

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TERMO-REAKTİF DİFÜZYON (TRD) YÖNTEMİYLE  
TiBCN KAPLANMIŞ WC-Co KESİCİ TAKIMLARIN  
VE ÇELİKLERİN AŞINMA ÖZELLİKLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tek.Öğr. Özkan KON**

**Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Şaduman ŞEN**

**Temmuz 2006**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TERMO-REAKTİF DİFÜZYON (TRD) YÖNTEMİYLE  
TiBCN KAPLANMIŞ WC-Co KESİCİ TAKIMLARIN  
VE ÇELİKLERİN AŞINMA ÖZELLİKLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tek.Öğr. Özkan KON**

**Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ**

**Enstitü Bilim Dalı : Yrd. Doç. Dr. Şaduman ŞEN**

**Bu tez .. / .. /2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.**

**Yrd. Doç. Dr. Şaduman ŞEN  
Jüri Başkanı**

**Prof. Dr. Fehim FINDIK  
Üye**

**Prof. Dr. Cuma BİNDAL  
Üye**

## TEŞEKKÜR

Çalışmalar sırasında bana yardımcı olan Metalurji Mühendisliği Bölümü Çalışanlarına ve Araştırma Görevlilerine, Çetin Lazer Ltd. Şti. çalışanlarına, Şahin Makine Ltd. Şti. çalışanlarına, Yrd. Doç. Dr. Şenol YILMAZ'a, Yrd Doc. Dr. Sakıp KÖKSAL'a yardımlarından dolayı teşekkür ederim. Bu çalışma sırasında fikir ve tecrübeleriyle bana yardımcı olan ve deneyler sırasında beni yönlendiren danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Şaduman ŞEN ve Doç. Dr. Uğur ŞEN' e sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında laboratuarda beraber çalıştığım Serdar PAZARLIOĞLU'na, hiçbir zaman benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen saygıdeğer aileme ve nişanlım Melek YOLCU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2006  
Özkan KON

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xxx
ÖZET.....	xxxii
SUMMARY.....	xxxii

## BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
------------	---

## BÖLÜM 2.

DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ.....	4
2.1.AISI 1040 Çeliğinin Tanımı.....	4
2.1.1. Sade karbonlu çelikler.....	4
2.1.1.1. Az karbonlu çelikler.....	4
2.1.1.2. Orta karbonlu çelikler.....	5
2.1.1.3. Yüksek karbonlu çelikler.....	5
2.1.2. Alaşımli çelikler.....	6
2.1.2.1 Düşük alaşımli çelikler.....	7
2.1.2.2.Yüksek alaşımli çelikler.....	7
2.2.AISI 1040 çeliğinin özellikleri.....	7
2.2.1. Kimyasal bileşim.....	7
2.3. AISI M2 Çeliğinin Tanımı.....	8
2.3.1. Takım çeliklerinin tanımı ve genel özellikleri.....	8
2.3.1.1. Soğuk iş takım çelikleri.....	11
2.3.1.2. Sıcak iş takım çelikleri (H grubu).....	12

2.3.1.3. Yüksek Hız takım Çelikleri (T ve W grubu).....	13
2.3.1.4. Suda soğutmalı takım çelikleri( W gurubu).....	15
2.3.1.5. Şoka dirençli takım çelikleri (S gurubu).....	17
2.3.1.6. Kalıp çelikleri (P grubu).....	17
2.3.1.7. Özel alaşımlı takım çelikleri (Lve F grubu).....	18
2.4. Kesici takım malzemeleri.....	18
2.4.1. Kesici takımların özellikleri.....	18

### BÖLÜM 3

BORLAMA VE ÖZELLİKLERİ .....	22
3.1. Giriş.....	22
3.2. Borlama.....	24
3.2.1. Borür tabakası.....	25
3.2.2. Geçiş bölgesi.....	27
3.3. Borlama Yöntemleri.....	27
3.3.1. Katı (Paket) borlama yöntemi .....	27
3.3.2. Sıvı borlama yöntemi.....	28
3.3.3. Gaz borlama yöntemi.....	30
3.3.4. Plazma borlama.....	31
3.4. Borlama İşleminin Avantajları.....	32
3.5. Borlama İşleminin Dezavantajları.....	33
3.6. Borlu Tabakanın Özellikleri .....	34
3.6.1. Borlu tabakanın tribolojik özellikleri.....	35
3.6.2. Borlu tabakanın korozyon özellikleri.....	36

### BÖLÜM 4.

TERMOREAKTİF DİFÜZYON (TRD) YÖNTEMİ.....	37
4.1 Giriş.....	37
4.2. Karbürleme Yöntemleri.....	38
4.3. Termoreaktif Difüzyon Kaplamalar .....	38
4.3.1. Yöntem karakteristikleri.....	
4.3.2. TRD karbür kaplamaların genel özellikleri.....	40
4.3.3. TRD yönteminde temel prensipler.....	40

