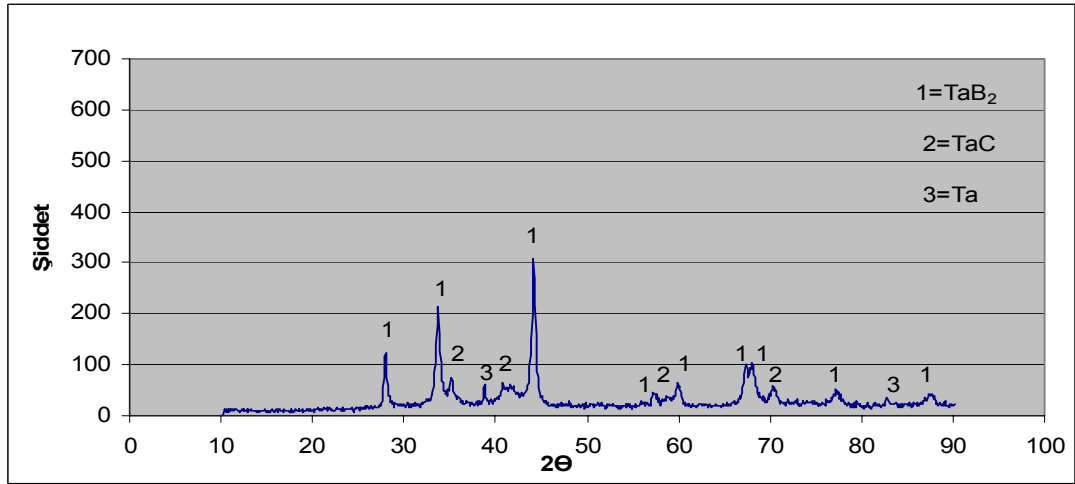


(c)

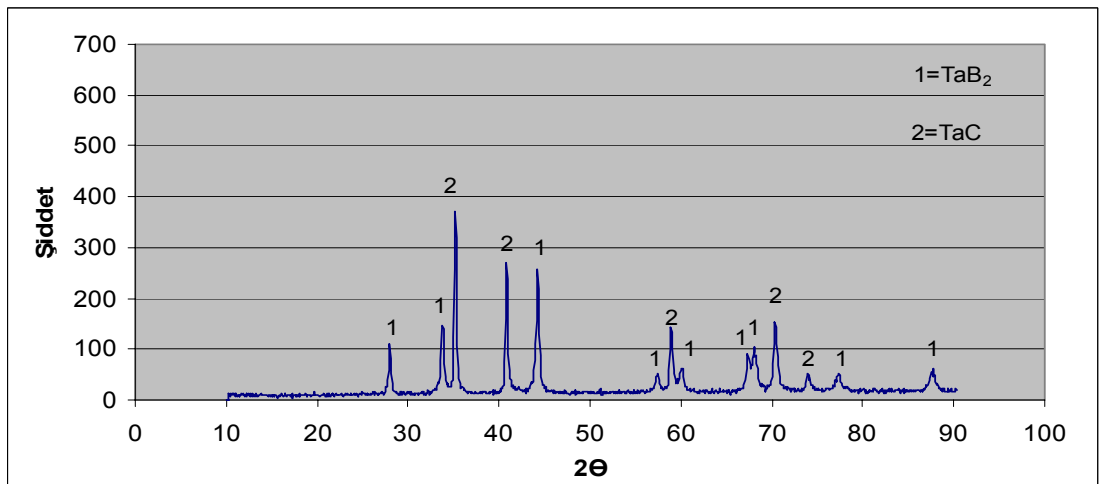
Şekil 4.1 Çeşitli sıcaklıklarda 2 saat süreyle tantaliumun x-ışınları difraksiyon paternleri: (a) 1040 °C, (b) 1090 °C, (c) 1140 °C



(a)

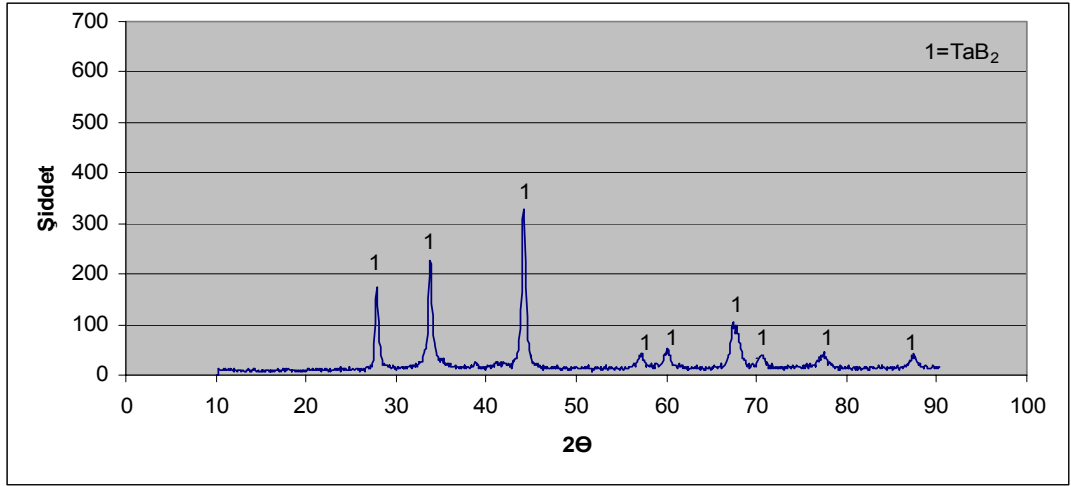


(b)

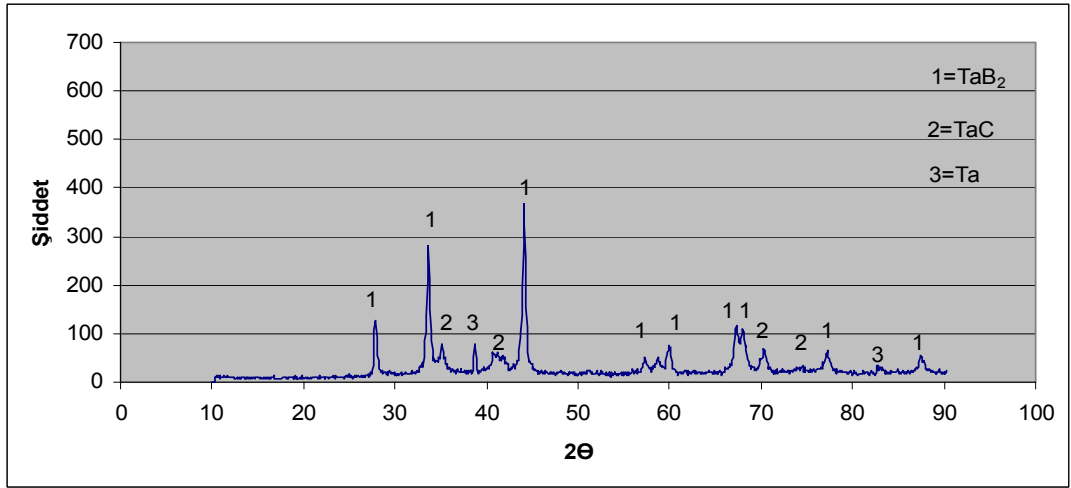


(c)

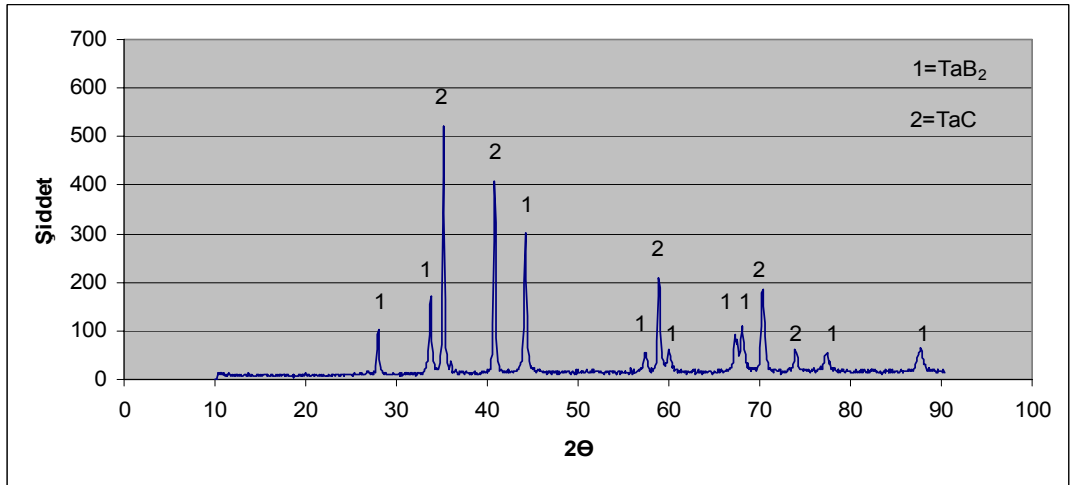
Şekil 4.2 Çeşitli sıcaklıklarda 4 saat süreyle borlanmış tantalyumun x-ışınları difraksiyon paternleri: (a) 1040 °C, (b) 1090 °C, (c) 1140 °C



(a)

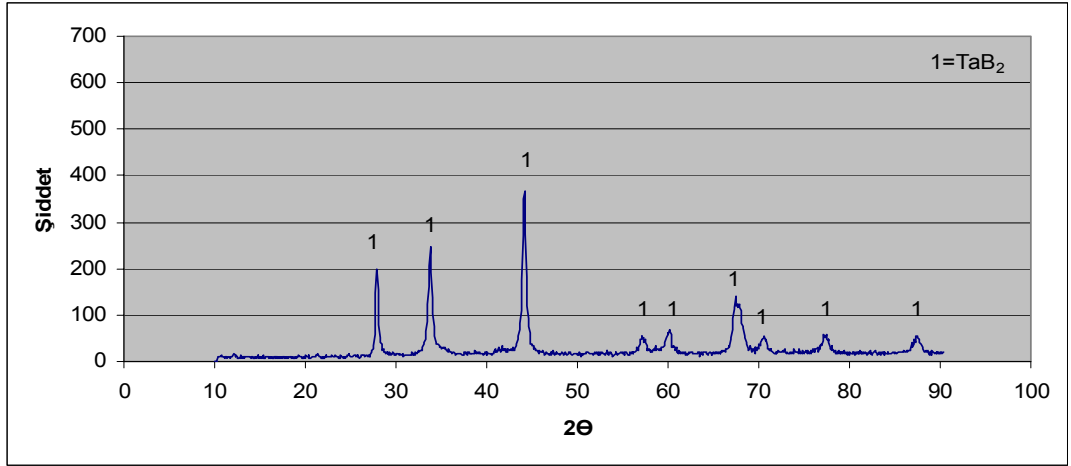


(b)

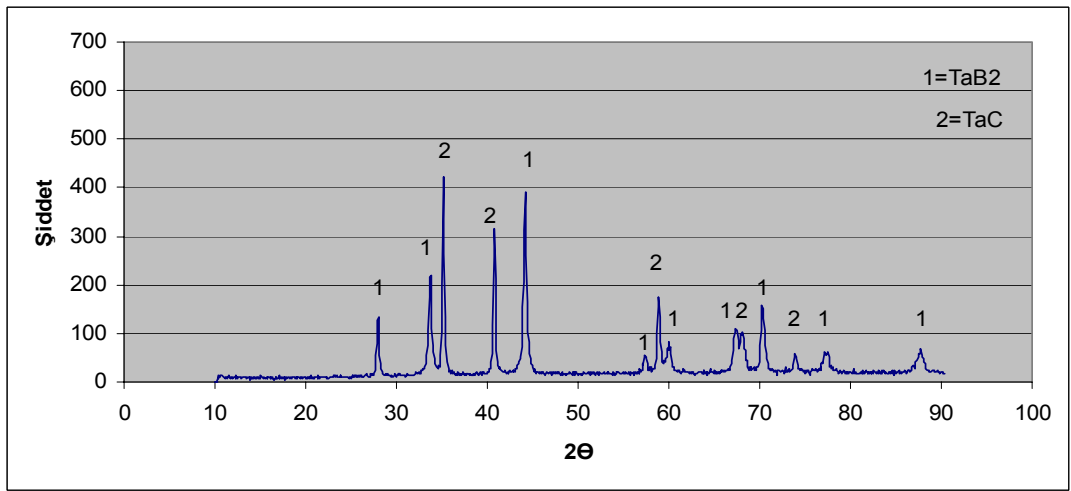


(c)

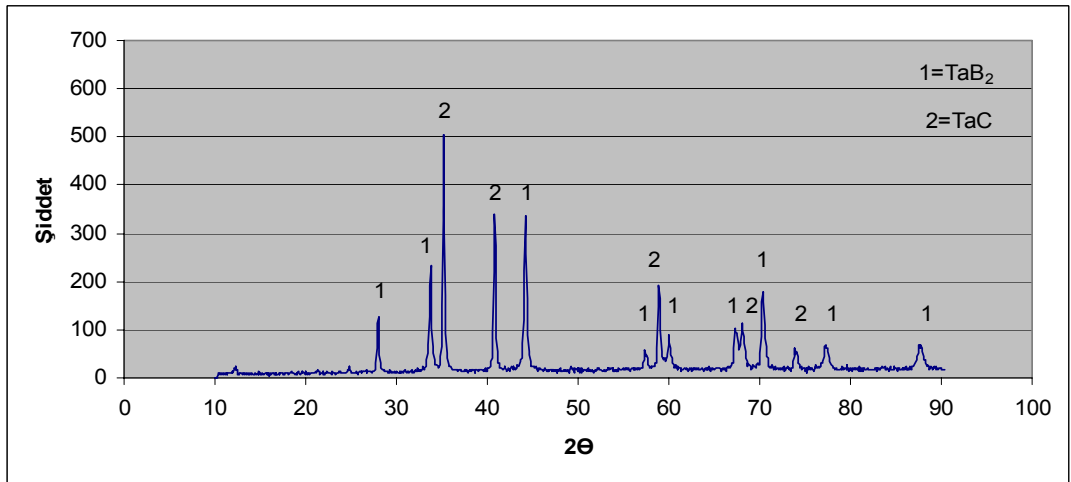
Şekil 4.3 Çeşitli sıcaklıklarda 8 saat süreyle tantaliumun x-ışınları difraksiyon paternleri: (a) 1040 °C, (b) 1090 °C, (c) 1140 °C



(a)

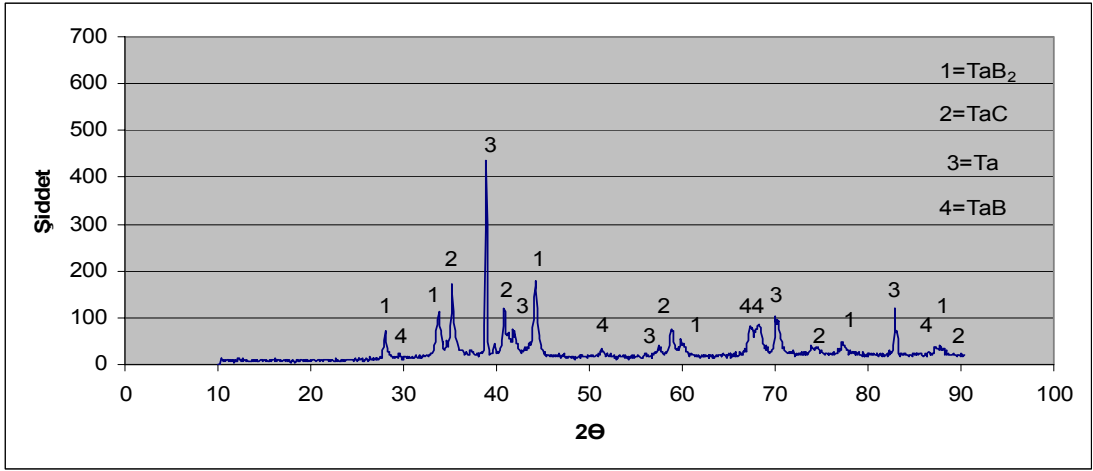


(b)

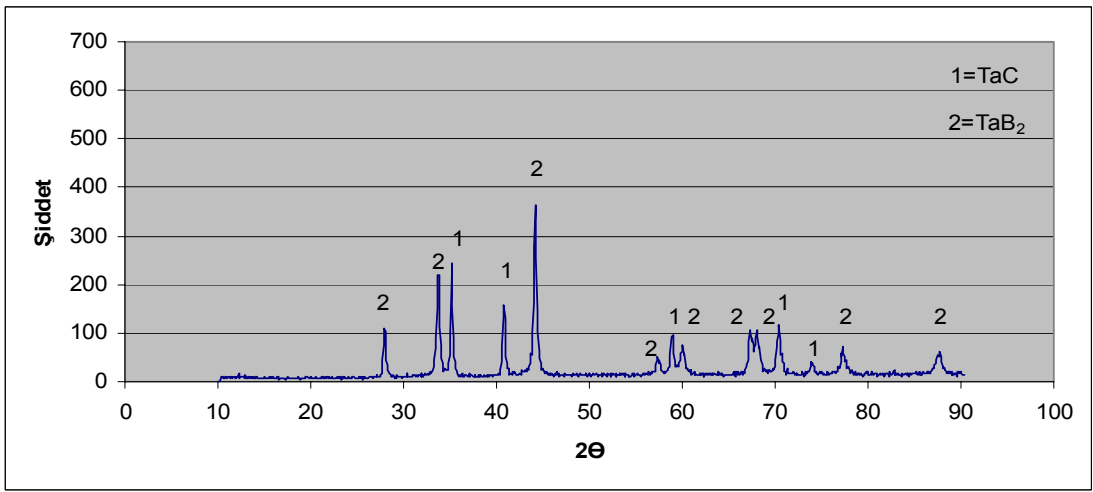


(c)

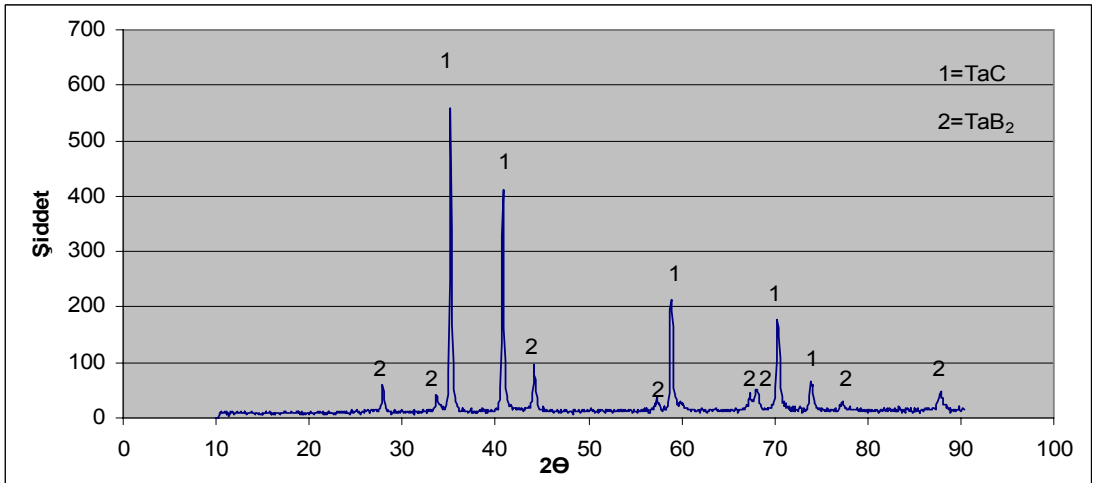
Şekil 4.4 Çeşitli sıcaklıklarda 12 saat süreyle tantaliumun x-ışınları difraksiyon paternleri: (a) 1040 °C, (b) 1090 °C, (c) 1140 °C



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.5 Çeşitli sıcaklıklarda 16 saat süreyle tantaliumun x-ışınları difraksiyon paternleri: (a) 1040 °C, (b) 1090 °C, (c) 1140 °C

Şekil 4.4’de 1040 °C, 1090 °C ve 1140 °C sıcaklıklarda 12 saat süreyle yapılan borlama işlemlerinin x-ışınları sonuçları görünmektedir.. 1040 °C’de yapılan 12 saatlik borlamada yine sadece TaB₂ fazı görünüyor. 1090 °C’de yapılan 12 saatlik borlamada TaB₂ fazıyla birlikte TaC fazlarının oluştuğu görünüyor. 1140 °C’de yapılan 12 saatlik borlamada tekrar TaB₂ fazının yanında TaC fazının oluştuğu görünüyor.

Şekil 4.4 (a)’da tek faz TaB₂’dir. Bu bize kaplamanın çok homojen olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.4 (b)’de TaB₂ fazı varlığını ve şiddetini korumaktadır. Artan sıcaklıkla birlikte TaC oluştuğunu piklerinden anlayabiliyoruz.

Şekil 4.4 (c)’de TaB₂ fazı varlığını ve şiddetini korumaktadır. Artan sıcaklıkla birlikte TaC piklerinin şiddeti artmaktadır.