4.3.4. TRD yönteminin üstünlükleri.....	42
4.3.5. TRD yöntemi ile yapılan Ti-B-C-N kaplamaların genel özellikleri.....	43
<b>BÖLÜM 5.</b>	
<b>DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>46</b>
5.1. Giriş.....	46
5.2. Deneysel Çalışmalar.....	47
5.2.1.Çelik malzemenin özellikleri.....	47
5.3. Deneysel Kullanılan Cihazlar.....	48
5.3.1.Borlama ve Termoreaktif karbür kaplama fırını.....	48
5.3.2.Borlama ve titanyumlama potaları .....	48
5.4. Borlama İşlemi.....	49
5.5. Termo Reaktif Difüzyon İşlemi (Titanyumlama).....	50
5.6. Metalografik İnceleme.....	50
5.7. X-Işınları Difraksiyon Analizi.....	51
5.8. Sertlik Deneyleri.....	51
5.9. Aşınma Deneyleri.....	51
<b>BÖLÜM 6.</b>	
<b>SONUÇLAR .....</b>	<b>53</b>
6.1.GİRİŞ.....	53
6.2. Metolografik İnceleme.....	53
6.3. Sertlik Ölçümleri.....	66
6.4. X-Işınları Difraksiyon Analizi.....	67
6.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Elementel Analiz İncelemesi.....	71
6.6. Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi.....	72
<b>BÖLÜM 7.</b>	
<b>TARTIŞMA VE ÖNERİLER .....</b>	<b>158</b>
7.1. Sonuçlar.....	158
7.2. Öneriler.....	160

KAYNAKLAR.....	161
ÖZGEÇMİŞ.....	164

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

CVD	: Kimyasal buhar biriktirme
PVD	: Fiziksel buhar biriktirme
HV	: Vickers sertlik
TRD	: Termoreaktif difüzyon
TD	: Termo difüzyon
M	: Metal
r	: Yarıçap
CFE	: Karbür oluşturuç element
NFE	: Nitrür oluşturuç element
T	: Sıcaklık
t	: Zaman
m	: Metre
XRD	: X-ışınları difraksiyon analizi
$\Phi$	: Çap
TiBCN	: Titanyum Bor Karbo Nitrür
TiN	: Titanyum Nitür
TiB	: Titanyum Borür
TiBN	: Titanyum Bor Nitrür
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: Alümina
EDS	: Enerji dağılımlı x- ışınları spektroskopisi
SEM	: Taramalı elektron mikroskopu
AISI	: Amerikan çelik endüstrisi normu



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Hız çeliklerinde karbür dağılımı.....	14
Şekil 3.1.	Demir-bor denge diyagramı .....	24
Şekil 3.2.	Bor tabakası, geçiş bölgesi ve ana yapının şematik resmi.....	26
Şekil 3.3.	Katı (paket) borlama işleminin şematik görünüşü.....	29
Şekil 3.4.	Sıvı borlama işleminin şematik görünüşü .....	28
Şekil 3.5.	Gaz borlama ünitesi .....	30
Şekil 4.1.	TRD prosesinin akım şemasının şematik gösterimi.....	39
Şekil 4.2.	Diğer yüzey sertleştirme yöntemleri ile TRD prosesinde elde edilen karbür tabakalarının yüzey sertlikleri.....	42
Şekil 4.3.	TiBN faz diyagramı .....	44
Şekil 4.4.	Yüksek sıcaklıkta kaplanan TiBCN kaplamasının bor üzerindeki C:N oranına göre sertlik dağılımı.....	44
Şekil 4.5.	Bazı kaplamaların korozyon dayanımları.....	45
Şekil 4.6.	Bazı kaplamaların sıcak korozyon dayanımları.....	45
Şekil 5.1.	Kaplama işlemine tabi tutulan AISI 1040 ve AISI M2 çelik numunelerin boyutları .....	48
Şekil 5.2.	Kaplama işlemine tabi tutulan ISO P 15-20 WC-Co kesici takımı numunesinin boyutları.....	48
Şekil 5.3.	Kaplama işlemlerinde kullanılan borlama potası .....	49
Şekil 5.4.	Kaplama işlemlerinde kullanılan titanyumlama potası .....	49
Şekil 5.5.	Aşınma deneylerinde kullanılan cihazın şematik gösterilişi.....	52
Şekil 6.1.	İşlem görmemiş AISI 1040 çeliğinin mikroyapısı .....	54
Şekil 6.2.	İşlem görmemiş AISI M2 çeliğinin mikroyapısı.....	55
Şekil 6.3.	İşlem görmemiş P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin mikroyapısı.....	55
Şekil 6.4.	900 °C’de 2saat süreyle borlanmış AISI 1040 çeliğinin mikroyapısı.....	56

Şekil 6.5.	1000 °C’de 2saat süreyle borlanmış AISI M2 çeliğinin mikroyapısı.....	57
Şekil 6.6.	1000 °C’de 2saat süreyle borlanmış P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin mikroyapısı.....	58
Şekil 6.7.	1000°C sıcaklıkta 2 saat süre ile titanyumlanan AISI 1040 çeliğinin mikroyapısı.....	58
Şekil 6.8.	1000°C sıcaklıkta 2 saat süre ile titanyumlanan AISI M2 çeliğinin mikroyapı görüntüsü.....	59
Şekil 6.9.	800°C sıcaklıkta 1 saat süre ile titanyumlanan P 15-20 WC-Co kesici takım numunesin mikroyapısı .....	58
Şekil 6.10.	800°C sıcaklıkta 2 saat süre ile titanyumlanan P 15-20 WC-Co kesici takım numunesin mikroyapısı.....	59
Şekil 6.11.	800°C sıcaklıkta 3 saat süre ile titanyumlanan P 15-20 WC-Co kesici takım numunesin mikroyapısı.....	59
Şekil 6.12.	800°C sıcaklıkta 4 saat süre ile titanyumlanan P 15-20 WC-Co kesici takım numunesin mikroyapısı .....	60
Şekil 6.13.	900°C sıcaklıkta 1 saat süre ile titanyumlanan P 15-20 WC-Co kesici takım numunesin mikroyapısı.....	60
Şekil 6.14.	900°C sıcaklıkta 2 saat süre ile titanyumlanan P 15-20 WC-Co kesici takım numunesin mikroyapısı.....	61
Şekil 6.15.	900°C sıcaklıkta 3 saat süre ile titanyumlanan P 15-20 WC-Co kesici takım numunesin mikroyapısı.....	61
Şekil 6.16.	900°C sıcaklıkta 4 saat süre ile titanyumlanan P 15-20 WC-Co kesici takım numunesin mikroyapısı.....	62
Şekil 6.17.	1000°C sıcaklıkta 1 saat süre ile titanyumlanan P 15-20 WC-Co kesici takım numunesin mikroyapısı.....	62
Şekil 6.18.	1000°C sıcaklıkta 2 saat süre ile titanyumlanan P 15-20 WC-Co kesici takım numunesin mikroyapısı.....	63
Şekil 6.19.	1000°C sıcaklıkta 3 saat süre ile titanyumlanan P 15-20 WC-Co kesici takım numunesin mikroyapısı.....	63
Şekil 6.20.	1000°C sıcaklıkta 4 saat süre ile titanyumlanan P 15-20 WC-Co kesici takım numunesin mikroyapısı.....	64

Şekil 6.21.	800, 900, 1000°C sıcaklıkta TiBCN kaplama işlemine tabi tutulmuş ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin kaplama zamanına bağlı olarak tabaka kalınlığı değişimi .....	65
Şekil 6.22.	TiBCN kaplama işlemine tabi tutulmuş ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin sıcaklığa ve bağlı olarak tabaka kalınlığı değişimi.....	67
Şekil 6.23.	Kaplama işlemine tabi tutulan numunelerin sertlikleri .....	68
Şekil 6.24.	900°C’de 2 saat süre ile TiBCN kaplanan AISI 1040 numunesinin X-ışınları difraksiyon paterni .....	68
Şekil 6.25.	1000°C’de 2 saat süre ile TiBCN kaplanan AISI M2 numunesinin X-ışınları difraksiyon paterni .....	68
Şekil 6.26.	1000°C’de 2 saat süre ile TiBCN kaplanan P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin X-ışınları difraksiyon paterni .....	69
Şekil 6.27.	1000°C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiBCN kaplanan AISI 1040 numunesinin SEM mikrografi.....	70
Şekil 6.28.	1000°C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiBCN kaplanan AISI M2 numunesinin SEM mikrografi.....	70
Şekil 6.29.	1000°C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiBCN kaplanan ISO P 15-20 numunesinin SEM mikrografi.....	71
Şekil 6.30.	900°C’de 2 saat süre ile TiBCN kaplanan AISI 1040 çelik numunenin kaplama tabakasının (a) SEM mikroyapı görüntüsü üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) kaplama tabakasının (d) borlama tabakasının noktasal analiz diyagramı.....	72
Şekil 6.31.	1000°C’de 2 saat süre ile TiBCN kaplanan AISI M2 çelik numunenin (a) SEM mikroyapı görüntüsü üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) kaplama tabakasının (d) borlama tabakasının noktasal analiz diyagramı.....	73

Şekil 6.32.	1000°C’de 2 saat süre ile TiBCN kaplanan ISO P 15-20 numunenin (a) SEM mikroyapı görüntüsü üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) kaplama tabakasının (d) borlama tabakasının noktasal analiz diyagramı.....	74
Şekil 6.33.	2N yük altında 0,1 m/s hızda 160 metre mesafede Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye ile aşındırılan AISI 1040 çeliğinin SEM mikrografi.....	75
Şekil 6.34.	2N yük altında 0,1 m/s hızda 160 metre mesafede AISI 440 C bilye ile aşındırılan AISI 1040 çeliğinin SEM mikrografi .....	76
Şekil 6.35.	2N yük altında 0,1 m/s hızda 160 metre mesafede Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye ile aşındırılan AISI M2 çeliğinin SEM mikrografi .....	76
Şekil 6.36.	2N yük altında 0,1 m/s hızda 160 metre mesafede AISI 440 C bilye ile aşındırılan AISI M2 çeliğinin SEM mikrografi.....	77
Şekil 6.37.	2N yük altında 0,1 m/s hızda 160 metre mesafede Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye ile aşındırılan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin SEM mikrografi .....	77
Şekil 6.38.	2N yük altında 0,1 m/s hızda 160 metre mesafede AISI 440 C bilye ile aşındırılan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin SEM mikrografi .....	78
Şekil 6.39.	2N yük altında 0,3 m/s hızda 160 metre mesafede Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye ile aşındırılan AISI 1040 çeliğinin SEM mikrografi.....	78
Şekil 6.40.	2N yük altında 0,3 m/s hızda 160 metre mesafede AISI 440 C bilye ile aşındırılan AISI 1040 çeliğinin SEM mikrografi.....	79
Şekil 6.41.	2N yük altında 0,3 m/s hızda 160 metre mesafede Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye ile aşındırılan AISI M2 çeliğinin SEM mikrografi .....	79
Şekil 6.42.	2N yük altında 0,3 m/s hızda 160 metre mesafede AISI 440 C bilye ile aşındırılan AISI M2 çeliğinin SEM mikrografi .....	80
Şekil 6.43.	2N yük altında 0,3 m/s hızda 160 metre mesafede Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye ile aşındırılan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesini SEM mikrografi .....	80
Şekil 6.44.	2N yük altında 0,3 m/s hızda 160 metre mesafede AISI 440 C bilye ile aşındırılan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin SEM mikrografi .....	81