Sonuç olarak borlama süresinin artması borlama tabakasının daha sıkı ve homojen bir yapıya sahip olmasında etken olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.5’de 1040 °C, 1090 °C ve 1140 °C sıcaklıklarda 16 saat süreyle yapılan borlama işlemlerinin x-ışınları sonuçları görünüyor. 1040 °C’de yapılan 16 saatlik borlamada TaB₂ fazı ile birlikte TaC, Ta ve TaB fazları da görülmektedir. Bütün fazlar tek bu sıcaklık ve sürede görülmüştür. 1090 °C’de yapılan 16 saatlik borlamada TaB₂ fazıyla birlikte TaC fazının oluştuğu görülmektedir. 1140 °C’de yapılan 16 saatlik borlamada tekrar TaB₂ fazının yanında TaC fazının oluştuğu görülmektedir..

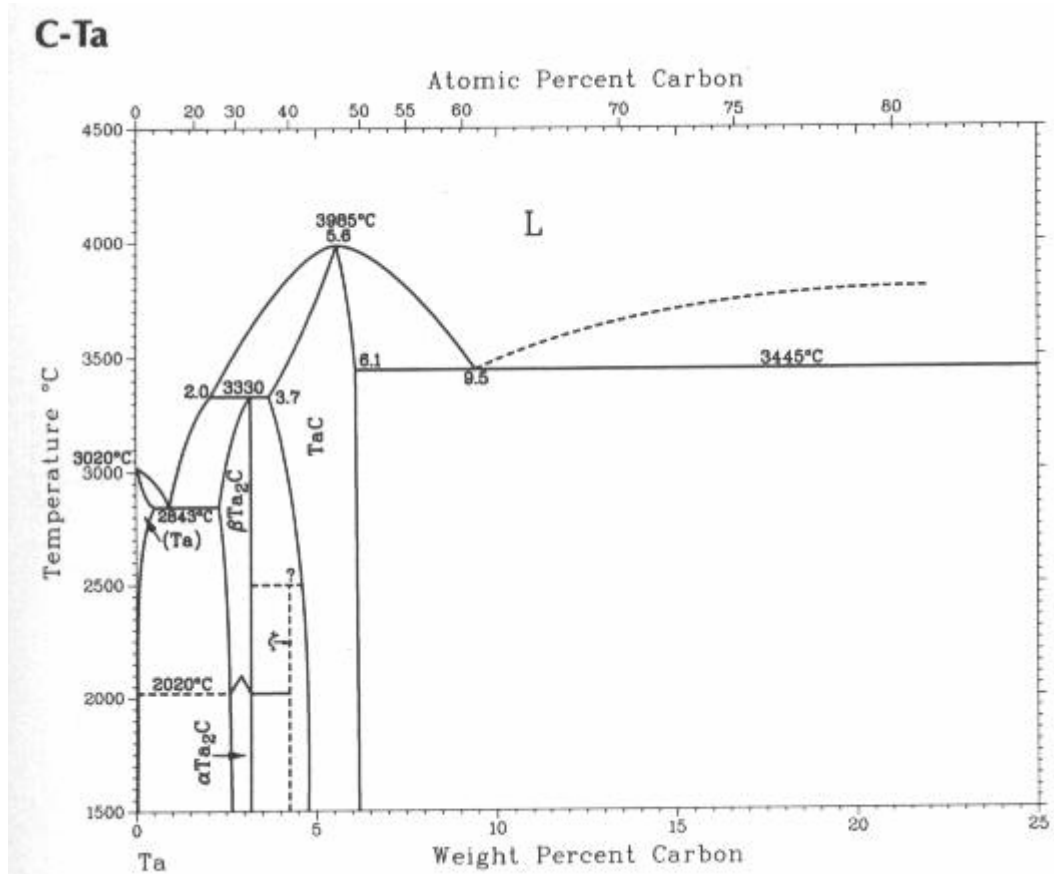
Şekil 4.5 (a)’da TaB ve TaB₂ piklerinin varlığı bize kaplamanın olduğunu Ta pikinin görülmesi ise bazı bölgelerinde kaplamanın tam olmadığını veya Ta metalinden geldiğini göstermektedir.

Şekil 4.1’den şekil 4.5’e kadar ki şekiller aynı sürede farklı sıcaklıklarda borlanmış tantalyum numunelerde sıcaklığın yükselmesi ile meydana gelen veya çözünen fazları gözlemlenmek mümkündür. Borlama işleminin sıcaklığı arttığı zaman,

değişik sıcaklıklarda TaB₂ ile beraber TaB, TaC, ve Ta gibi çeşitli fazların oluştuğu, yapılan x-ışınları analizlerinin sonucunda ortaya çıkıyor. Sıcaklığın artması, borlama işleminde oluşan fazlar üzerinde etkili olduğu gözlenmektedir. Bununla birlikte sıcaklıktan daha çok kompozisyon etkili olmuştur. Faz diyagramından da anlaşılacağı gibi önce TaB₂ sonra TaB fazının oluştuğu görülmektedir.

TaC fazı borlama tozu içinde bulunan SiC'de ki karbür ile Ta'nın yüksek sıcaklıkta reaksiyona girmesi sonucu oluşmuştur. [www.asminternational.org]

TaC'nin x-ışınlarında yüksek olarak çıkmasının sebebi yüzeyde meydana gelmiş olmasından kaynaklıdır. Bununla ilgili bilgi GDOF sonuçlarına göre yüzey analizleri bölümünde anlatılacaktır.



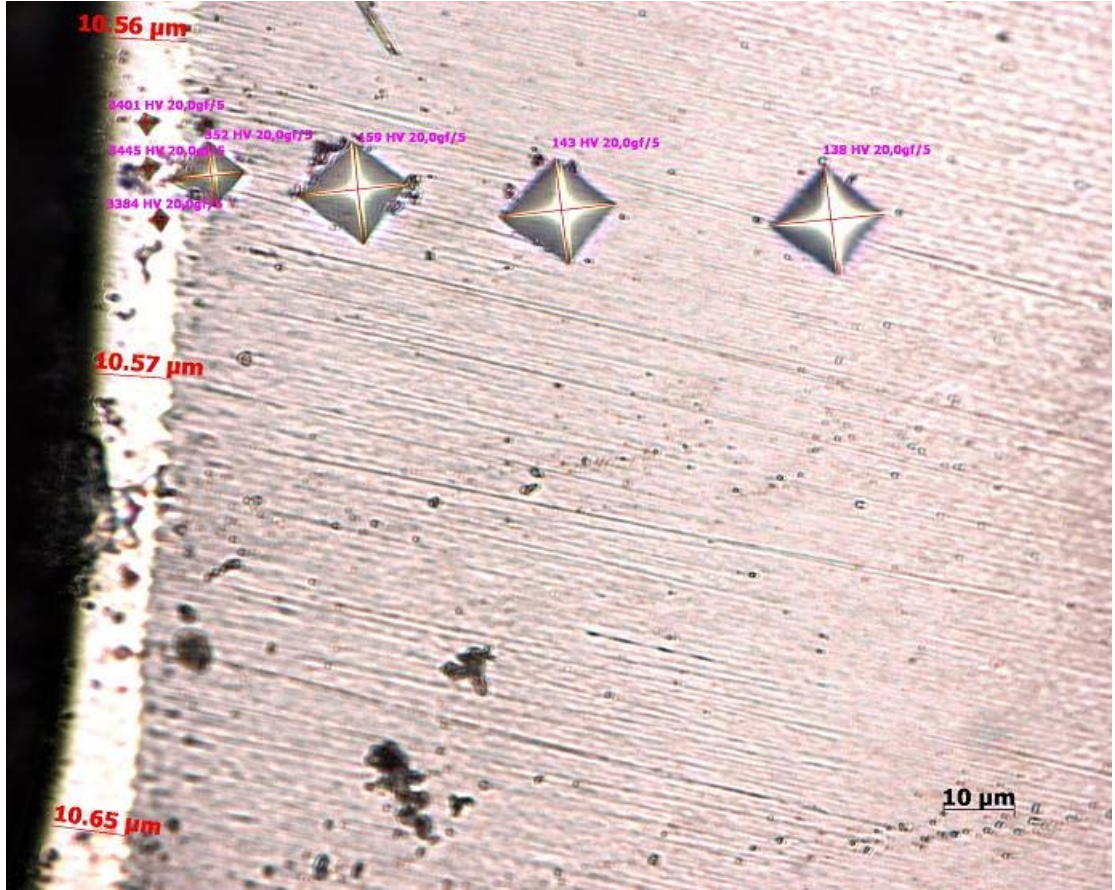
Şekil 4.6 Tantalum – Karbon Denge Diyagramı [www.asminternational.org]

4.2. Sertlik Ölçümleri

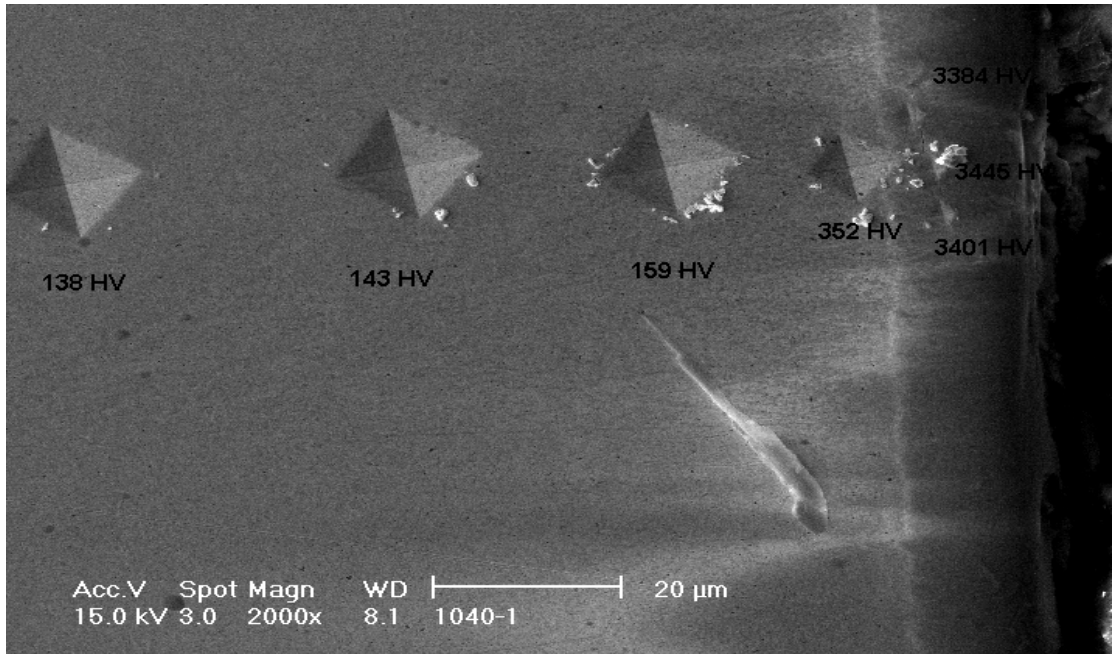
Borlanan numunelerin kesit yüzeyinden itibaren belirli bir derinliğe kadar, tabaka kalınlığına bağlı olarak 20 gr yük altında sertlik ölçümleri yapılarak borür tabakası, geçiş zonu ve matris bölgelerinin sertlikleri tespit edilmiştir. Hem numune kesit yüzeyinden matrise doğru yapılan sıra sertlik ölçümleri, hem de yüzeye dik doğrultudaki yüzey sertlik ölçümleri gerçekleştirildi.

Şekil.4.7 ile 4.21 arasındaki resimler borlanmış tantalyum numunelerde yüzeyden içerilerine doğru sertlik deneyinin optik mikroskop ve SEM görüntülerini göstermektedir. Ölçülen sertlik değerlerine bakıldığında seramik karaktere sahip olan borür fazlarından oluşan kaplama tabakasında en yüksek değere ulaştığı, daha sonra geçiş zonunda bir düşüşe geçtiği ve matris bölgesinde en düşük değerine ulaştığını görüyoruz. Malzeme yüzeyinden uzaklaştıkça sertlik düşmektedir. Bor tabakasındaki yüksek sertlik tabakayı oluşturan yüksek sertliğe sahip TaB ve TaB₂ fazlarından kaynaklanmaktadır. Borür tabakası ile matris bölgesi arasında bulunan geçiş bölgesinin sertliği matris bölgesinin sertliğinden daha yüksektir. Geçiş bölgesinin sertliği, bor ile tantalyum arasındaki katı çözeltili sertleşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Matris bölgesi ise borun etkilemediği bölgedir.

Borlanmış Ta'nın yüzeyinde oluşan borürün sertliği sert TaB₂ fazının mevcudiyetinden dolayı altlık malzemedен çok daha yüksektir. Geçiş bölgesinde katı çözeltili sertleşmesi meydana geldiğinden dolayı bu bölgenin sertliği matris bölgesinden yani bordan etkilenmeyen ana malzeme bölgesinden daha yüksektir. Altlık malzemenin üzerinde oluşan borür tabakasının sertlik değerlerinin 3410 Hv ile 5937 Hv aralığında değiştiği gözlenmektedir. Geçiş bölgesi sertlikleri 352 Hv ile 479 Hv sertlikleri arasında değişirken altlık malzemenin sertliği 107 ile 138 Hv aralığında değişmektedir.

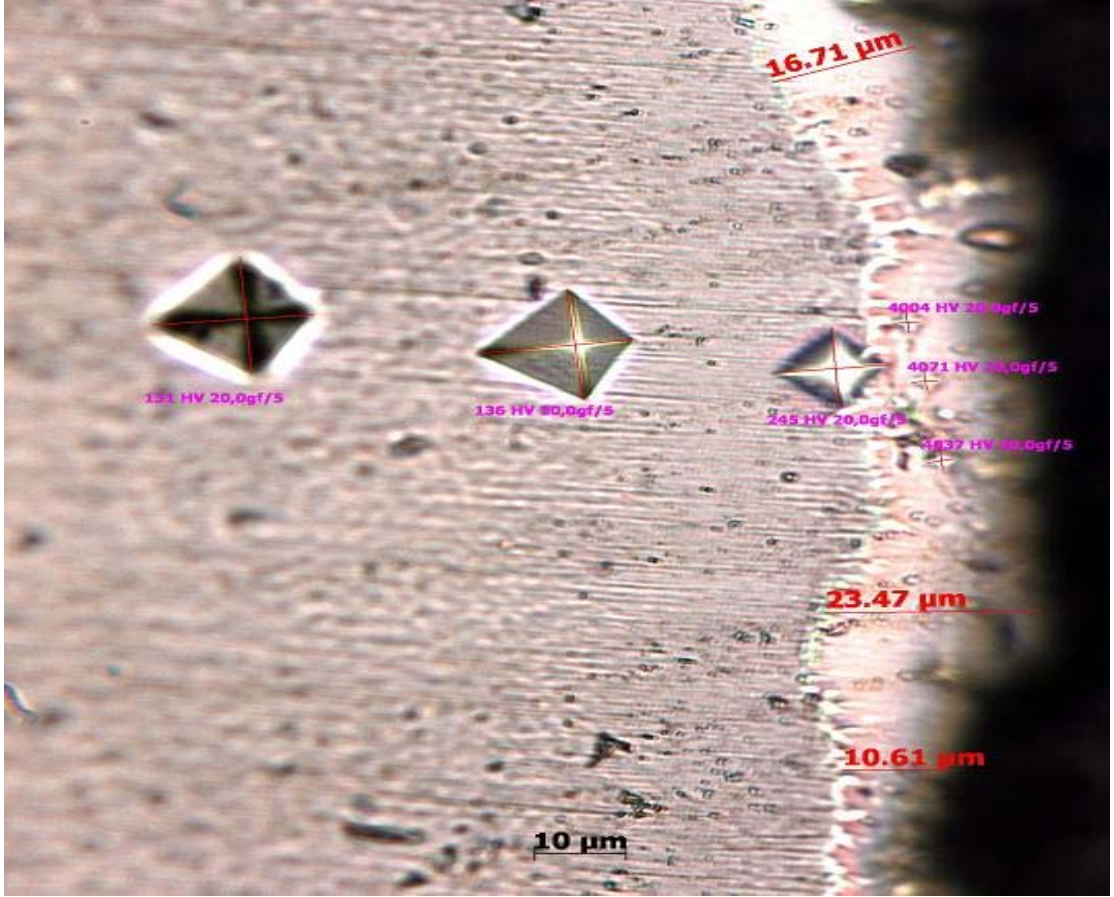


(a)

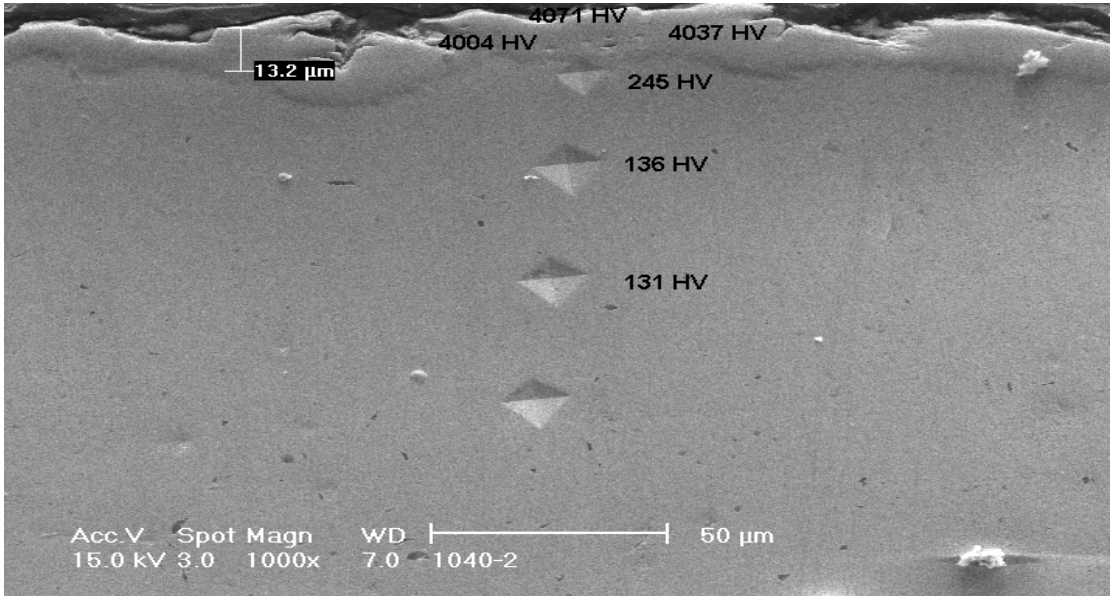


(b)

Şekil 4.7 2 saat süreyle 1040 °C'de borlanan tantalumun (a) optik mikroskopta (b) SEM'de çekilmiş görüntülerinde bor kaplamadan matrise doğru sertlik ölçümleri ve değişimleri.



(a)

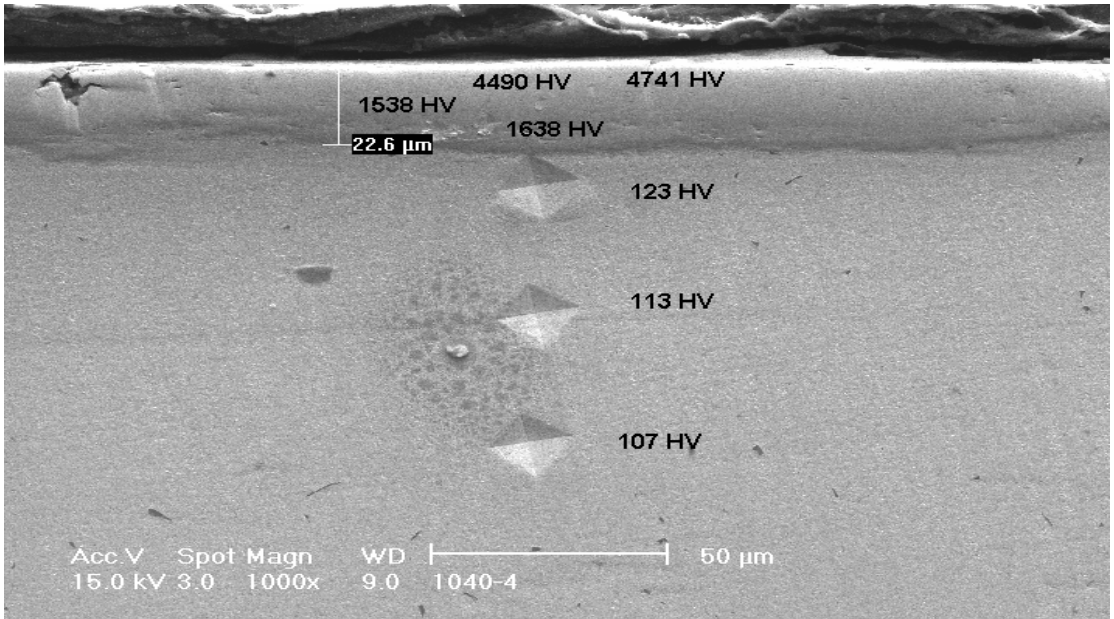


(b)

Şekil 4.8 4 saat süreyle 1040 °C'de borlanan tantalumun (a) optik mikroskopta (b) SEM'de çekilmiş görüntülerinde bor kaplamadan matrise doğru sertlik ölçümleri ve değişimleri.