Şekil 6.45.	2N yük altında 0,5 m/s hızda 160 metre mesafede Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye ile aşındırılan AISI 1040 çeliğinin SEM mikrografı.....	81
Şekil 6.46.	2N yük altında 0,5 m/s hızda 160 metre mesafede AISI 440 C bilye ile aşındırılan AISI 1040 çeliğinin SEM mikrografı.....	82
Şekil 6.47.	2N yük altında 0,5 m/s hızda 160 metre mesafede Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye ile aşındırılan AISI M2 çeliğinin SEM mikrografı .....	82
Şekil 6.48.	2N yük altında 0,5 m/s hızda 160 metre mesafede AISI 440 C bilye ile aşındırılan AISI M2 çeliğinin SEM mikrografı.....	83
Şekil 6.49.	2N yük altında 0,5 m/s hızda 160 metre mesafede Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye ile aşındırılan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin SEM mikrografı .....	83
Şekil 6.50.	2N yük altında 0,5 m/s hızda 160 metre mesafede AISI 440 C bilye ile aşındırılan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin SEM mikrografı .....	84
Şekil 6.51.	TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye arasındaki 1N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (b) AISI 1040 çelik numune.....	84
Şekil 6.52.	TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 1N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (b) AISI 1040 çelik numune.....	85
Şekil 6.53.	TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye arasındaki 2N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (b) AISI 1040 çelik numune.....	85

- Şekil 6.54. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 2N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (b) AISI 1040 çelik numune..... 85
- Şekil 6.55. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye arasındaki 5N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune..... 86
- Şekil 6.56. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 5N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune..... 86
- Şekil 6.57. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye arasındaki 1N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune..... 86
- Şekil 6.58. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 1N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune..... 87
- Şekil 6.59. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye arasındaki 2N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune 87

Şekil 6.60.	TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 2N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune.....	87
Şekil 6.61.	TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye arasındaki 5N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune	88
Şekil 6.62.	TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 5N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune.....	88
Şekil 6.63.	TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye arasındaki 1N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune	88
Şekil 6.64.	TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 1N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune.....	89
Şekil 6.65.	TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye arasındaki 2N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune	89
Şekil 6.66.	TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 2N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune.....	89

- Şekil 6.67. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 5N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune 90
- Şekil 6.68. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 5N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune..... 90
- Şekil 6.69. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 1N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (b) AISI M2 çelik numune... 90
- Şekil 6.70. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 1N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (c) AISI M2 çelik numune..... 91
- Şekil 6.71. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 2N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (c) AISI M2 çelik numune... 91
- Şekil 6.72. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 2N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (b) AISI M2 çelik numune..... 91
- Şekil 6.73. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 5N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (c) AISI M2 çelik numune... 92



Şekil 6.73	TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 5N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (c) AISI M2 çelik numune.....	92
Şekil 6.75.	TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye arasındaki 1N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (b) AISI M2 çelik numune.....	92
Şekil 6.76.	TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 1N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (c) AISI M2 çelik numune.....	93
Şekil 6.77.	TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye arasındaki 2N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (c) AISI M2 çelik numune....	93
Şekil 6.78.	TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 2N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (c) AISI M2 çelik numune.....	93
Şekil 6.79.	TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye arasındaki 5N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (c) AISI M2 çelik numune...	94
Şekil 6.80.	TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 5N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (c) AISI M2 çelik numune.....	94

- Şekil 6.81. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 1N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (c) AISI M2 çelik numune... 94
- Şekil 6.82. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 1N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (c) AISI M2 çelik numune..... 95
- Şekil 6.83. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 2N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (c) AISI M2 çelik numune.... 95
- Şekil 6.84. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 2N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (c) AISI M2 çelik numune..... 95
- Şekil 6.85. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 5N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (c) AISI M2 çelik numune.... 96
- Şekil 6.86. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 5N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (c) AISI M2 çelik numune..... 96
- Şekil 6.87. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 1N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune..... 96

- Şekil 6.88. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile AISI 440 C bilye arasındaki 1N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune..... 97
- Şekil 6.89. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye arasındaki 2N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune..... 97
- Şekil 6.90. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile AISI 440 C bilye arasındaki 2N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune..... 97
- Şekil 6.91. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye arasındaki 5N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune..... 98
- Şekil 6.92. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile AISI 440 C bilye arasındaki 5N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune..... 98
- Şekil 6.93. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye arasındaki 1N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune..... 98

Şekil 6.94.	TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile AISI 440 C bilye arasındaki 1N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune.....	99
Şekil 6.95.	TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye arasındaki 2N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune.....	99
Şekil 6.96.	TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile AISI 440 C bilye arasındaki 2N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune.....	99
Şekil 6.97.	TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye arasındaki 5N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune.....	100
Şekil 6.98.	TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile AISI 440 C bilye arasındaki 5N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune.....	100
Şekil 6.99.	TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye arasındaki 1N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune.....	100

- Şekil 6.100. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile AISI 440 C bilye arasındaki 1N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune..... 101
- Şekil 6.101. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye arasındaki 2N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune..... 101
- Şekil 6.102. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile AISI 440 C bilye arasındaki 2N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune..... 101
- Şekil 6.103. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye arasındaki 5N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune..... 102
- Şekil 6.104. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile AISI 440 C bilye arasındaki 5N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune..... 102
- Şekil 6.105. 2N yük altında ve 0,1 m/s hızda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye ile aşındırılan AISI 1040 çeliğinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı ..... 103