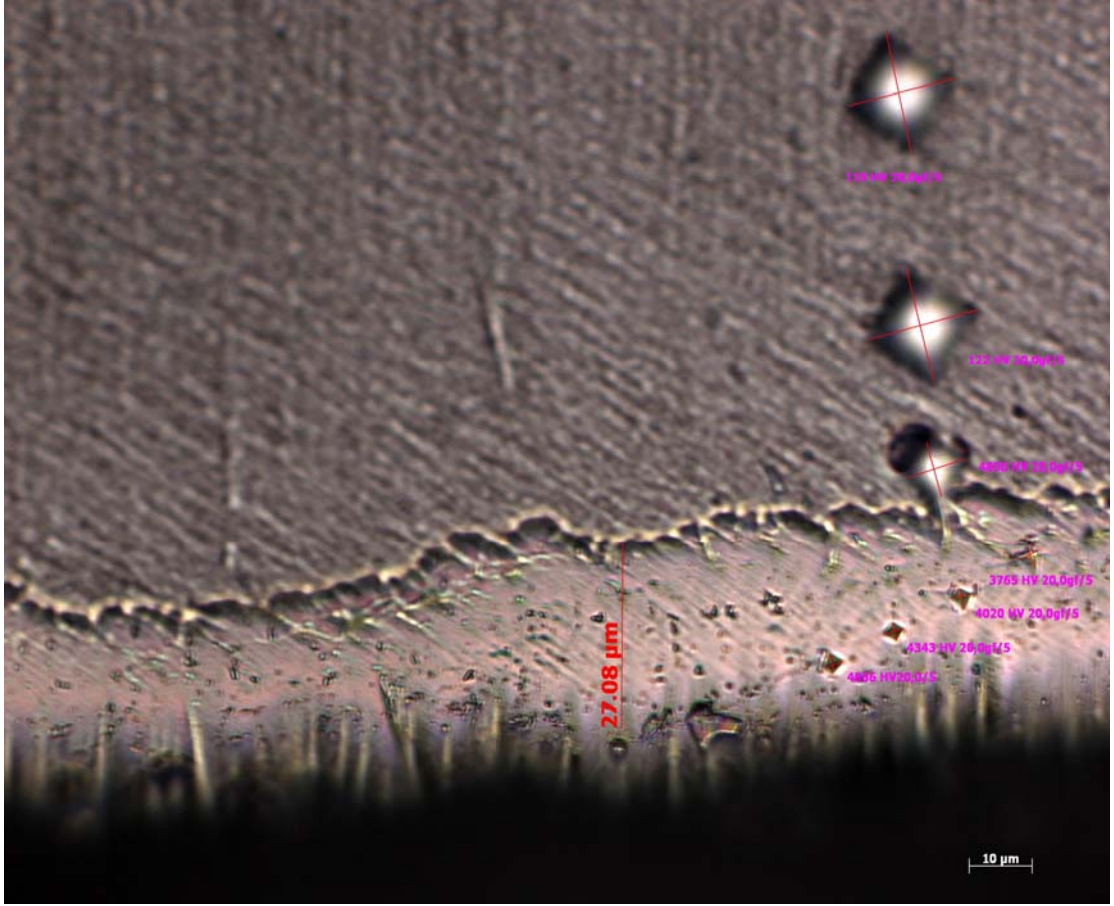


(a)

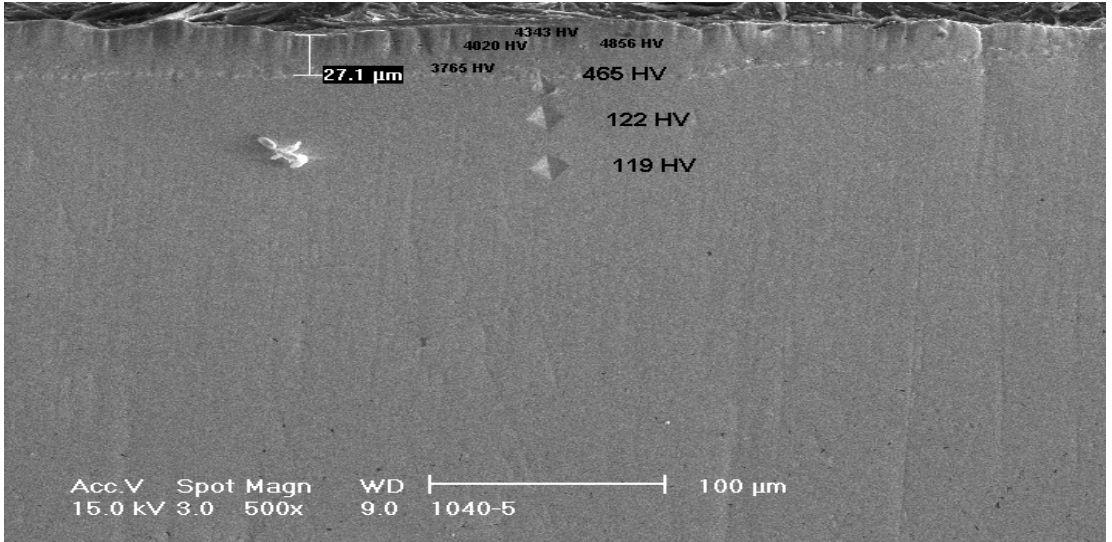


(b)

Şekil 4.9 8 saat süreyle 1040 °C'de borlanan tantaliumun (a) optik mikroskopta (b) SEM'de çekilmiş görüntülerinde bor kaplamadan matrise doğru sertlik ölçümleri ve değişimleri.

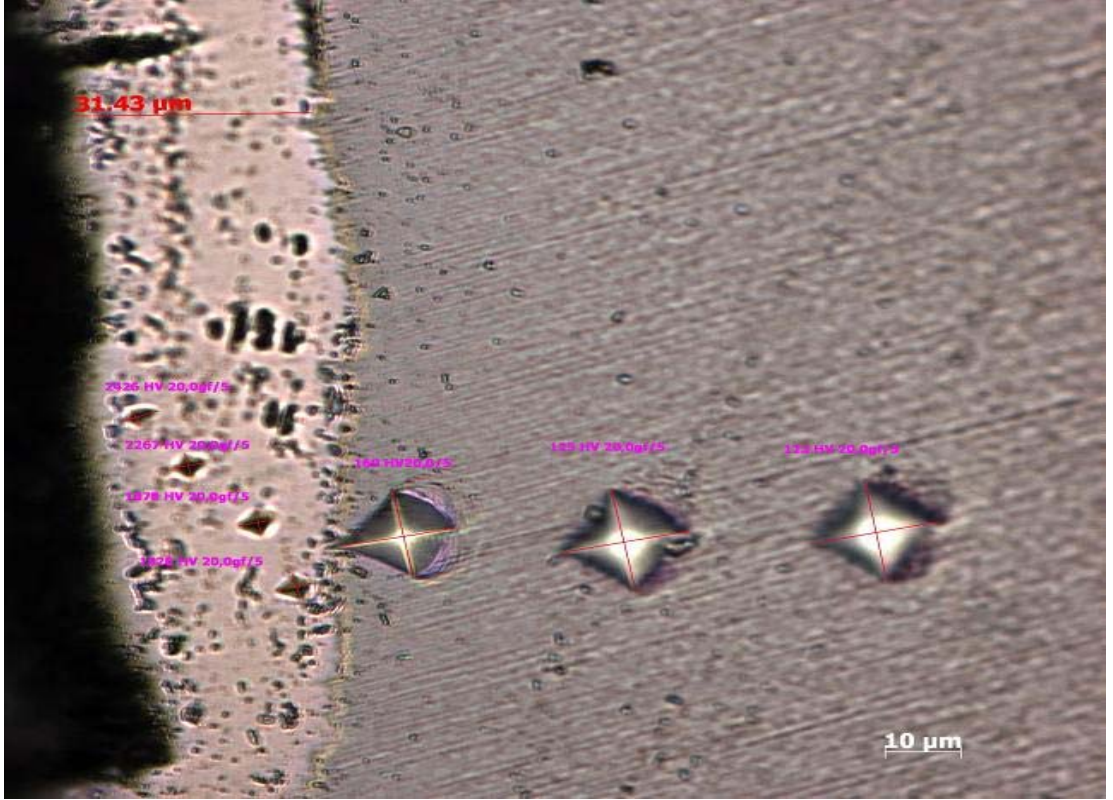


(a)

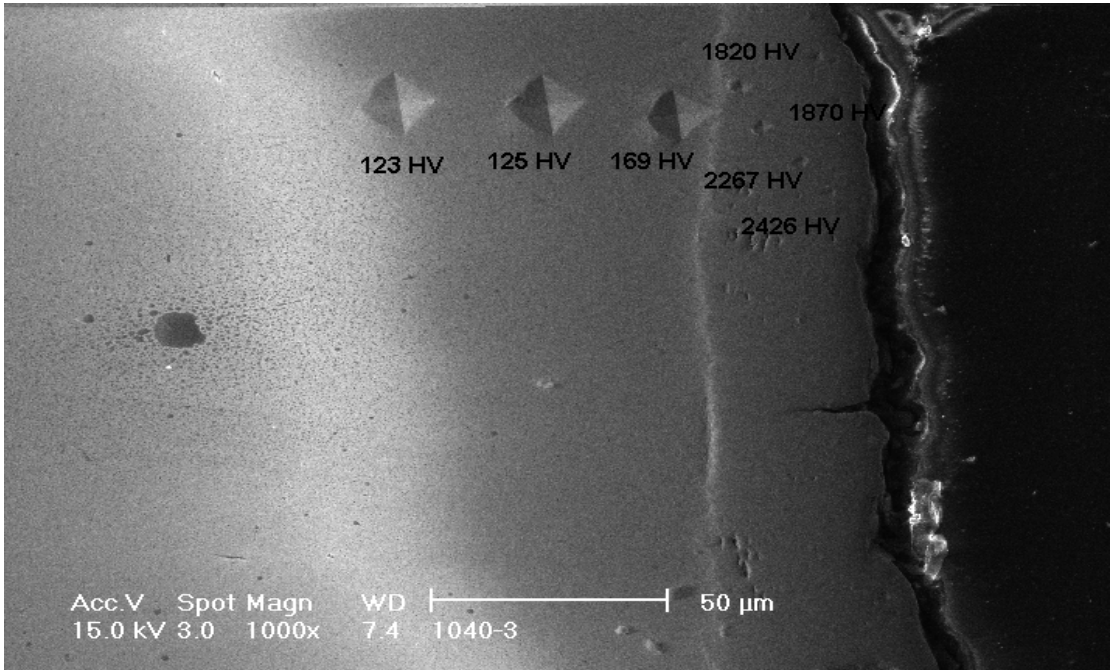


(b)

Şekil 4.10 12 saat süreyle 1040 °C'de borlanan tantaliumun (a) optik mikroskopta (b) SEM'de çekilmiş görüntülerinde bor kaplamadan matrise doğru sertlik ölçümleri ve değişimleri.

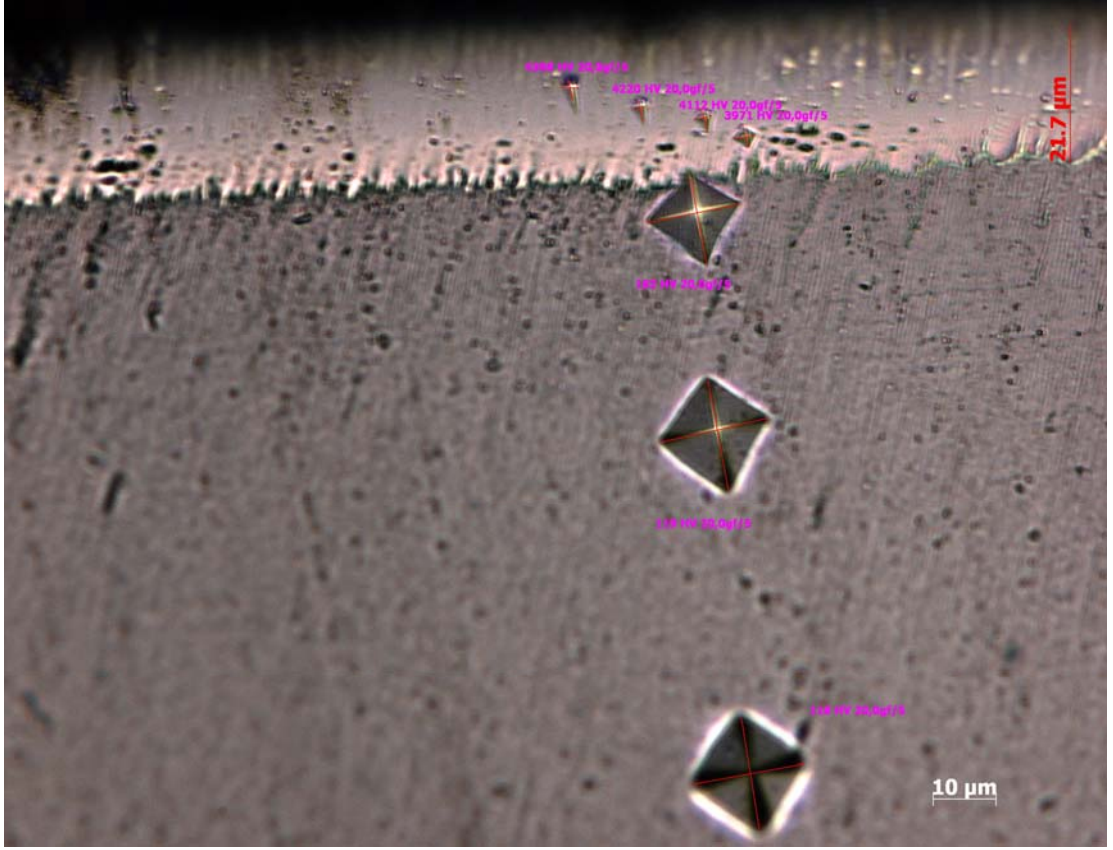


(a)

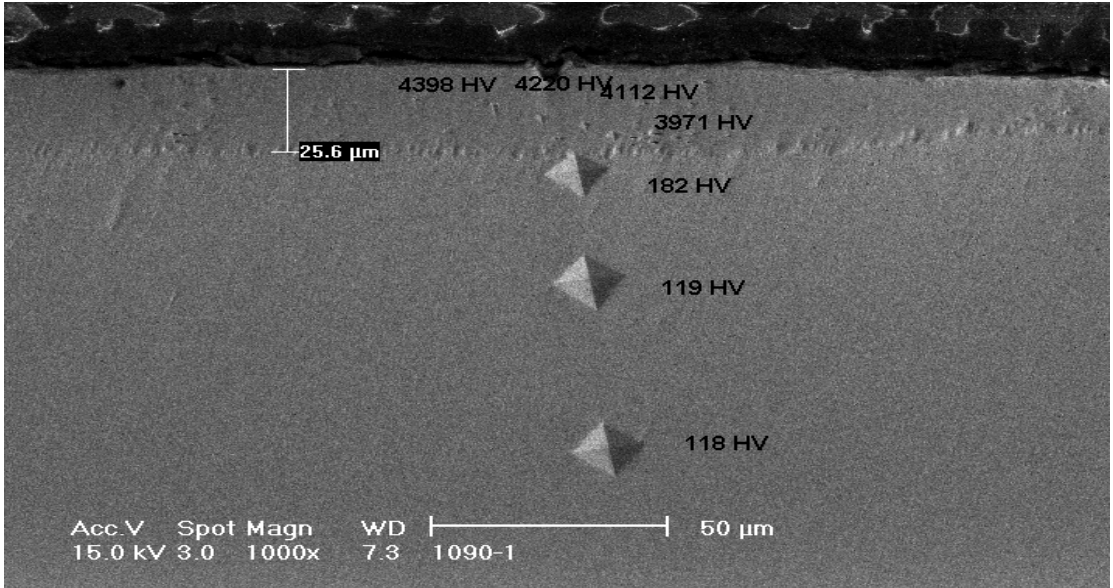


(b)

Şekil 4.11 16 saat süreyle 1040 °C'de borlanan tantalumun (a) optik mikroskopta (b) SEM'de çekilmiş görüntülerinde bor kaplamadan matrise doğru sertlik ölçümleri ve değişimleri.

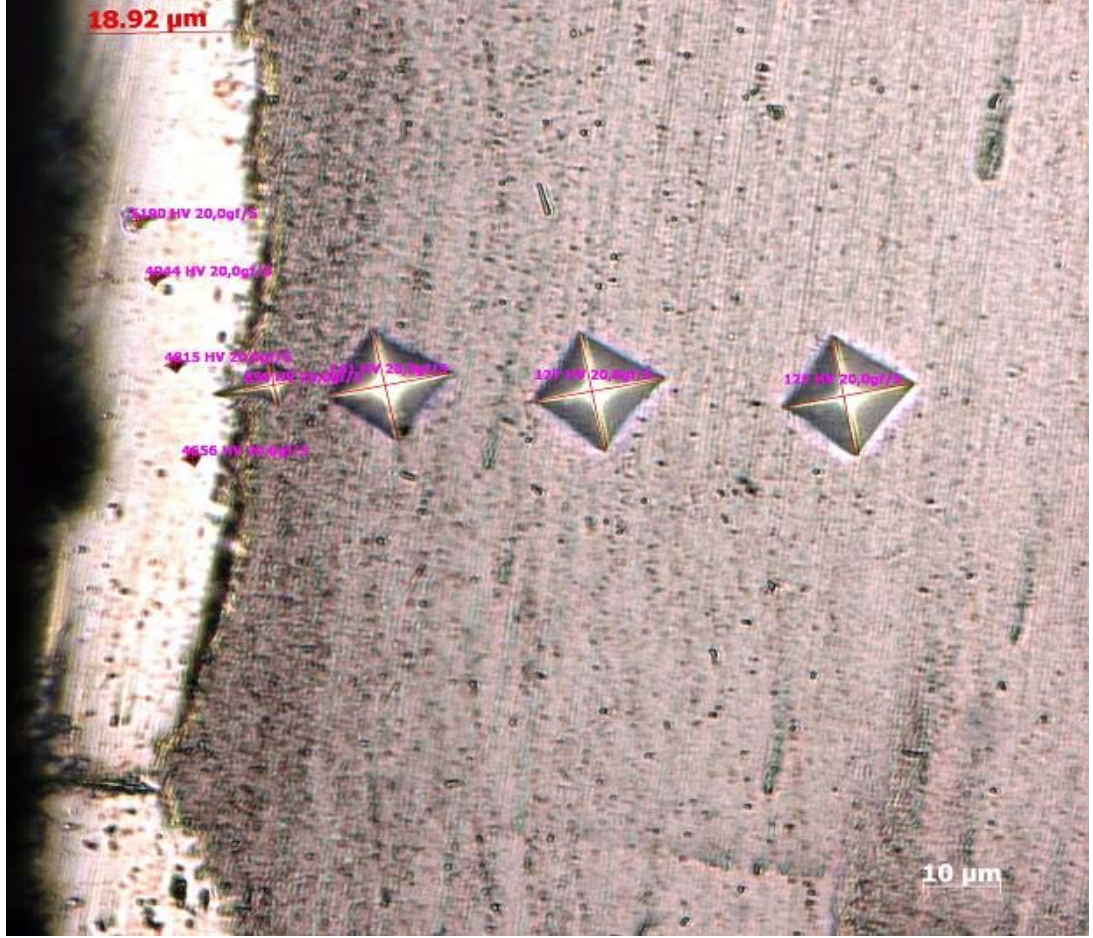


(a)

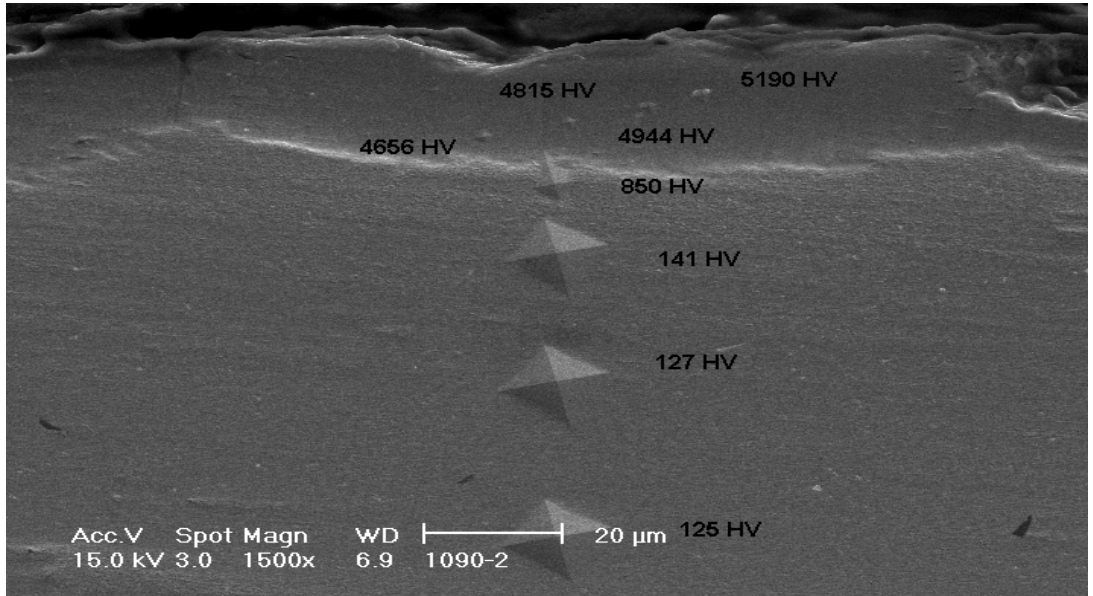


(b)

Şekil 4.12 2 saat süreyle 1090 °C'de borlanan tantalumun (a) optik mikroskopta (b) SEM'de çekilmiş görüntülerinde bor kaplamadan matrise doğru sertlik ölçümleri ve değişimleri.

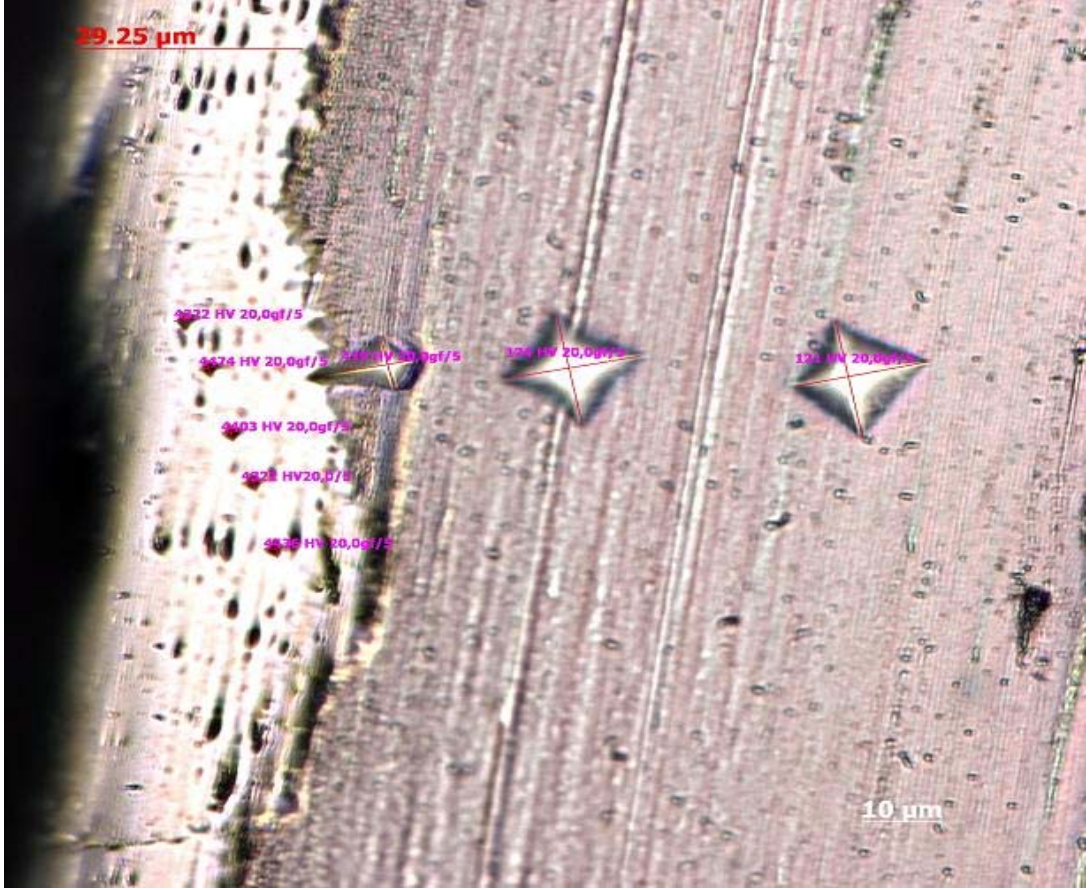


(a)

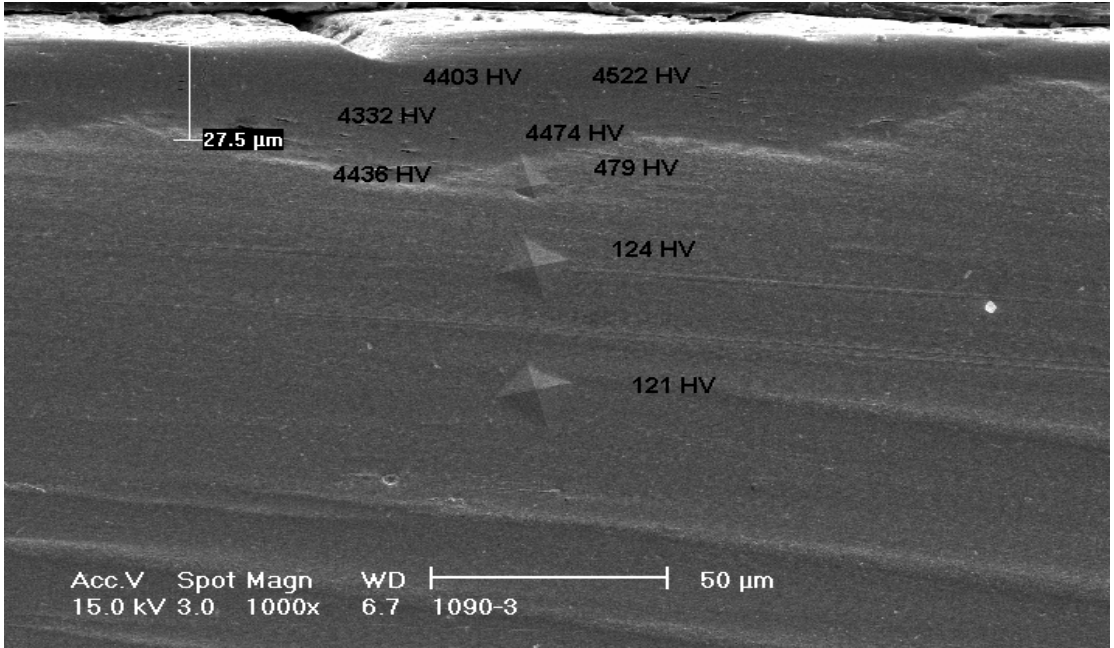


(b)

Şekil 4.13 4 saat süreyle 1090 °C'de borlanan tantalumun (a) optik mikroskopta (b) SEM'de çekilmiş görüntülerinde bor kaplamadan matrise doğru sertlik ölçümleri ve değişimleri.

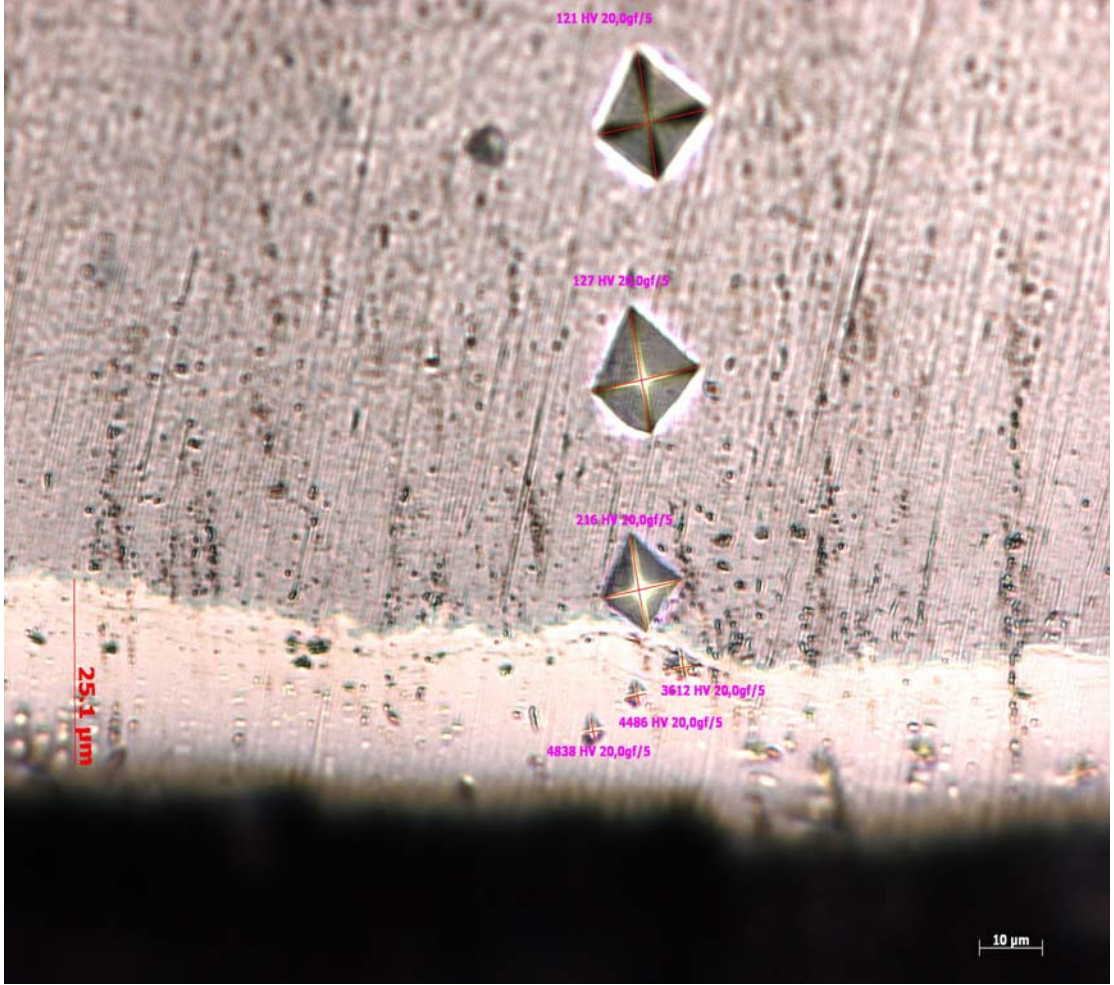


(a)

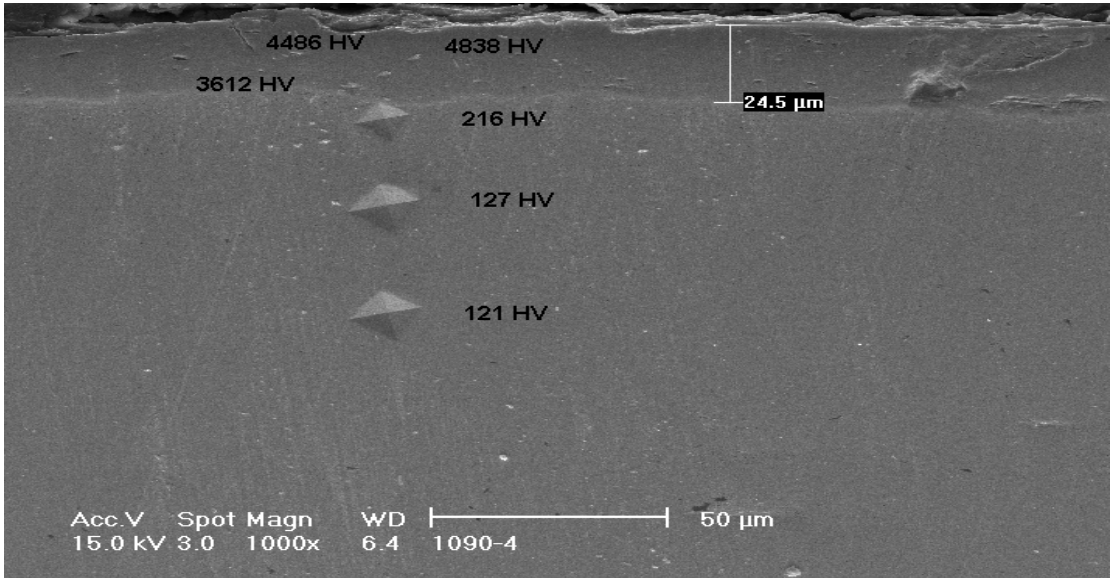


(b)

Şekil 4.14 8 saat süreyle 1090 °C'de borlanan tantalumun (a) optik mikroskopta (b) SEM'de çekilmiş görüntülerinde bor kaplamadan matrise doğru sertlik ölçümleri ve değişimleri.

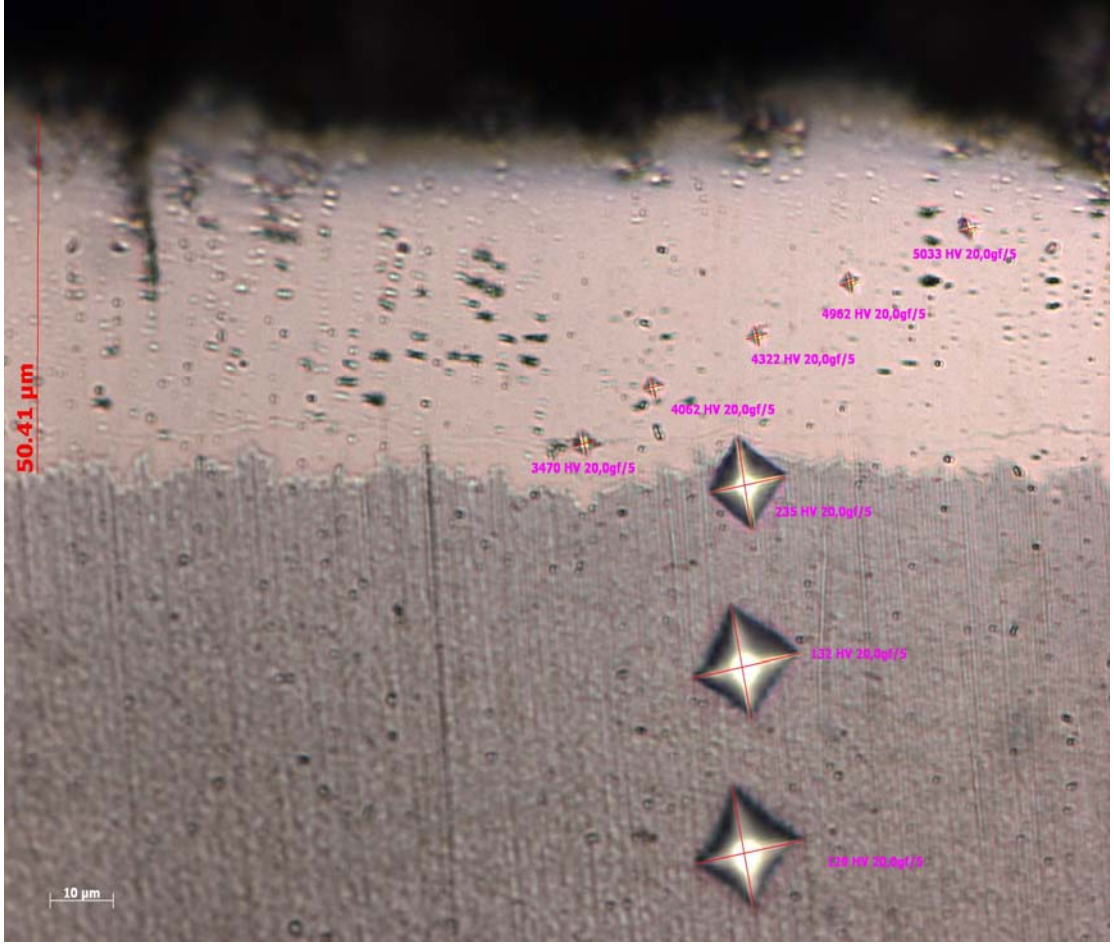


(a)

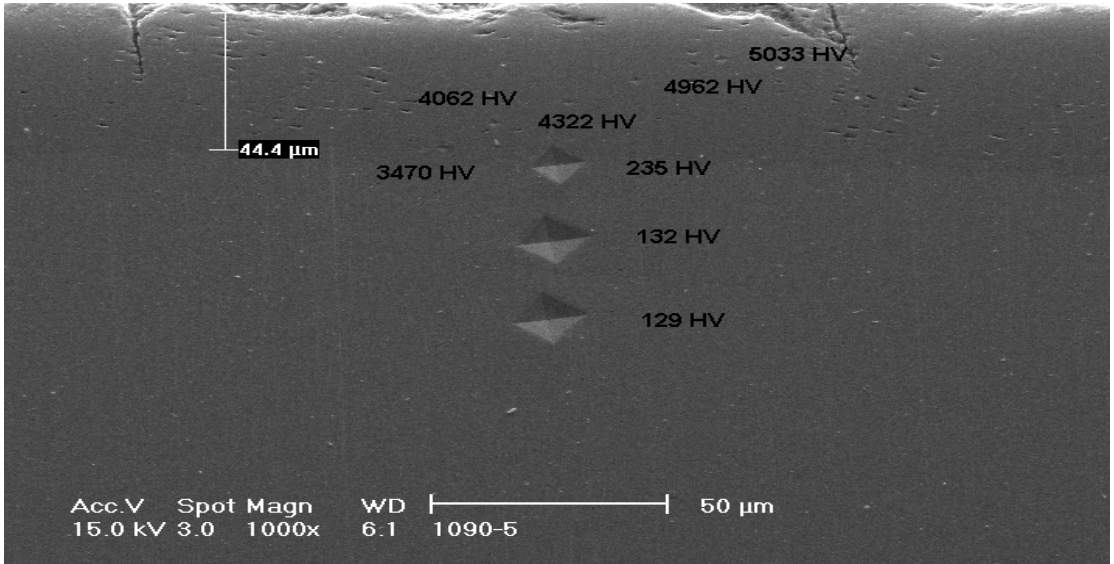


(b)

Şekil 4.15 12 saat süreyle 1090 °C'de borlanan tantalumun (a) optik mikroskopta (b) SEM'de çekilmiş görüntülerinde bor kaplamadan matrise doğru sertlik ölçümleri ve değişimleri.