- Şekil 6.106. 2N yük altında ve 0,1 m/s hızda AISI 440 C bilye ile aşındırılan AISI 1040 çeliğinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı (d) aşınan bölgedeki katmanın noktasal analiz diyagramı ..... 104
- Şekil 6.107. 2N yük altında ve 0,3 m/s hızda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye ile aşındırılan AISI 1040 çeliğinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı..... 105
- Şekil 6.108. 2N yük altında ve 0,3 m/s hızda AISI 440 C bilye ile aşındırılan AISI 1040 çeliğinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı ..... 106
- Şekil 6.109. 2N yük altında ve 0,5 m/s hızda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye ile aşındırılan AISI 1040 çeliğinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı ..... 107
- Şekil 6.110. 2N yük altında ve 0,5 m/s hızda AISI 440 C bilye ile aşındırılan AISI 1040 çeliğinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı (d) aşınan bölgedeki katmanın noktasal analiz diyagramı..... 108
- Şekil 6.111. 2N yük altında ve 0,1 m/s hızda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye ile aşındırılan AISI M2 çeliğinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı..... 109

- Şekil 6.112. 2N yük altında ve 0,1 m/s hızda AISI 440 C bilye ile aşındırılan AISI M2 çeliğinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı (d) katmanlaşmış bölgenin noktasal analiz diyagramı..... 110
- Şekil 6.113. 2N yük altında ve 0,3 m/s hızda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye ile aşındırılan AISI M2 çeliğinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı..... 111
- Şekil 6.114. 2N yük altında ve 0,3 m/s hızda AISI 440 C bilye ile aşındırılan AISI M2 çeliğinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı..... 112
- Şekil 6.115. 2N yük altında ve 0,5 m/s hızda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye ile aşındırılan AISI M2 çeliğinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı..... 113
- Şekil 6.116. 2N yük altında ve 0,5 m/s hızda AISI 440 C bilye ile aşındırılan AISI M2 çeliğinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı..... 114
- Şekil 6.117. 2N yük altında ve 0,1 m/s hızda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye ile aşındırılan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı..... 115

Şekil 6.118.	2N yük altında ve 0,1 m/s hızda AISI 440 C bilye ile aşındırılan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı.....	116
Şekil 6.119.	2N yük altında ve 0,3 m/s hızda Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye ile aşındırılan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı.....	117
Şekil 6.120.	2N yük altında ve 0,3 m/s hızda AISI 440 C bilye ile aşındırılan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı.....	118
Şekil 6.121.	2N yük altında ve 0,5 m/s hızda Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye ile aşındırılan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı.....	119
Şekil 6.122.	2N yük altında ve 0,5 m/s hızda AISI 440 C bilye ile aşındırılan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı. (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı.....	120
Şekil 6.123.	TiBCN kaplanan AISI 1040 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimi.....	121
Şekil 6.124.	TiBCN kaplanan AISI 1040 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimini gösteren kontur diyagramı.....	121



Şekil 6.125.	TiBCN kaplanan AISI 1040 çelik numune ile $Al_2O_3$ bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimi.....	122
Şekil 6.126.	TiBCN kaplanan AISI 1040 çelik numune ile $Al_2O_3$ bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimini gösteren kontur diyagramı.....	122
Şekil 6.127.	TiBCN kaplanan AISI M2 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimi.....	123
Şekil 6.128.	TiBCN kaplanan AISI M2 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimini gösteren kontur diyagramı.....	123
Şekil 6.129.	TiBCN kaplanan AISI M2 çelik numune ile $Al_2O_3$ bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimi.....	124
Şekil 6.130.	TiBCN kaplanan AISI M2 çelik numune ile $Al_2O_3$ bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimini gösteren kontur diyagramı.....	124
Şekil 6.131.	TiBCN kaplanan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile AISI 440 C bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimi.....	125
Şekil 6.132.	TiBCN kaplanan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile AISI 440 C bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimini gösteren kontur diyagramı.....	125
Şekil 6.133.	TiBCN kaplanan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile $Al_2O_3$ bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimi.....	126
Şekil 6.134.	TiBCN kaplanan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile $Al_2O_3$ bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimini gösteren kontur diyagramı.....	126

Şekil 6.135.	TiBCN kaplanmış ISO P 15-20WC-Co numunesi ile AISI 440 C bilye arasındaki 1N yük ve 0,1 m/s hızdaki sürtünme katsayısının değişimi.....	127
Şekil 6.136.	TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numunesi ile AISI 440 C bilye arasındaki 1N yük ve 0,1 m/s hızdaki sürtünme katsayısının değişimi.....	127
Şekil 6.137.	TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numunesi ile AISI 440 C bilye arasındaki 1N yük ve 0,5 m/s hızdaki sürtünme katsayısının değişimi.....	128
Şekil 6.138.	TiBCN kaplanmış ISO P 15-20WC-Co numunesi ile Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye arasındaki 1N yük ve 0,1 m/s hızdaki sürtünme katsayısının değişimi.....	128
Şekil 6.139.	TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numunesi ile Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye arasındaki 1N yük ve 0,1 m/s hızdaki sürtünme katsayısının değişimi.....	128
Şekil 6.140.	TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numunesi ile Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye arasındaki 1N yük ve 0,3 m/s hızdaki sürtünme katsayısının değişimi.....	129
Şekil 6.141.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış AISI 1040 çeliğinin 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,1 m/s hızındaki aşınma hacmi değişimi.....	131
Şekil 6.142.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış AISI 1040 çeliğinin 1N, 2N ve 5N yük altında , 0,3 m/s hızındaki aşınma hacmi değişimi.....	131
Şekil 6.143.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış AISI 1040 çeliğinin 1N, 2N ve 5N yük altında , 0,5 m/s hızındaki aşınma hacmi değişimi.....	132
Şekil 6.144.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış AISI M2 çeliğinin 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,1 m/s hızındaki aşınma hacmi değişimi.....	132
Şekil 6.145.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış AISI M2 çeliğinin 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,3 m/s hızındaki aşınma hacmi değişimi.....	133