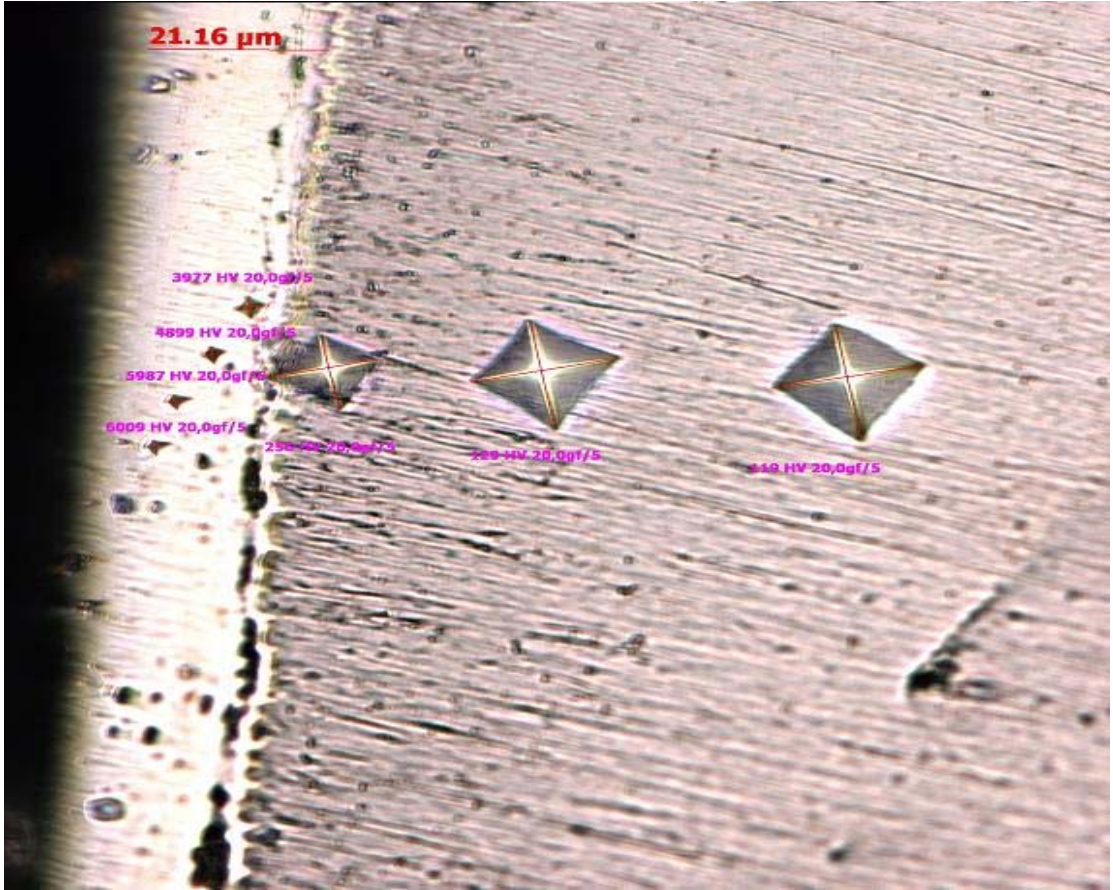


(a)

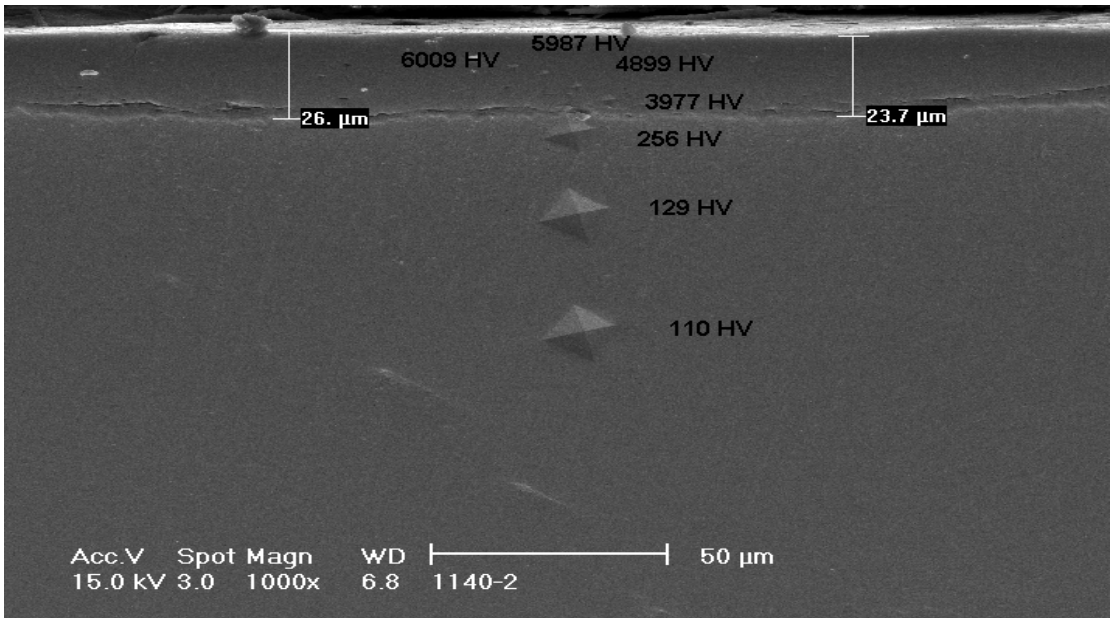


(b)

Şekil 4.16 16 saat süreyle 1090 °C'de borlanan tantalumun (a) optik mikroskopta (b) SEM'de çekilmiş görüntülerinde bor kaplamadan matrise doğru sertlik ölçümleri ve değişimleri.

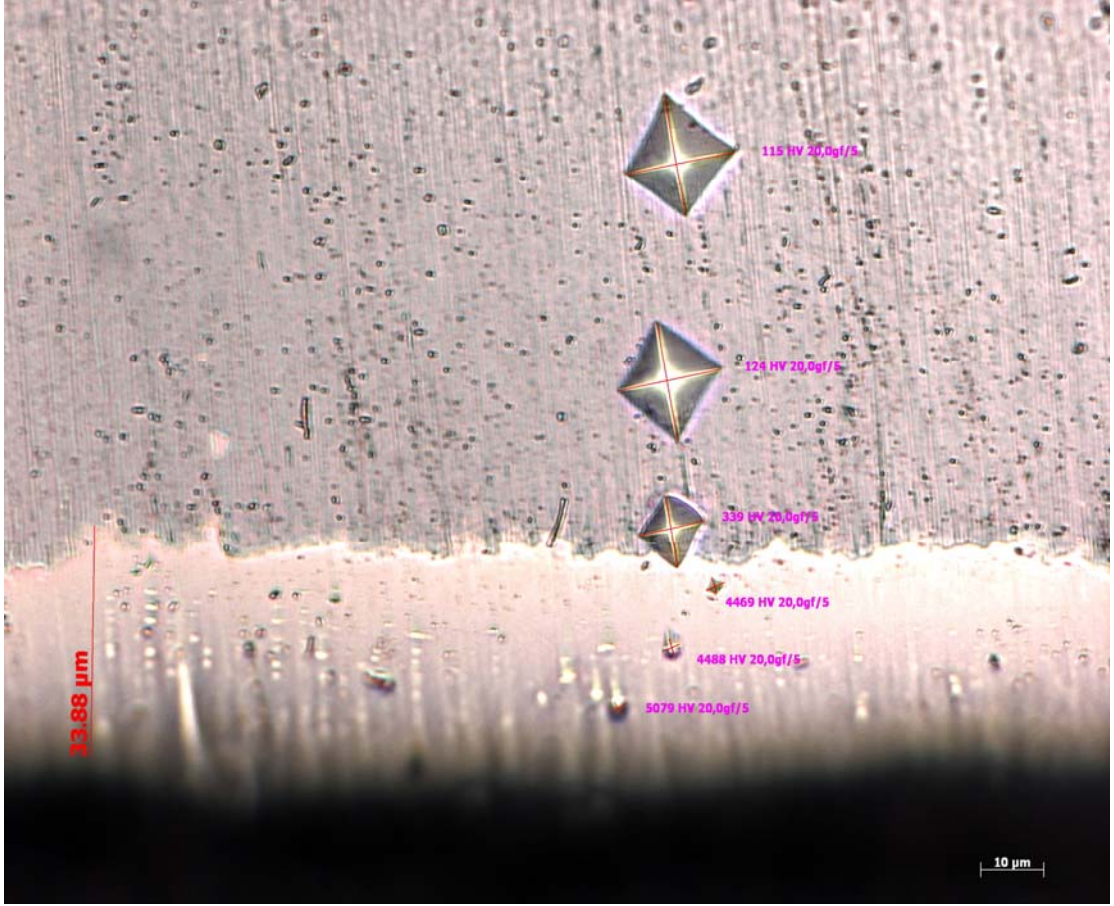


(a)

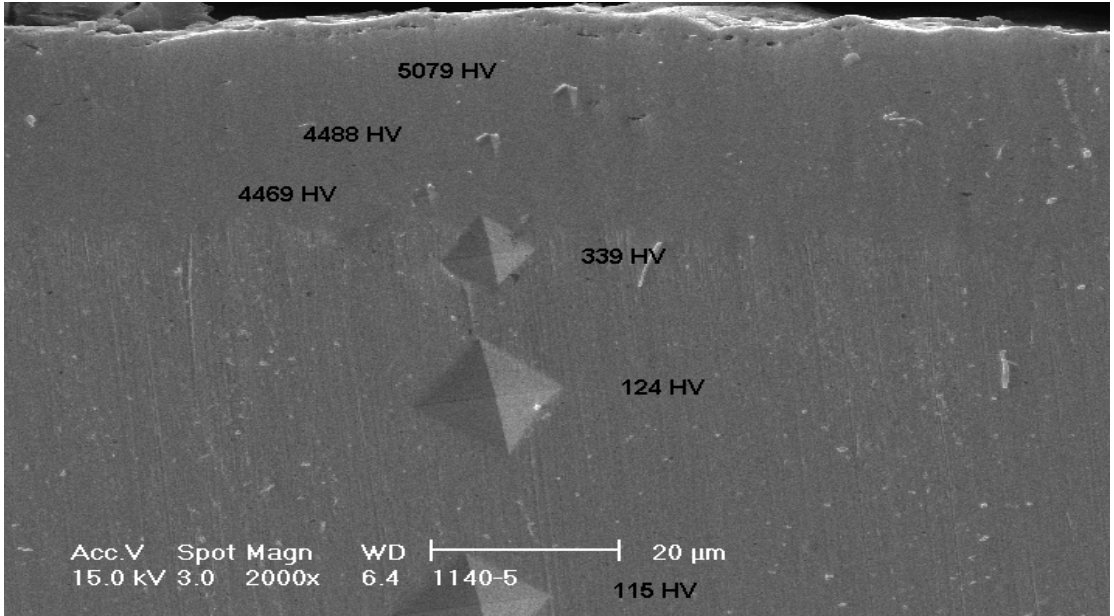


(b)

Şekil 4.17 2 saat süreyle 1140 °C'de borlanan tantalumun (a) optik mikroskopta (b) SEM'de çekilmiş görüntülerinde bor kaplamadan matrise doğru sertlik ölçümleri ve değişimleri.

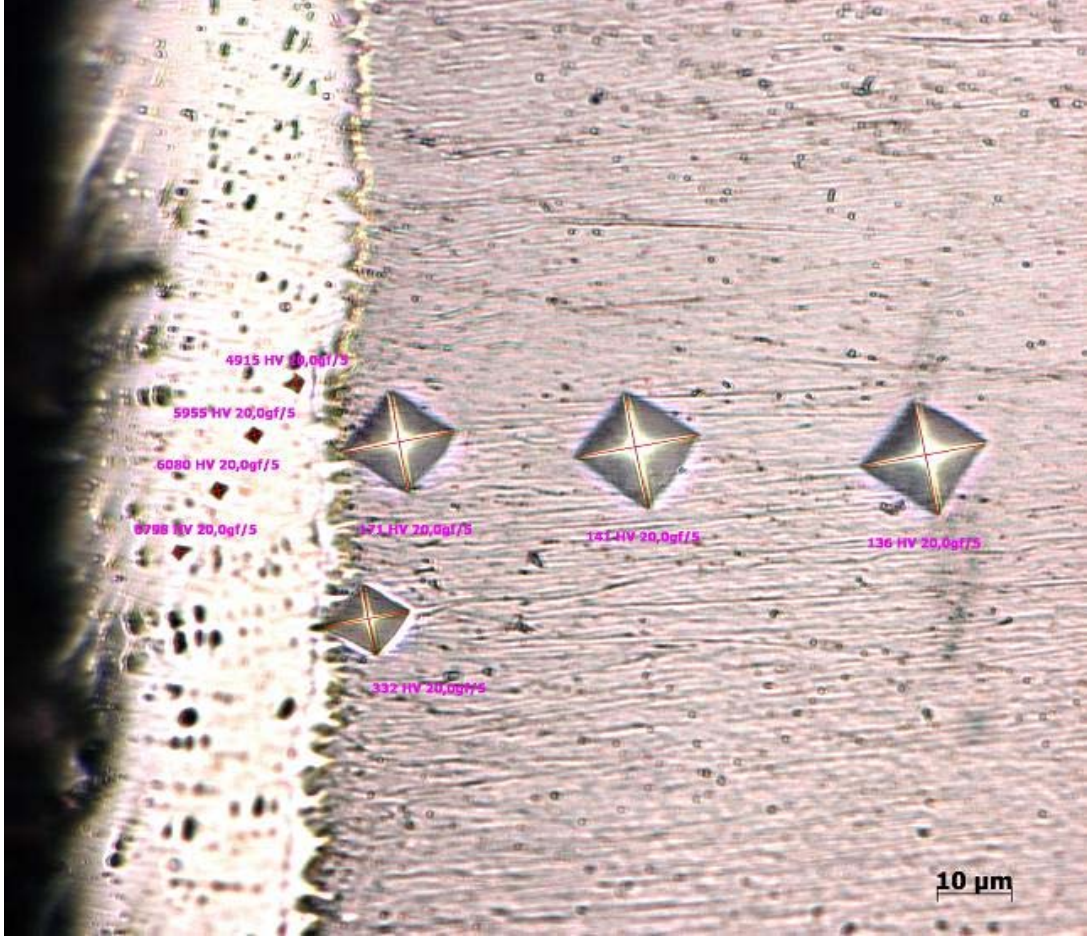


(a)

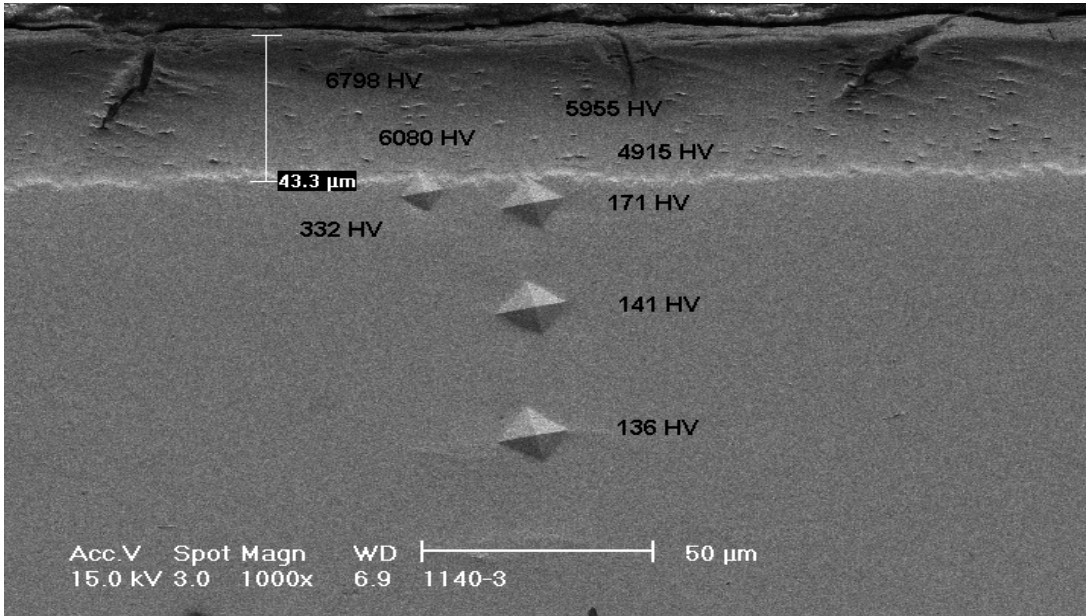


(b)

Şekil 4.18 4 saat süreyle 1140 °C'de borlanan tantalumun (a) optik mikroskopta (b) SEM'de çekilmiş görüntülerinde bor kaplamadan matrise doğru sertlik ölçümleri ve değişimleri.

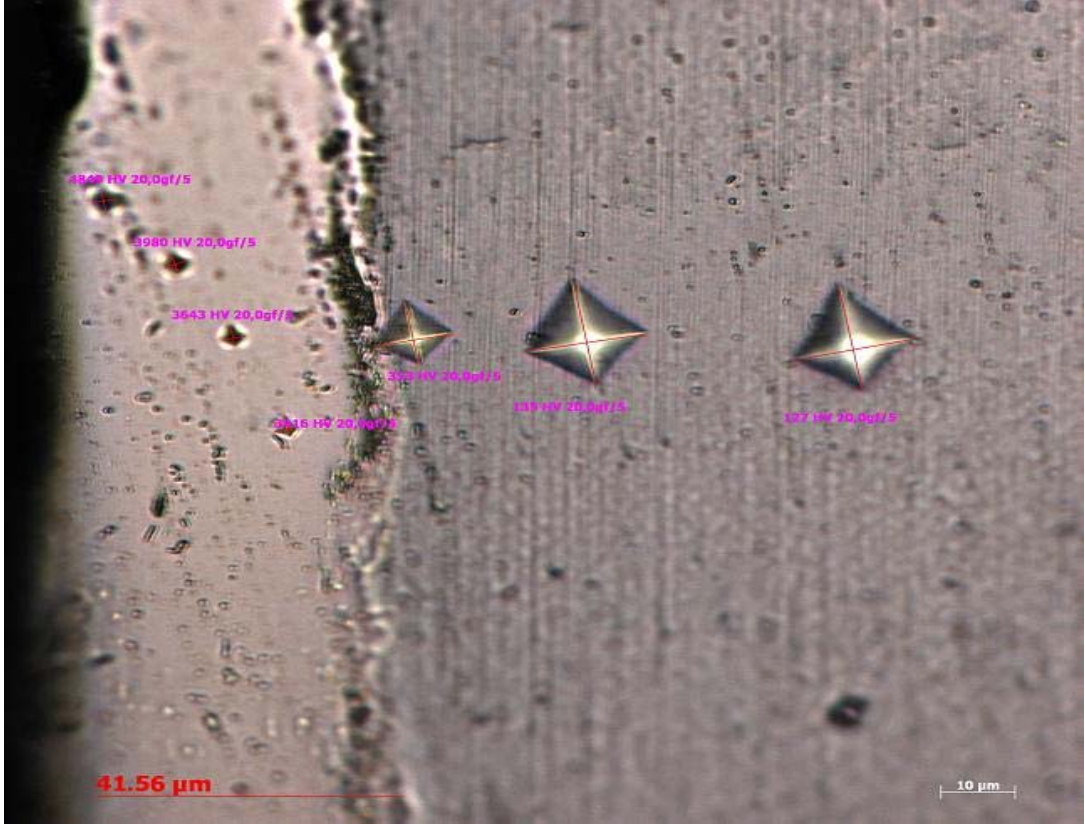


(a)

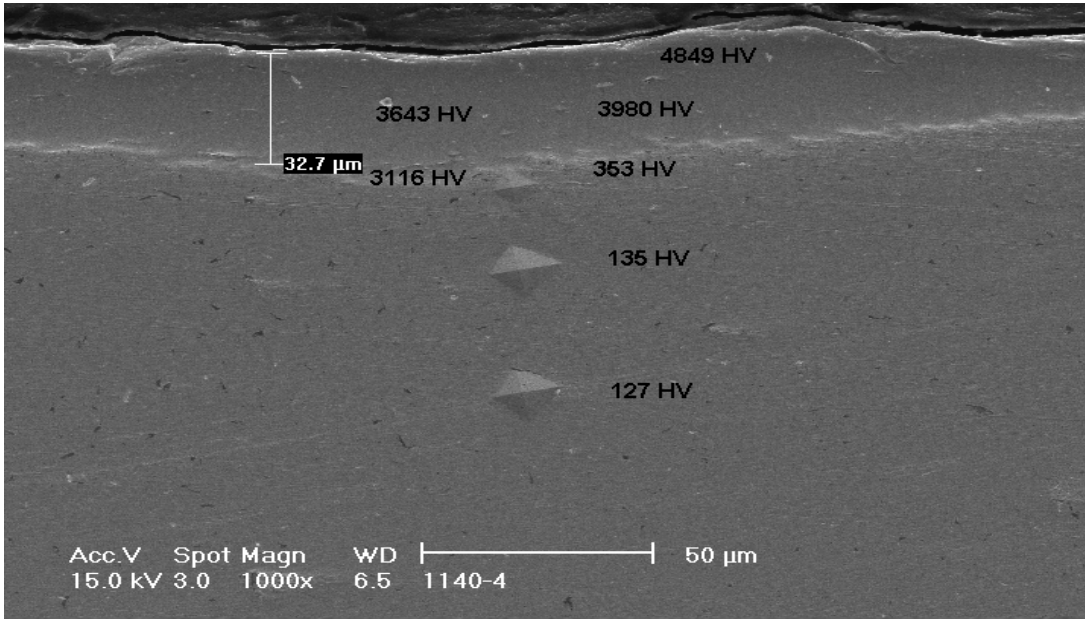


(b)

Şekil 4.19 8 saat süreyle 1140 °C'de borlanan tantalumun (a) optik mikroskopta (b) SEM'de çekilmiş görüntülerinde bor kaplamadan matrise doğru sertlik ölçümleri ve değişimleri.

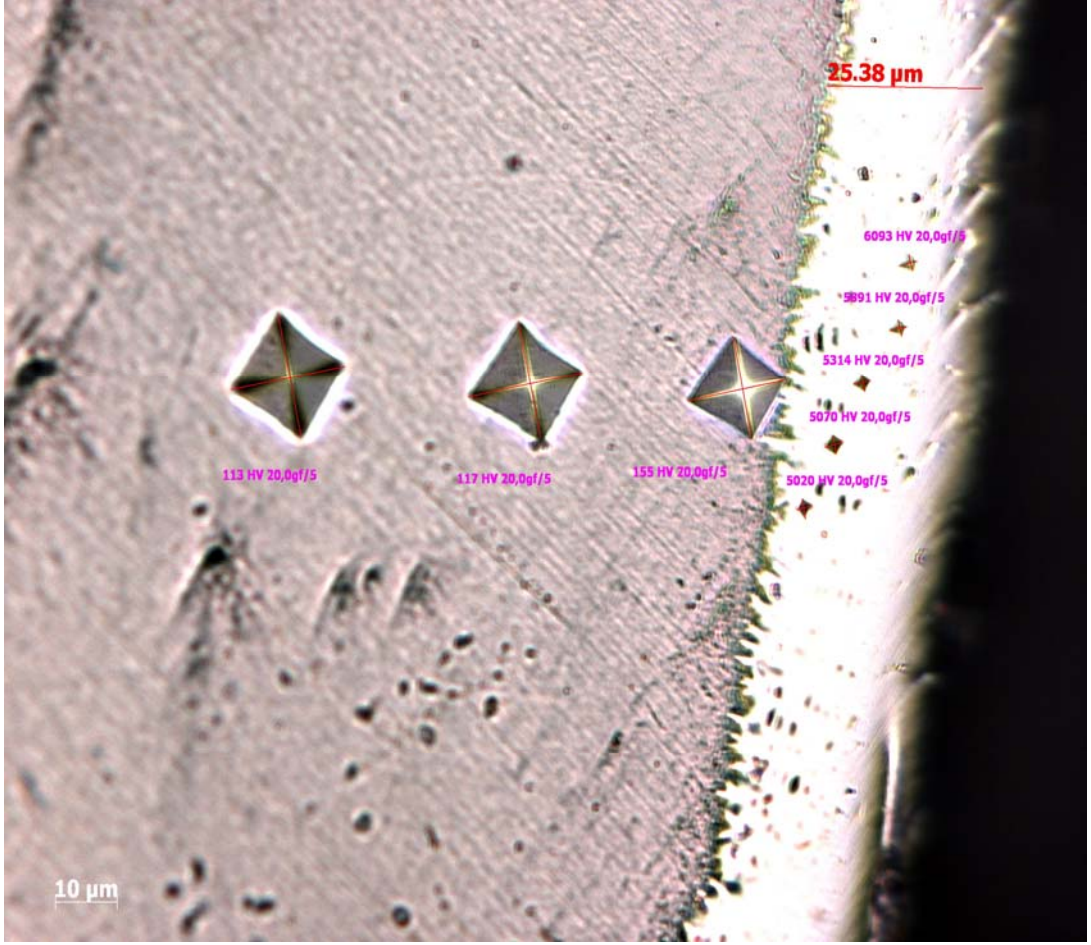


(a)

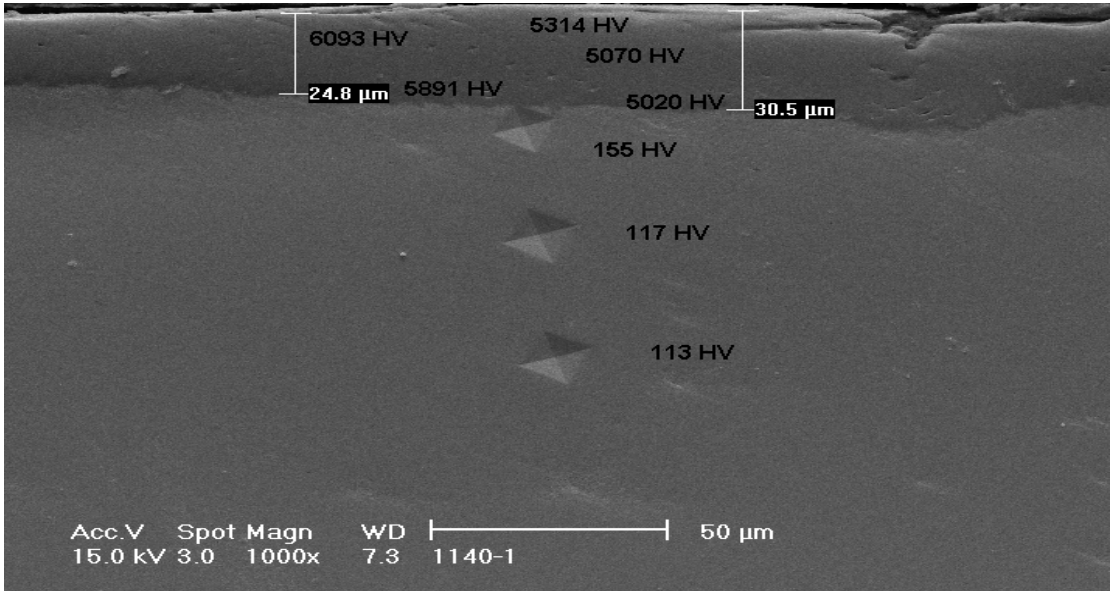


(b)

Şekil 4.20 12 saat süreyle 1140 °C'de borlanan tantalumun (a) optik mikroskopta (b) SEM'de çekilmiş görüntülerinde bor kaplamadan matrise doğru sertlik ölçümleri ve değişimleri.



(a)



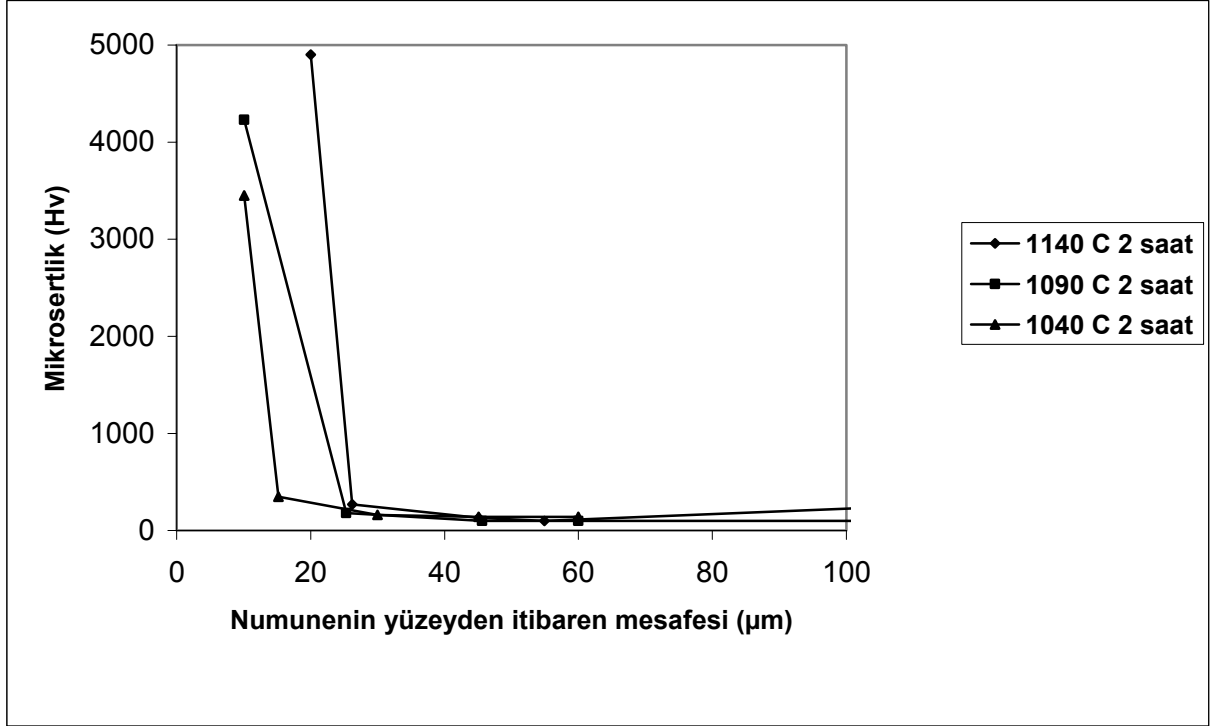
(b)

Şekil 4.21 16 saat süreyle 1040 °C'de borlanan tantalumun (a) optik mikroskopta (b) SEM'de çekilmiş görüntülerinde bor kaplamadan matrise doğru sertlik ölçümleri ve değişimleri.

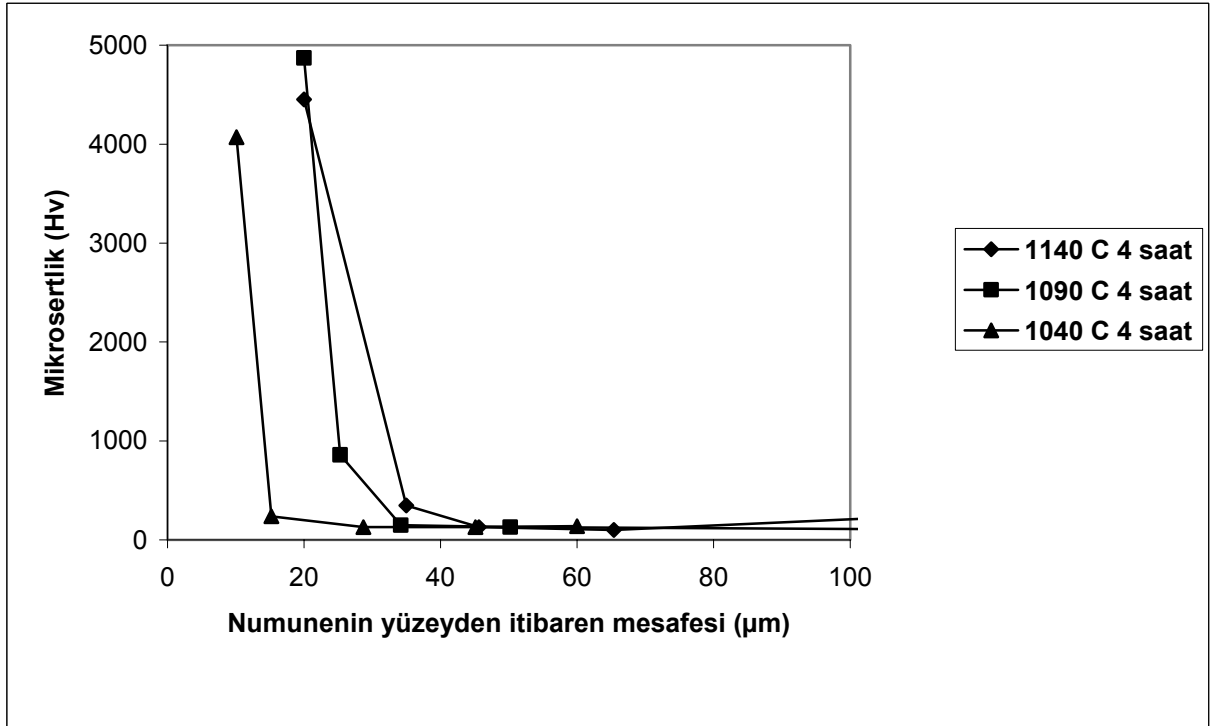
Tablo 4.1. Borlanmış tantalyum numuneler üzerinde oluşan borür tabakaların borlama sürelerine göre ortalama tabaka sertlikleri

Sıcaklık (°C)	Zaman (saat)				
	2 saat	4 saat	8 saat	12 saat	16 saat
1040°C	3410 Hv	4037 Hv	4013 Hv	4135 Hv	4246 Hv
1090°C	4175 Hv	4901 Hv	4433 Hv	4312 Hv	4369 Hv
1140°C	5218 Hv	4678 Hv	5937 Hv	4778 Hv	5477 Hv

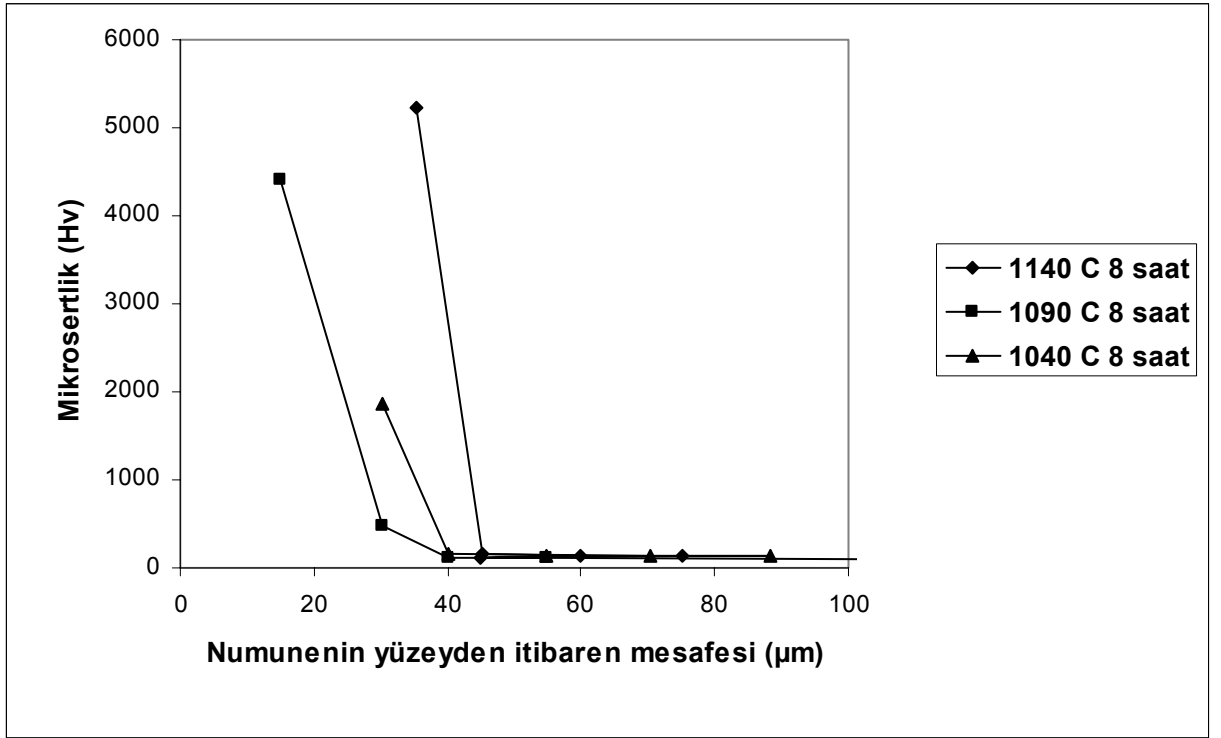
Tablo 4.1 de, yapılan sertlik deneylerinin sonuçları görünmektedir. 1040 °C de yapılan borlama işleminde borlama süresi arttıkça borlama tabakasının sertliği artmaktadır. 1090 °C de yapılan borlama işleminde borlama süresi arttıkça borlama tabakasının sertliği 4 saatlik numune dışında çok değişmemektedir.. 1140 °C de yapılan borlama işleminde de 8 saatlik numune dışında borlama süresi arttıkça borlama tabakasının sertliği birbirine yakın değerlerdedir. Genel olarak bakıldığında ise artan sıcaklık ve süre ile borlama tabakasının sertliği artmaktadır. Tablo 4.1 de görülen değerler, borür tabakalarının en az 5 adet yerinden alınan sertlik değerlerinin ortalamalarıdır.



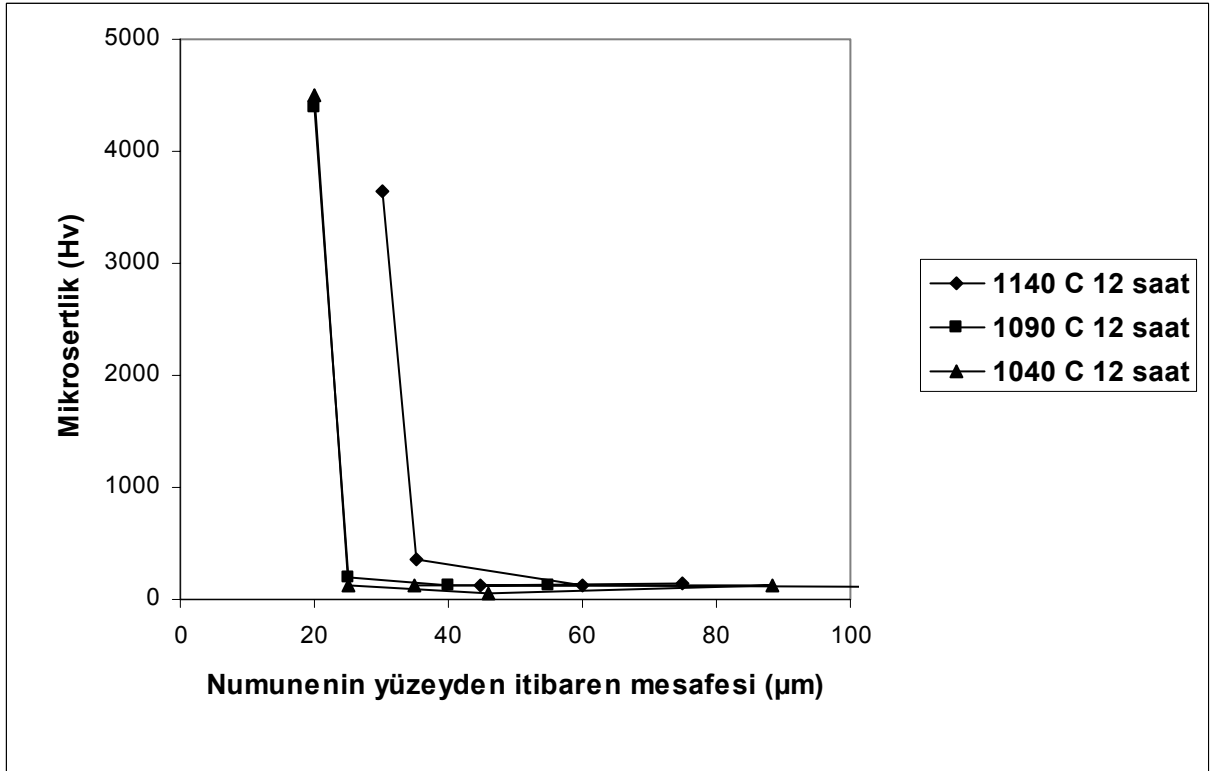
Şekil 4.22 2 saat süreyle 1040 °C ,1090 °C, 1140 °C sıcaklıklarda borlanmış numunenin yüzeyden itibaren mesafeye bağlı sertlik değişimi



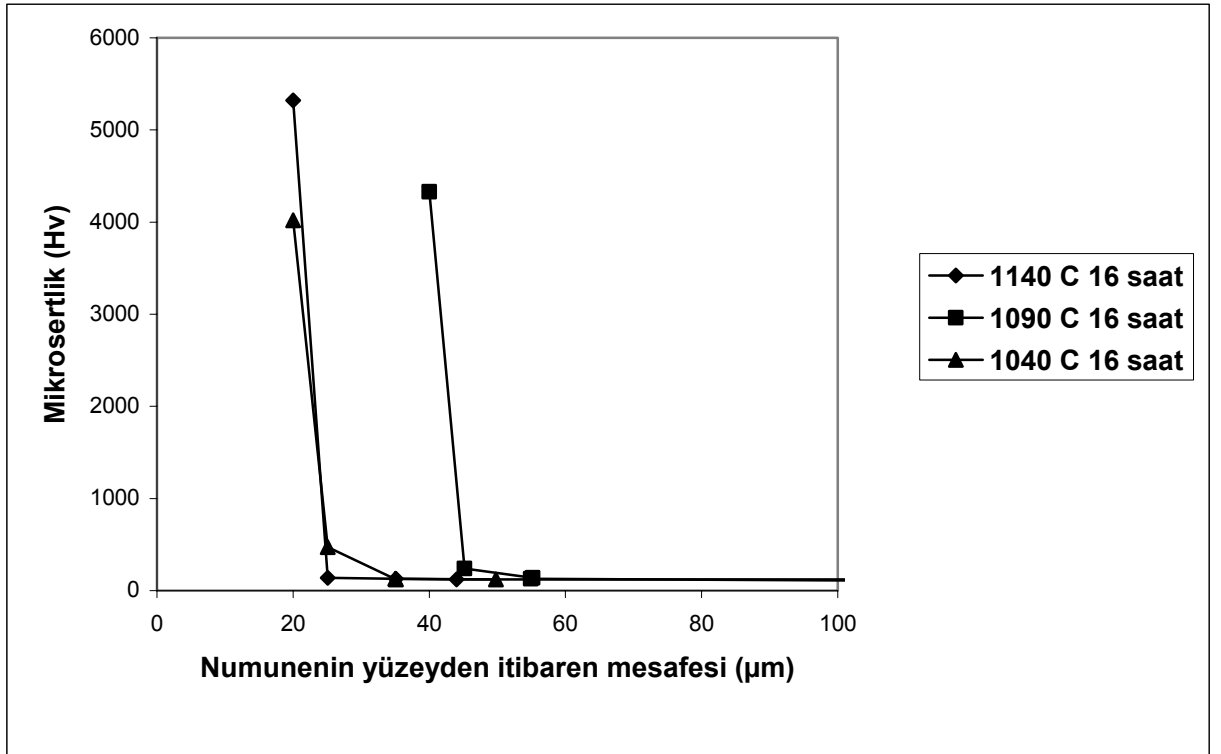
Şekil 4.23 4 saat süreyle 1040 °C ,1090 °C, 1140 °C sıcaklıklarda borlanmış numunenin yüzeyden itibaren mesafeye bağlı sertlik değişimi



Şekil 4.24 8 saat süreyle 1040 °C ,1090 °C, 1140 °C sıcaklıklarda borlanmış numunenin yüzeyden itibaren mesafeye bağlı sertlik değişimi



Şekil 4.25 12 saat süreyle 1040 °C ,1090 °C, 1140 °C sıcaklıklarda borlanmış numunenin yüzeyden itibaren mesafeye bağlı sertlik değişimi



Şekil 4.26 16 saat süreyle 1040 °C ,1090 °C, 1140 °C sıcaklıklarda borlanmış numunenin yüzeyden itibaren mesafeye bağlı sertlik değişimi

Şekil 4.22 ile 4.26 arasındaki şekiller, borlanmış tantaliumun yüzeyden içerilerine doğru sertlik değerlerindeki değişimi gösteriyor. Malzeme yüzeyinden uzaklaştıkça sertlik düşmektedir. Malzeme yüzeyinden uzaklaştıkça sertliğin düşmesinin sebebi malzemenin yüzeyinden uzaklaştıkça boronun konsantrasyonunun azalmasından kaynaklanmaktadır. Önce B içeriğinin en yüksek olduğu en yüksek sertliğe sahip TaB₂ fazı gözükmemektedir mesafe daha da arttığı zaman B konsantrasyonu daha az olan geçiş bölgesi vardır ve mesafe yeterince arttığı zaman borondan etkilenmeyen ana metal bölgesi olan matris bölgesi mevcuttur.