Şekil 6.146.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış AISI M2 çeliğinin 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,5 m/s hızındaki aşınma hacmi değişimi.....	133
Şekil 6.147.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımının 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,1 m/s hızındaki aşınma hacmi değişimi.....	134
Şekil 6.148.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımının 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,1 m/s hızındaki aşınma hacmi değişimi.....	134
Şekil 6.149.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımının 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,5 m/s hızındaki aşınma hacmi değişimi.....	135
Şekil 6.150.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış AISI 1040 çeliğinin 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlardaki aşınma hızı değişimi.....	136
Şekil 6.151.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış AISI M2 çeliğinin 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlardaki aşınma hızı değişimi.....	137
Şekil 6.152.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımının 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlardaki aşınma hızı değişimi.....	138
Şekil 6.153.	TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,1 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	139
Şekil 6.154.	TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,3 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	140
Şekil 6.155.	TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,5 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	140
Şekil 6.156.	TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,1 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	141

Şekil 6.157. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,3 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	141
Şekil 6.158. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,5 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	142
Şekil 6.159. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımı ile aşınma deneyine tabi tutulan Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,1 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	142
Şekil 6.160. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımı ile aşınma deneyine tabi tutulan Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,3 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	143
Şekil 6.161. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımı ile aşınma deneyine tabi tutulan Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,5 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	144
Şekil 6.162. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çeliği ile aşınma deneyine tabi tutulan Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilyede oluşan 1N, 2N, 5N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlarındaki aşınma hızı değerlerinin değişimi.....	145
Şekil 6.163. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çeliği ile aşınma deneyine tabi tutulan Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilyede oluşan 1N, 2N, 5N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlarındaki aşınma hızı değerlerinin değişimi gösteren kontur grafiği.....	145
Şekil 6.164. TiBCN kaplanmış AISI M2 çeliği ile aşınma deneyine tabi tutulan Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilyede oluşan 1N, 2N, 5N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlarındaki aşınma hızı değerlerinin değişimi.....	146
Şekil 6.165. TiBCN kaplanmış AISI M2 çeliği ile aşınma deneyine tabi tutulan Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilyede oluşan 1N, 2N, 5N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlarındaki aşınma hızı değerlerinin değişimi gösteren kontur grafiği.....	146
Şekil 6.166. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımı ile aşınma deneyine tabi tutulan Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilyede oluşan 1N, 2N, 5N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlarındaki aşınma hızı değerlerinin değişimi.....	147

Şekil 6.167.	TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımı ile aşınma deneyine tabi tutulan $Al_2O_3$ bilyede oluşan 1N, 2N, 5N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlarındaki aşınma hızı değerlerinin değişimi gösteren kontur grafiği.....	147
Şekil 6.168.	TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,1 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	149
Şekil 6.169.	TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,3 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	150
Şekil 6.170.	TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,5 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	150
Şekil 6.171.	TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,1 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	151
Şekil 6.172.	TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,3 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	151
Şekil 6.173.	TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,5 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	152
Şekil 6.174.	TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,1 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	152
Şekil 6.175.	TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,3 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	153
Şekil 6.176.	TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,5 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	153

Şekil 6.177. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyede oluşan 1N, 2N, 5N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlarındaki aşınma hızı değerlerinin değişimi	155
Şekil 6.178. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyede oluşan 1N, 2N, 5N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlarındaki aşınma hızı değerlerinin değişimi gösteren kontur grafiği.....	155
Şekil 6.179. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyede oluşan 1N, 2N, 5N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlarındaki aşınma hızı değerlerinin değişimi.....	156
Şekil 6.180. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyede oluşan 1N, 2N, 5N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlarındaki aşınma hızı değerlerinin değişimi gösteren kontur grafiği.....	156
Şekil 6.181. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyede oluşan 1N, 2N, 5N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlarındaki aşınma hızı değerlerinin değişimi.....	157
Şekil 6.182. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyede oluşan 1N, 2N, 5N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlarındaki aşınma hızı değerlerinin değişimi gösteren kontur grafiği.....	157

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1	Az karbonlu çeliklerin bileşim aralıkları.....	5
Tablo 2.2	Orta karbonlu çeliklerin bileşim aralıkları.....	5
Tablo 2.3	Yüksek karbonlu çeliklerin bileşim aralıkları.....	6
Tablo 2.4	AISI 1040 çeliğinin kimyasal bileşimi.....	7
Tablo 2.5	Tipik Takım Malzemeleri veya Bileşenlerinin Sertlikleri.....	19
Tablo 2.6	Takım Malzemelerinin Mekanik Özellikleri.....	20
Tablo 3.1	Çeşitli metallerde elde edilen borür fazları ve mikro sertlikleri..	25
Tablo 5.1	Deneysel çalışmalarda kullanılan çelik malzemelerin kimyasal bileşimi.....	47
Tablo 6.1	ISO P 15-20 numunesinin TiBCN kaplama süresi ve sıcaklığana bağlı olarak tabaka TiBCN tabaka kalınlıkları.....	65
Tablo 6.2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış AISI 1040 çeliğinin aşınma hacmi değişimi.....	129
Tablo 6.3	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış AISI M2 çeliğinin aşınma hacmi değişimi.....	130
Tablo 6.4	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımının aşınma hacmi değişimi...	131
Tablo 6.5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış AISI 1040 çeliğinin aşınma hızı değerlerinin değişimi.....	135
Tablo 6.6	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış AISI M2 çeliğinin aşınma hızı değerlerinin değişimi.....	135
Tablo 6.7	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımının aşınma hızı değerlerinin değişimi.....	136
Tablo 6.8	TiBCN kaplanmış AISI 1040 çeliği ile aşınma deneyine tabi tutulan Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilyenin aşınma hacmi değişimi.....	138