4.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemesi

Şekil 4.27 ile 4.29 arasındaki resimlerde SEM yatay kesit incelemelerinin resimleri gösterilmektedir. SEM yatay kesit incelemelerinde, borlanmış tantalium üzerinde oluşan borür tabakasının homojen ve sıkı bir yapıda olduğu gözüküyor. Borlanmış tantaliumun yatay kesit incelemesinde 3 farklı bölge olduğu gözüküyor.

(1) borürden oluşan (TaB/TaB_2) yüzey tabakası, (2) borürlü katı çözültiden meydana gelen geçiş bölgesi, (3) borondan etkilenmeyen ana malzeme.

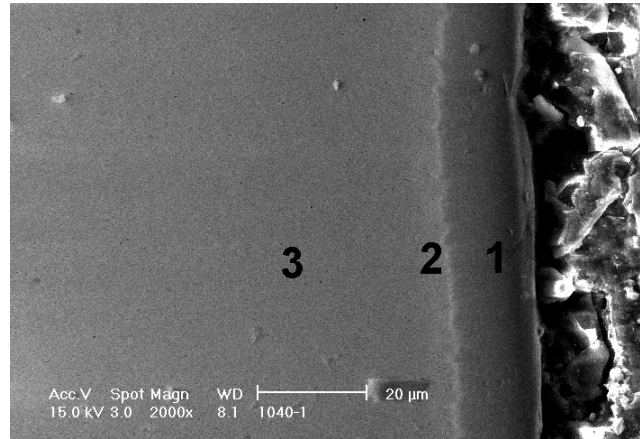
Metalografik incelemeler sonucunda, tantalyum numunelerin 1040 °C, 1090 °C, 1140 °C sıcaklıklarda 2, 4, 8, 12 ve 16 saat sürelerle borlanmasıdan sonra kaplama/matris arayüzey morfolojisinin düz bir yapıya sahip olduğu açıkça gözükmektedir. Borlama işlemine tabi tutulan numunelerde elde edilen borür tabakalarının kalınlığı bazı bölgelerde farklılıklar göstermekle birlikte yoğun ve sıkı bir yapıya sahiptir.

Şekil 4.26 ile 4.28 arasındaki resimlerden görüldüğü gibi borlama süresi arttıkça her sıcaklıkta bor tabakasının daha kalın olduğu açıkça gözlenmektedir. Borlama işleminin süresi ve sıcaklığı arttıkça bor tabakasının kalınlığı da artmaktadır. Bu çalışmada en ince bor tabakası 1040 °C’ de 2 saat süreyle yapılan deneyde elde edildi, en kalın bor tabakası ise 1140 °C’ de 16 saat süreyle yapılan deneyde elde edildi. Deney sonuçları da bize borlama süresi ve sıcaklığı arttıkça bor tabakası kalınlığını artırdığını gösteriyor. Tablo 4.2 yapılan çalışmada bulunan ortalama borür tabakası kalınlıklarını gösteriyor.

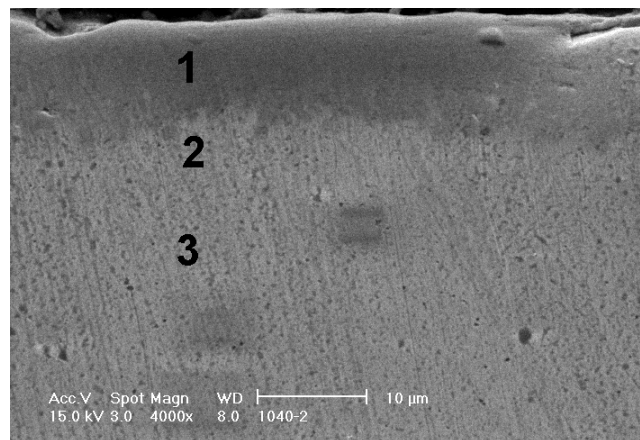
Sıcaklık artması tabaka kalınlığını artırması yanında poroziteyi de artırmaktadır. Porozitenin artması ise tabakanın gevrekleşmesine yol açmaktadır. Borlanan tantalyum numuneler incelendiği zaman, borlama süresi ve sıcaklığı arttıkça borlanmış numunedeki porozitenin arttığı gözlenmektedir.

Tablo 4.2. Borlanmış tantalyum numuneler üzerinde oluşan borür tabakaların borlama sürelerine göre ortalama tabaka kalınlıkları

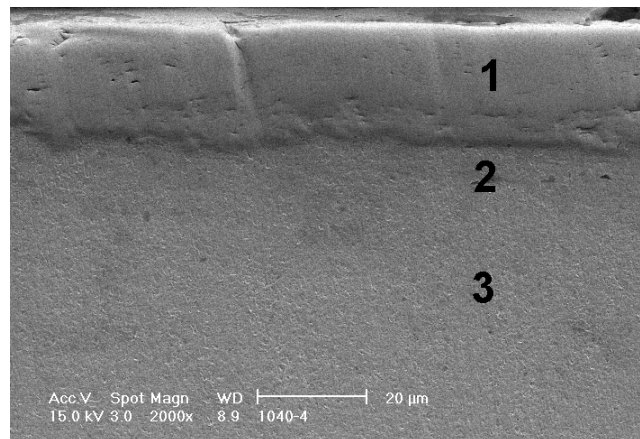
Sıcaklık(°C)	Zaman (saat)				
	2	4	8	12	16
1040 °C	8,63 $\mu\text{m} \pm 1,85$	12,46 $\mu\text{m} \pm 5,17$	19,00 $\mu\text{m} \pm 7,83$	23,25 $\mu\text{m} \pm 9,12$	26,58 $\mu\text{m} \pm 12,93$
1090 °C	19,75 $\mu\text{m} \pm 1,84$	21,6 $\mu\text{m} \pm 2,5$	28,67 $\mu\text{m} \pm 6,71$	32,89 $\mu\text{m} \pm 14,01$	35,72 $\mu\text{m} \pm 9,52$
1140 °C	22,28 $\mu\text{m} \pm 4,05$	33,17 $\mu\text{m} \pm 9,61$	38,77 $\mu\text{m} \pm 11,15$	40,34 $\mu\text{m} \pm 13,35$	47,74 $\mu\text{m} \pm 15,23$



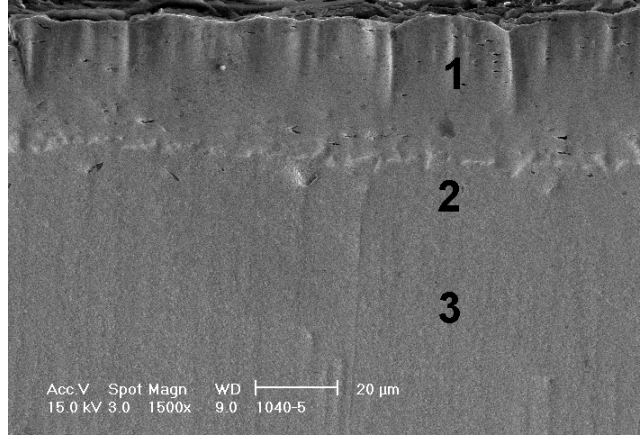
(a)



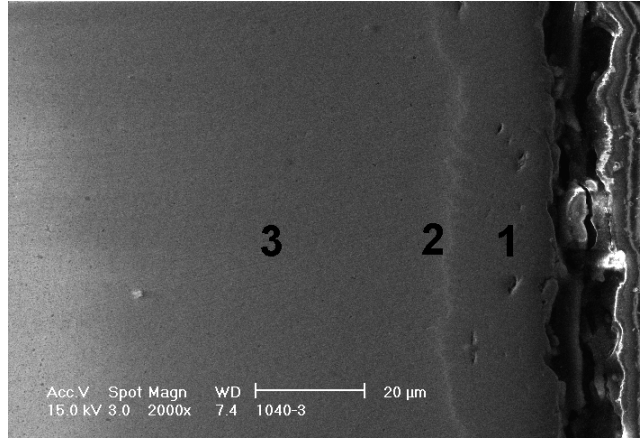
(b)



(c)

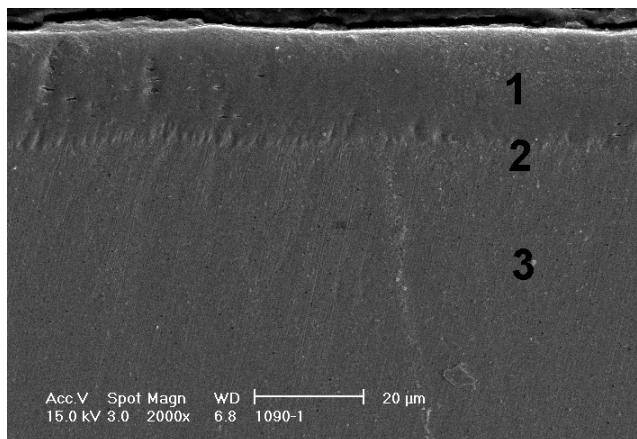


(d)

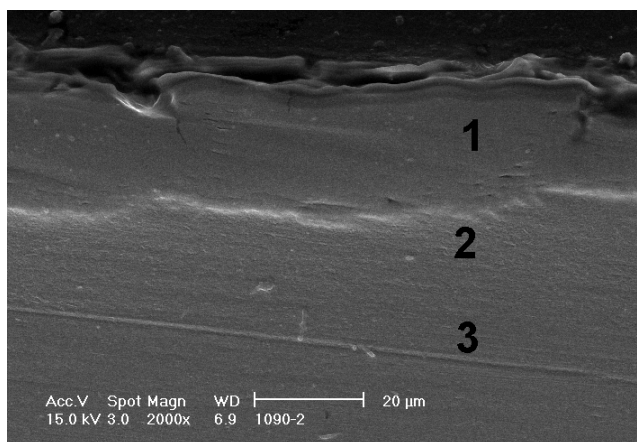


(e)

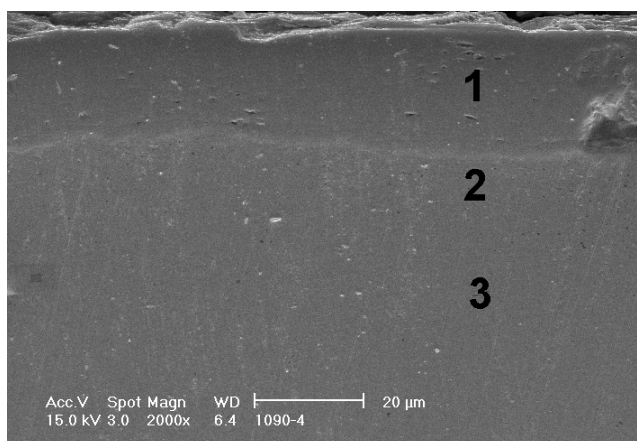
Şekil 4.27 1040 °C'de (a) 2 saat (b) 4 saat (c) 8 saat (d) 12 saat (e) 16 saat borlanmış Ta'ların (1) bor tabakalarını (2) geçiş bölgelerini ve (3) ana metal malzemelerini gösteren SEM resimleri.



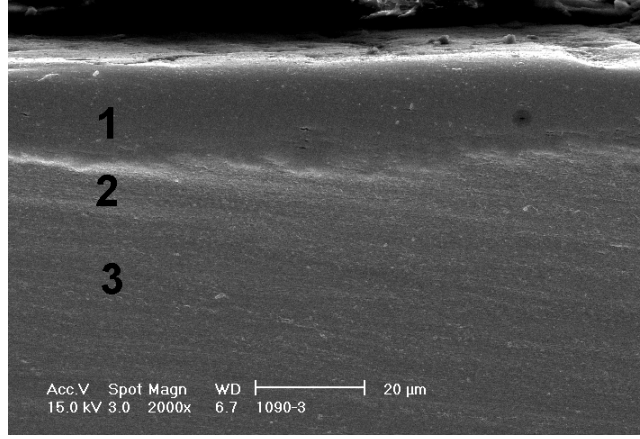
(a)



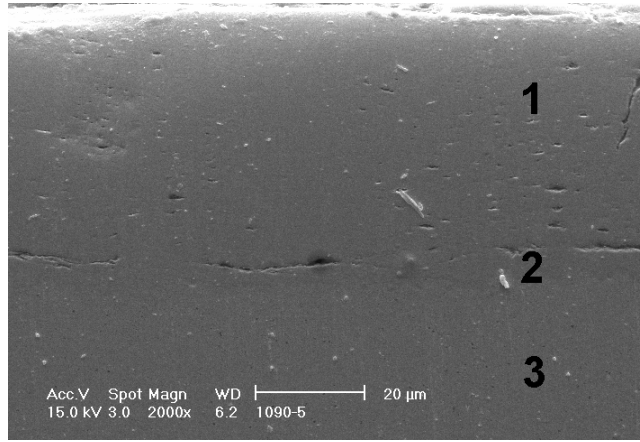
(b)



(c)

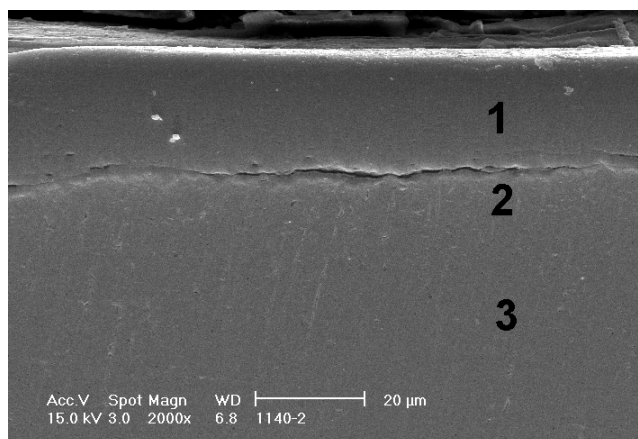


(d)

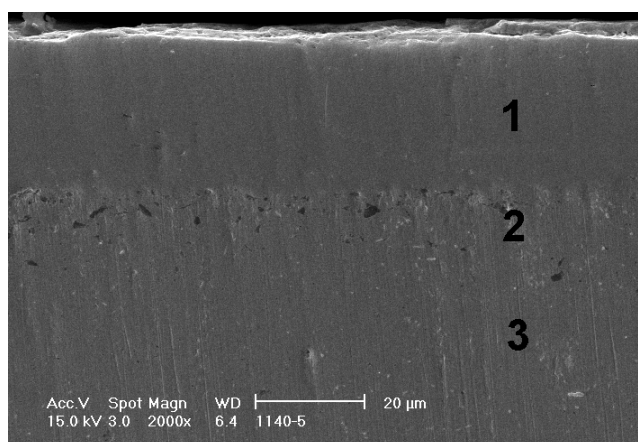


(e)

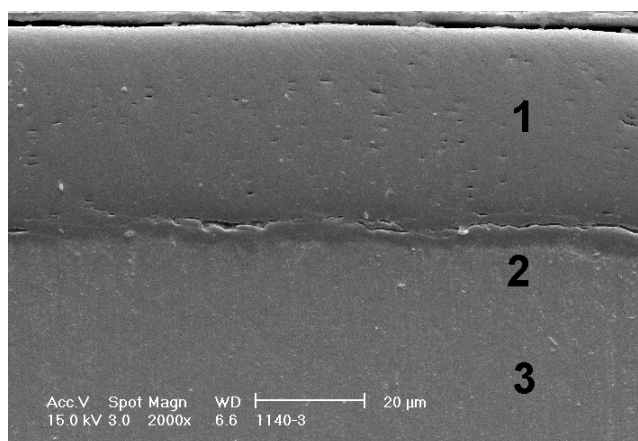
Şekil 4.28 1090 °C'de (a) 2 saat (b) 4 saat (c) 8 saat (d) 12 saat (e) 16 saat borlanmış Ta'ların (1) bor tabakalarını (2) geçiş bölgelerini ve (3) ana metal malzemelerini gösteren SEM resimleri.



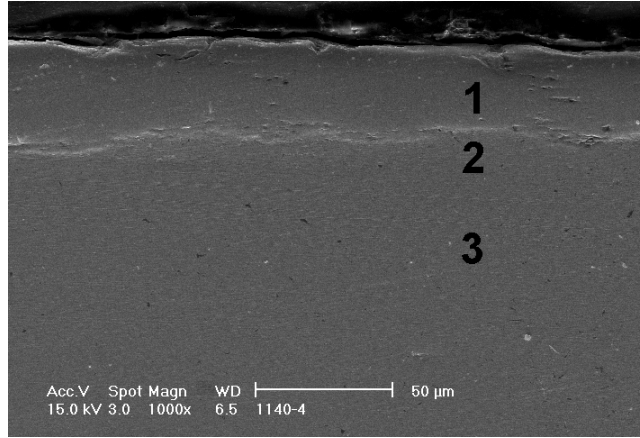
(a)



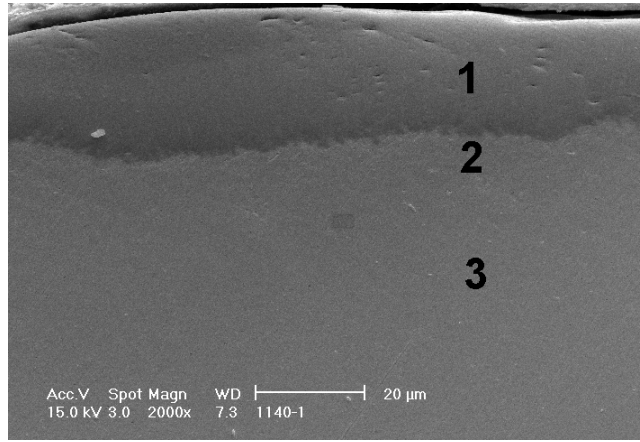
(b)



(c)



(d)



(e)

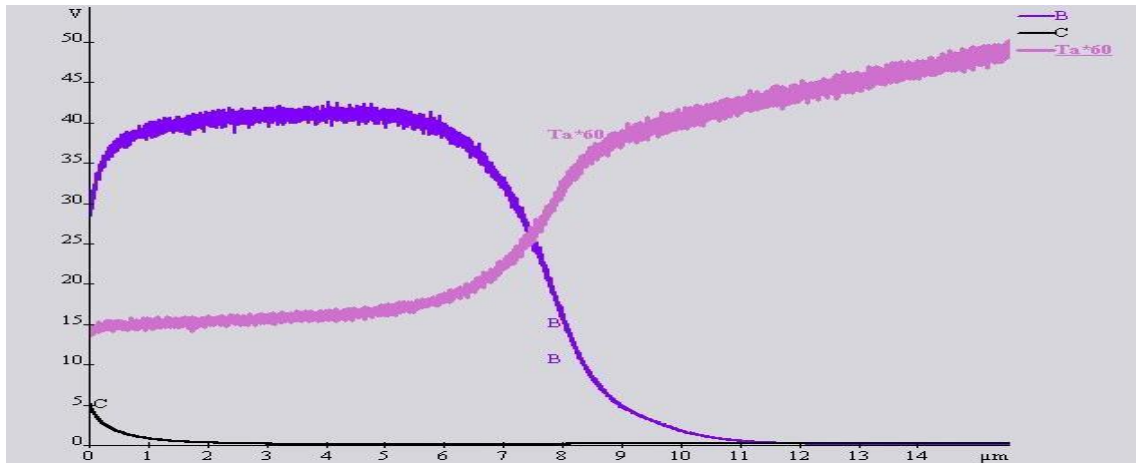
Şekil 4.29 1140 °C’de (a) 2 saat (b) 4 saat (c) 8 saat (d) 12 saat (e) 16 saat borlanmış Ta’ların (1) bor tabakalarını (2) geçiş bölgelerini ve (3) ana metal malzemelerini gösteren SEM resimleri.

4.4. YüzeY Analizi

Şekil 4.30.’ da borlanmış Ta’nın yüzeY analizini görüyoruz. GDOF sonuçları Ta, B ve C kompozisyonunun yüzeYden malzemenin içlerine doğru olan değişimini gösteriyor. Ta atomlarının bor tabakasından matrise doğru yeniden dağılımının ölçümü Ta miktarının yüzeYde düşük olduğunu ve yüzeYden uzaklaştıkça arttığını göstermektedir. Bor miktarı yüzeY bölgesinde yüksektir ancak yüzeYden uzaklaştıkça azalmaktadır.