Tablo 6.9	TiBCN kaplanmış AISI M2 çeliği ile aşınma deneyine tabi tutulan Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilyenin aşınma hacmi değişimi.....	138
Tablo 6.10	TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımı ile aşınma deneyine tabi tutulan Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilyenin aşınma hacmi değişimi.....	139
Tablo 6.11	TiBCN kaplanmış AISI 1040 çeliği ile aşınma deneyine tabi tutulan Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilyenin aşınma hızı değerlerinin değişimi.....	144
Tablo 6.12	TiBCN kaplanmış AISI M2 çeliği ile aşınma deneyine tabi tutulan Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilyenin aşınma hızı değişimi.....	144
Tablo 6.13	TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımı ile aşınma deneyine tabi tutulan Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye aşınma hızı değerlerinin değişimi.....	144
Tablo 6.14	AISI 440 C bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış AISI 1040 çeliğinin aşınma hacmi değişimi.....	148
Tablo 6.15.	AISI 440 C bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış AISI M2 çeliğinin aşınma hacmi değişimi.....	148
Tablo 6.16.	AISI 440 C bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımının aşınma hacmi değişimi.....	149
Tablo 6.17.	TiBCN kaplanmış AISI 1040 çeliği ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyenin aşınma hızı değerlerinin değişimi..	154
Tablo 6.18.	TiBCN kaplanmış AISI M2 çeliği ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyenin aşınma hızı değişimi.....	154
Tablo 6.19	TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımı ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilye aşınma hızı değerlerinin değişimi.....	155



## ÖZET

Anahtar Kelimeler: Borlama, TRD, Aşınma, TiBCN, Kaplama

Bu çalışmada AISI 1040, AISI M2 çelikleri ve ISO P 15-20 WC –Co esaslı kesici takım numunelerinin yüzeyine ferro-silisyum , kalsine boraks ve borik asitten oluşan sıvı banyoda borlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Borlama işlemleri, AISI 1040 çeliği için 900 °C, AISI M2 çeliği ve ISO P 15-20 kesici takım numunesi için (WC-Co) 1000 °C de 2 saat süre ile gerçekleştirilmiştir. Borlama işleminden sonra, ferro-titanyum, naftalin, amonyum klorür, alümina dan oluşan toz banyosunda, AISI 1040 numunesi için 900 °C, AISI M2 çeliği için 1000 °C de 2 saat süreyle TiBCN kaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ISO P 15-20 numuneleri için 800, 900, 1000 °C de 1, 2, 3 ve 4 saat sürelerde TiBCN kaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Oluşan TiBCN kaplamaların yüzey morfolojileri ve faz analizleri, optik ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve x- ışınları difraksiyon analizi yöntemleriyle gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kaplama tabakalarının sertlikleri Vickers indentasyon tekniği ile belirlenmiştir. Aşınma deneyleri Ball on Disk aşınma deneyiyle AISI 440C ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilyeler kullanılarak yapılmıştır. Aşınma deneyleri 0,1 m/s, 0,3m/s, 0,5m/s hızlarda, 1N, 2N, 5N yüklerinde ve 80, 160, 240, 320 metre mesafelerde gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri sonucunda bilyelerde oluşan aşınma kayıpları ve sürtünme katsayıları belirlenmiştir. Malzemelerdeki aşınan yüzeylerin optik ve taramalı elektron mikroskobu(SEM) ile aşınma karakteristikleri belirlenmiştir.

# **WEAR PROPERTIES OF TiBCN COATED WC-Co CUTTING TOOL AND STEELS BY THERMO-REACTIVE DEPOSITION TECHNIQUE**

## **SUMMARY**

**Keywords:** Boronizing; TRD, Wear, TiBCN, Coating

In this study, AISI 1040, AISI 4140 steels and ISO P 15-20 WC-Co cermet materials were boronized in a slurry salt bath consisting of borax, boric acid and ferro-silicon. Boronizing treatments were realized at 950°C for 2 h for AISI 1040 steel, at 1000°C for 2 h for AISI M2 steel and ISO P 15-20 WC-Co cermet materials. Then, pre-boronized samples were TiBCN coated in the powder mixture consisting of ferro-titanium, ammonium chloride, alumina and naphthalene. AISI 1040 steel was coated at 900°C for 2h, AISI M2 steel was coated at 1000°C for 2h. In addition, ISO P 15-20 WC-Co cermet materials were coated at 800, 900 and 1000 °C for 1-4h.