Borlama işleminin süresinin artmasının bor elementinin konsantrasyonunun yüzeyden uzaklaştıkça düşme hızında önemli bir etkisi vardır. Borlama işleminin süresinin artması bor konsantrasyonunun mesafeyle birlikte azalma hızında önemli bir azalma olduğu gözlenmektedir. 1140 °C'de 2 saat borlanmış Ta numunenin bor konsantrasyonu ~6 µm'de düşmeye başlamaktadır. Bu mesafede bir ara yüzey oluşturmaktadırlar ve ana malzeme Ta'nın konsantrasyonu artmaya başlamaktadır.

Yüzey analizinden de görüleceği üzere, C'nin sadece yüzeyde olduğu ve bu yüzden de X-ışınlarında TaC görüldüğü ortaya çıkmaktadır. Fakat, GDOF sonuçlarına göre oluşan tabakanın Ta ile B arasındaki reaksiyon sonucu ortaya çıktığı bellidir. Şöyle ki, Şekil 4.30'da da görüldüğü üzere malzeme yüzeyinden uzaklaştıkça C görülmemiştir buna nazaran B belli bir seviyeye kadar görülmüş, B'nin azaldığı noktada ise Ta seviyesi artarak sabit bir değer almıştır. Kısaca, arayüzeyde B seviyesi düşmüş, Ta seviyesi artmıştır. Bu da Ta'nın borlanması sonucu oluşan TaC'nin sadece yüzeyde olduğunu iç seviyelerde ise sadece B'nin difüzyonu ile tantalyum borürlerin oluştuğunu kanıtlamaktadır.

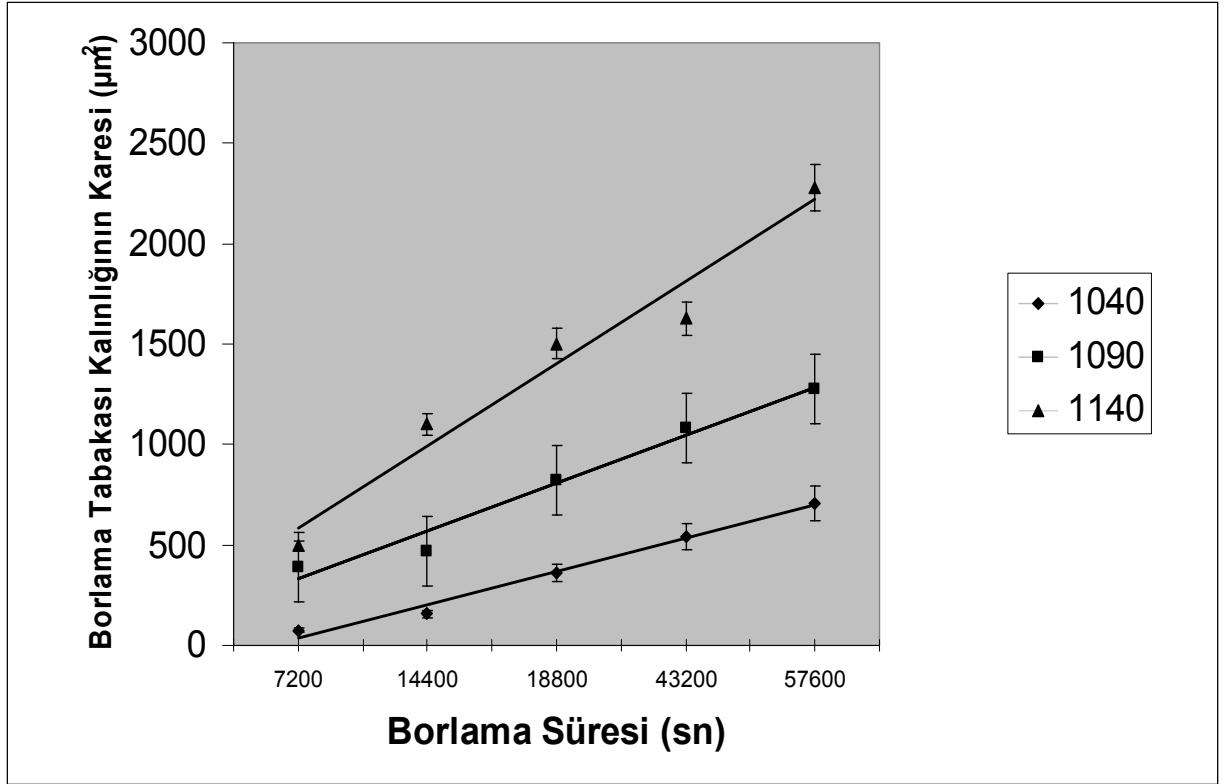


Şekil 4.30. 1140 °C'de 2 saat borlanmış Ta malzemenin yüzey analizi.

4.5. Kinetik

Fick kanunları TaB ve TaB₂ içindeki boron konsantrasyonunu belirler. Bu kanunlar tantalyum üzerindeki dönüşümün difüzyon katsayısını hesaba katar. Difüzyon katsayısı proses sıcaklığına ve yüzeyin üzerindeki difüze olan boron konsantrasyonuna bağlıdır. Zamanın TaB ve TaB₂ tabakalarının kalınlığına olan

etkisi, $X^2=Kt$ formülünde veriliyor. “X” borür tabakasının kalınlığı, “t” borlama işleminin süresini “K” ise büyüme hız sabitini temsil etmektedir. $X^2=Kt$ formülü şekil borür tabakası kalınlığının karesinin zamanla değişimini gösteren grafiğin elde edilmesini sağlamaktadır. Şekil 4.31’de bulunan doğruların eğimi bize o sıcaklıkta borlama işleminin büyüme hız sabitini vermektedir.



Şekil 4.31 Bor tabaka kalınlığının karesinin borlama süresiyle değişimini gösteren grafik

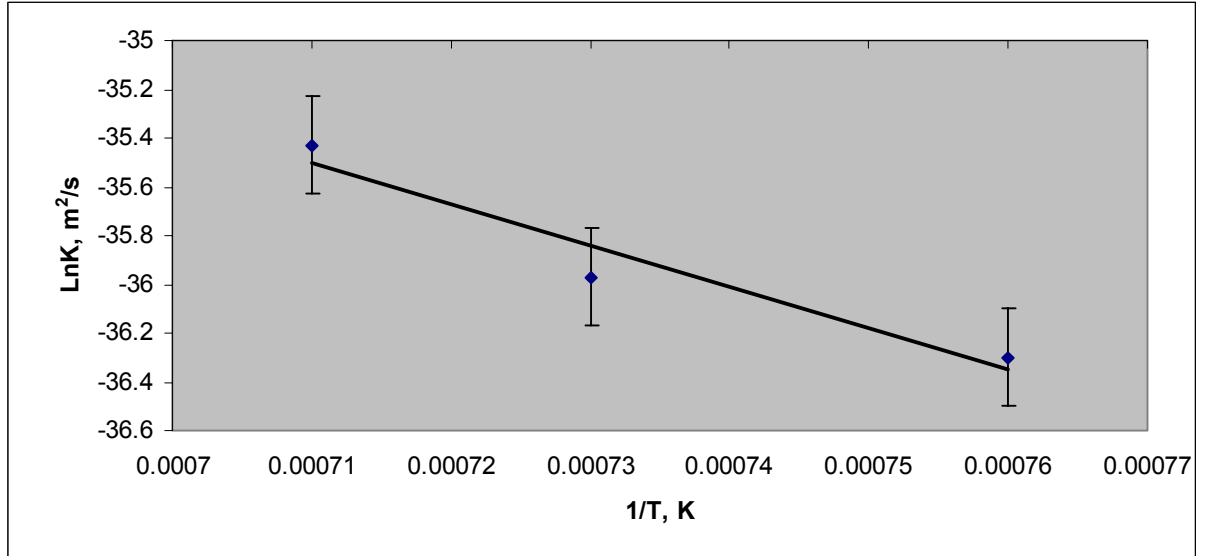
Şekil 4.31’de 1040 °C, 1090 °C ve 1140 °C de borlanmış Ta numunelerin üzerinde oluşan borür tabakalarının karelerinin borlama süresiyle olan değişimini göstermektedir. Şekil 4.30’dan görüldüğü gibi tabaka kalınlığının karesinin zamanla beraber doğrusal olarak değişmektedir. Dış değeri hesaplanmış çizgi orijinden geçmez. Bu olayın sebebi Çelikyürek ve arkadaşlarının yaptıkları araştırmalara göre bor tabakasının oluşması için gerekli olan kuluçka zamanından kaynaklanmaktadır.

Şekil 4.31’ de görüldüğü gibi, borür tabakalarının kalınlıklarının karelerinin zamana göre değişimleri çizilmiş ve lineer bir doğru elde edilmiştir. Borür tabakalarının kalınlıklarının karelerinin zamana göre değişimi lineer bir doğru

çizmesi bu olayın difüzyon kontrollü bir işlem olduğunu göstermektedir. Borür tabakasının büyüme hızı boronun difüzyonu ile kontrol edilmektedir.

Şekil 4.31 büyüme hız sabitinin sıcaklıkla olan değişimini elde etmemizi sağlıyor. Her sıcaklık için borlama işleminin sahip olduğu büyüme hız sabitini şekil 4.30’ daki doğrusal çizgilerin eğiminden hesaplıyoruz.

Şekil 4.31 bor tabakasının borlama zamanı ve sıcaklığının bir fonksiyonu olarak derinliğini işaret ediyor. Şekil 4.31’ dan görüldüğü gibi, ne kadar yüksek borlama sıcaklığı ve borlama süresi olursa o oranda kalın kaplama tabakasına yol açar. Bor tabakasının sıcaklık arttıkça artmasının sebebi sıcaklık arttıkça borun hareketliliğinin artmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.32 Tantalumun büyüme hız sabitinin sıcaklıkla değişimi .

Aktivasyon enerjisini şekil 4.32’ de grafikteki düz çizginin eğiminden hesaplanır. Şekil 4.31’ de bulunan düz çizginin eğimi bize $-Q/R$ ’i vermektedir. Çizginin eğiminin negatif halini R sabitiyle çarpınca aktivasyon enerjisini bulmuş oluruz.

Tablo 4.3. 1040 °C ,1090 °C ,ve 1140 °C de borlanmış Ta'nın aktivasyon enerjisi ve büyüme hız sabitleri

Büyüme hız Sabiti (K) (m ² /s)			Aktivasyon enerjisi (J/mol)
1040 °C	1090 °C	1140 °C	
1,65 x10 ⁻¹⁶	2,38x10 ⁻¹⁶	4,09x10 ⁻¹⁶	140473,4775

Büyüme hız sabitinin sıcaklıkla beraber arttığı yapılan deneylerde elde edilen sonuçlarda açık şekilde gözükmetedir. Tablo 4.3'de 1040 °C ,1090 °C ve 1140 °C de borlanmış Ta numunelerin aktivasyon enerjisi ve büyüme hız sabitleri gösterilmektedir. Ta numunenin borlama işleminin aktivasyon enerjisi 140473,4775 J/mol bulunmuştur. 1040 °C' de Ta numunedeki borun K sabiti 1,65 x10⁻¹⁶ m²/s , 1090 °C' de borun K sabiti 2,38x10⁻¹⁶ m²/s ve 1140 °C' de borun K sabiti 4,09x10⁻¹⁶ m²/s bulunmuştur.

5. SONUÇLAR

1040 °C, 1090 °C ve 1140 °C sıcaklıklarda 2 saat, 4 saat, 8 saat, 12 saat ve 16 saat Ta numuneler borlama işlemine tabi tutuldular. Borlanmış numunelerin kinetik ve mekanik özellikleri incelendi ve aşağıdaki sonuçlar elde edildi.

(1) Tantalum üzerinde oluşan borür tabakası yoğun, sıkı ve kısmen homojen bir morfolojiye sahiptir. Borlama işleminin süresi ve sıcaklığı arttıkça malzemenin borür tabakasının kalitesi düşmektedir. Borlama süresi ve sıcaklığının artması ile borür tabakası daha poroz yapıya sahip olmaktadır.

(2) TaB₂, TaB, Ta ve TaC gibi çeşitli fazların oluştuğu x-ışınları analizleri sonucunda ortaya çıkıyor. Hakim fazın TaB₂ olduğu XRD analizi ile doğrulandı. Birçok sıcaklık ve sürelerde TaB'ye rastlanmıştır.

(3) Mikroyapı çalışmaları üç farklı bölge gösterdi (1) borürden oluşan (TaB₂ ve TaB) yüzey tabakası, (2) borürlü katı çözültiden meydana gelen geçiş bölgesi ve (3) borondan etkilenmeyen ana malzeme.

(4) Borlama işleminin sıcaklığına ve süresine göre, borlanan altlık tantalum malzemenin üzerinde oluşan borür tabakanın kalınlığı 8.63 ile 47.74 µm aralığında değişmektedir. Borlama işleminin süresi ve sıcaklığı arttığı zaman borür tabakasının kalınlığı artmaktadır.

(5) Altlık malzemenin üzerindeki borürün sertliği ortalama 3410 ile 5937 Hv aralığında değişir. Geçiş bölgesi sertlikleri 352 Hv ile 479 Hv sertlikleri arasında değişir. Altlık malzemenin sertliği 107 ile 138 Hv aralığında değişmektedir. Yüzeyden uzaklaştıkça sertlik değerleri azalmaktadır.

(6) Borlanmış Ta numunenin GDOF yüzey analizi sonuçlarına göre. Borlama işleminde Ta miktarının yüzeyde düşük olduğunu ancak mesafeyle birlikte Ta miktarında artış olduğu gözlenmektedir. Bor miktarının ise yüzeyde yüksek olan konsantrasyonun mesafeyle birlikte azaldığı gözlenmektedir. TaC yüzeyde oluştuğu ve giderek azalarak kaybolduğu GDOF sonuçları ile belirlenmiştir. X-ışınlarında görülen TaC pikleri yüzeyden elde edilen piklerdir.

(7) Aktivasyon enerjisinin 140473,4775 j/mol, 1040 °C' de Ta numunedeki borun K sabiti $1,65 \times 10^{-16} \text{ m}^2/\text{s}$, 1090 °C' de borun K sabiti $2,38 \times 10^{-16} \text{ m}^2/\text{s}$ ve 1140 °C' de borun K sabiti $4,09 \times 10^{-16} \text{ m}^2/\text{s}$ olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Sources and Properties of Tantalum, M.Forest Materials World, Vol. 10, no. 10, pp. 14-16, October 2002
2. Coatings Tribology, K. Holmberg, A. Matthews, Elsevier Science B.V., pp.1-33,1994
3. Wear Failures, Metals Handbook, 8th. Edition, ASM, pp. 134-156,1975.
4. Plazma Borlama, Ayhan Çelik, Akgün Alsaran, Mehmet Karakan, Mühendis ve Makine Eylül 2002
5. Bor yayınımla çeliklerde yüzey sertleştirme, Yük.Müh N.Bozkurt Doktora Tezi (1984)
6. Az Alaşımlı ve Karbon Çeliklerinde Borlama ile Yüzeğe Kaplanan Borürlerin Bazı Özelliklerinin Tesbiti, C. Bindal, Doktora Tezi, İTÜ, 1991.
7. Çeliğin Borür Tabakası, Geçiş Zonu ve Ana matriks Özelliklerinin İyileştirilmesi, Özsoy A.. Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, 1991.
8. Katı Ortamda Bor Yayınımlı ile Sertleştirilen Çelik Yüzeylerinin Kuru Kayma Halinde Sürtünme ve Aşınma Davanışları, Y. Soydan, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilim. Enst., İstanbul, Mart 1996.
9. Termokimyasal Borlama İşlemiyle AISI 5140, AISI 4140 ve AISI 4340 Çeliklerinin Yüzey Performanslarının Geliştirilmesi, Ş.Şen, Doktora Tezi, SAÜ Fen Bilim. Enst., Sakarya, Haziran 1998
10. Küresel Gafitli Dökme Demirlerin Bor Kaplanması ve Kaplama Özellikleri, U.Şen, Doktro Tezi, İTÜ Fen Bil. Enst., İstanbul, Eylül 1997
11. <http://www.asminternational.org/asmenterprise/apd/default.aspx>
12. Borlama, S.U.Bayça, S.Şahin, Mühendis ve Makine Mayıs 2004
13. A Hard Diffusion Boride Coating for Ferrous Materials, S.C. Singhal, Thin Solid Films, 45 ,pp 321-329,1977.
14. Boronizing, A.G. Matuschka, Carl Hanser Verlag, München, 100p,1980.
15. Surface Layers on Cobalt Base Alloys by Boron Diffusion, O. Knotek, E. Lugscheider and K. Leuschen, Thin Solid Films, 45, 331-339,1977.
16. Boronizing and its Practical Applications W. Fichtl, Materials in Engineering. Vol.2, 276-286,1981

17. Borlama yöntemiyle (AISI M50, AISI M2) yüksek hız çeliklerinin ve AISI çeliğinin yüzey performanslarının geliştirilmesi, Met.Yük. Müh.İ.Özbek Doktora Tezi (1999)
18. ASM Handbook, Vol.4. Boriding (Boronizing), Sinha A.K. pp.437-47,1991.
19. Lindberg Heat Treating company Brochure, What Is Boronizing? 620, Buffalo Road, Rochester, NY 14611,USA. <http://www.ceramics.com/~...cs/lindberg/boronize.html>
20. AISI 8620 Sementasyon Çeliğinin Bor Kaplanması, Şen Ş, Bindal, C., 9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı, Cilt. 1, 419-424, 11-15 Haziran 1997.
21. Çeliklerin Borlanması ve Ergimiş Tuz Elektrolizi Yöntemiyle Borlama Koşullarının Belirlenmesi, Güldem Kartal, Servet Timur, MetalMakine Dergisi 2005-02-12
22. Study of the Behavior of Boriding in Plain Carbon Steel, L.L. Oian, G:A. Stone, Journal of Materials Performance V,4,N,1 Park Ohio
23. Mechanical properties of boronized AISI W4 steel , I. Ozbek ,C. Bindal, Surface and Coatings Technology 154 (2002) 14-20
24. Sade karbonlu bir çeliğin borlama özelliklerinin incelenmesi, Kamil Delikanlı, Adnan Çalık, H.Ali Uzun, Baü. Fen Bil. Enst. Dergisi.
25. Boride coatings on non-ferrous materials in a fluidized bed reactor and their properties, K.G.Anthymidis, G.Stergioudis, D.N.Tsipas, Science and technology of advanced materials 3 (2002) 303-311
26. The characterization of borided pure niobium, Metin Usta, Surface&Coatings Technology ,Volume 194, Issues 2-3, 1 May 2005, Pages 251-255
27. The characterization of borided pure tungsten, M. Usta, I. Ozbek, M. Ipek, C. Bindal, A.H.Ucisik, Surface and Coatings Technology, Volume 194, Issues 2-3, 1 May 2005, Pages 330-334
28. Borlanmış AISI 1020 çeliğinin erozif aşınma davranışının incelenmesi, K.Yıldızlı, Fehmi Nair, Baü Fen Bil.Enst.Derg.(2003)
29. An investigation on surface properties of treated low carbon and alloyed steels (boriding and carburizing), B.Selçuk, R.Ipek, M.B.Karamis, V.Kuzucu, Journal of materials processing Technology 103 (2000) 310-317
30. Investigation of the effect of boronizing on cast irons, S.Şahin, C.Meric, Materials Research bulletin 37 (2002) 971-979

31. Evaluation of borides formed on AISI P20 steel, I.Uslu ,H.Comert , M.Ipek ,O.Ozdemir, C. Bindal ,Materials & Design, Available online 18 August 2005
32. Sliding and abrasive wear behavior of boride coatings, C .Martini ,G. Palombarini , G.Poli, D.Prandstraller,Wear 256 (2004) 608-613
33. Structural and Strength Characterization of Steels Subjected to Boriding Thermochemical Process, E.Melendez, I.Campos, E.Rocha, M.A.Barron, Materials Science and Engineering A234-236 (1997) 900-903
34. Mater. Sci. Eng.,A.Bouayad, Ch.Gerometta,A.Belkebir, A.Ambari, A 363 (1-2) (2003) 53
35. An approach to kinetic study of borided steels, S.Şen, U.Şen, C.Bindal, Surface&Coatings Technology 191 (2005) 274-285

ÖZGEÇMİŞ

22.05.1979 yılında Almanya’da doğdum. İlkokulu Faik Reşit Unat İlkokulunda, orta ve lise öğretimimi Şişli Terakki Lisesinde tamamladıktan sonra 1998-2002 yılları arasında eğitimime Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde devam ettim. 2003 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü’nde Yüksek Lisans programı’na kayıt oldum. Halen Sarkuysan Elektrolitik Bakır Sanayii ve Ticaret A.Ş.’de İhracat Pazarlama Bölümünde Pazarlama Uzmanı olarak çalışmaktayım.