Structural characterizations, phase analysis and mechanical properties of TiBCN coatings produced were realized using SEM, Optical microscopy, X-ray diffractometer (XRD), microhardness tester and ball on disk tribometer. Wear tests were realized against AISI 440C and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> balls at the sliding speeds of 0.1, 0.3 and 0.5 m/s and under the loads of 1N, 2N and 5N for 80, 160, 240 and 320 m sliding distance. In the wear test, wear loss and coefficient of friction were measured. Optical and SEM micrographs were taken from the worn surfaces of the tested materials and characterizations of the worn surfaces were realized.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Aşınma ve korozyondan dolayı dünyada her yıl önemli kayıplar olmaktadır [1]. Yüzey mühendisliği, aşınma problemine çözüm üretmek için son yıllarda endüstriyel alanlarda geniş uygulama alanı bulmuştur. Yüzey işlemleriyle malzemenin sertlik, süneklik ve yorulma gibi mekanik özellikleri yanında sürtünme ve aşınma, oksidasyon ve korozyon özellikleri geliştirilmektedir. Sürtünerek çalışan makine elemanlarında belirli bir süre sonra ve ortaya çıkan aşınma problemlerini azaltmak için birçok yüzey iyileştirme teknikleri uygulanmaktadır. Malzeme dizaynında, korozyon ve aşınma gibi özelliklerin göz önünde bulundurulması gerekir. 1982 yılında Amerikan Ulusal Teknoloji Enstitüsü' nün araştırmasına göre korozyon ve aşınmadan dolayı meydana gelen zarar, gayri safi milli hâsılanın %6' sını (178,5 milyar dolar) teşkil ettiği görülmüştür [2]. Ülkelerin korozyon nedeniyle kayıpları gayrisafi milli hasıllarının %3,5–5 arasında değişmektedir.

Bu kadar yüksek kayıpların oluşu, buna paralel endüstrinin gelişimi, dayanıklı ve kararlı malzemelere olan ihtiyacı arttırmıştır. Bu amaçla son yıllarda özellikle seramik esaslı malzemeler büyük ilgi toplamaktadır. Fakat bunlarda, tüm mekanik özelliklere, konvansiyonel malzemeler gibi cevap verememekte, hammadde üretimi ve şekillendirmedeki zorluklar fiyatın yüksek oluşuna sebep olmaktadır. Bu sebeple mümkün olduğu kadar ucuz ve gerekli yapısal özellikleri sağlayan, buna karşılık yüzey özellikleri gelişmiş malzemelerin üretilmesi ağırlık kazanmıştır [3].

Gerekli yüzey özelliklerini sağlamak için günümüzde kullanılan yüzey işlemleri gittikçe önem kazanmıştır.

Yüzey işlemleri, sertlik, yorulma, aşınma, korozyon, ısı ve darbesel şok gibi mekanik ve tribolojik özelliklerin bir veya birkaçını geliştirmek ve üretim maliyetini düşürmek amacıyla uygulanmaktadır. Bu özellikler arasında parçanın aşınma ve

korozyona karşı direncinin artırılması önem açısından ilk sırada yer alır. Bu amaçla son yıllarda oksit, karbür, borür ve nitrürlere dayalı seramik kaplamalar büyük ilgi toplamaktadır. Özellikle karbürler ilk insan yapısı refrakter olmaları sebebiyle en ilgi çekici bileşikler sınıfını oluştururlar. Bu sınıf malzemeler ergime noktalarının, sertliklerinin yüksek oluşu, yeterli mukavemet ve kimyasal pasiflikleri dolayısıyla aşınma ve korozyon şartlarının en umut verici bileşikleri durumuna gelmişlerdir. Ve bu amaçla çok çeşitli kaplama yöntemleri geliştirilmiştir [1].

Malzemede hasar oluşturan sebeplerden olan aşınmaya karşı alınan önlemlerin en başında ise seramik kaplamalar gelmektedir. Metalik malzemelerin abrazif, adhezif ve erozif aşınmaya karşı, çeşitli prosesler ile özellikle karbür, nitrür ve borür gibi sert kaplamada denilen seramik kaplamalar yapılarak çok başarılı sonuçlar alınmaktadır. Ayrıca seramik kaplamalar, metalik malzemelerin korozyon dirençlerinin artırılması yanında yüksek sıcaklık uygulaması, enerji tasarrufu gibi amaçlarla da tatbik edilmektedir. Fakat bu proseslerin çoğunun uygulanabilirliği için yüksek teknolojiler, yani yüksek maliyetler gerekmektedir. Buna karşılık malzeme yüzeyinde, pratik ve ekonomik bir şekilde termokimyasal işlemlerle oksit olamayan seramiklerden olan borür tabakasının oluşturulması oldukça avantajlıdır. Termokimyasal bir yüzey işlemi olan borlama neticesinde, metalik malzemenin; yüzey sertliği, aşınma, oksidasyon ve korozyon direnci oldukça yüksek seviyelere çıkmaktadır [4].

Borlama işlemi katı, sıvı gaz, plazma ve iyon implantasyonu gibi yöntemlerle yapılmaktadır. Katı borlama genellikle patentlerle korunan yaklaşık %5 B<sub>4</sub>C, %5 KBF<sub>4</sub> ve %90 SiC içeren karışımlar ile yapılmaktadır. Bu yöntemde toz karışım sızdırmaz bir kutuya doldurulur ve içine numune yerleştirilir. Kutu gerekli sıcaklığa kadar ısıtılır. Bu sıcaklıkta gerektiği kadar tutulur ve soğutulur. Sıvı borlamada boraks, borik asit ve ferro silis karışımından oluşan erimiş tuz banyosuna numune daldırılır ve bu sıcaklıkta gerekli bir süre bekletilir. Gaz ve plazma borlamada BCl<sub>3</sub>, TMB (trimetil borat), TEB (trietil boran) ve BF<sub>3</sub> gibi bor kaynakları ile H<sub>2</sub> ile Ar gazları kullanılmaktadır. Katı borlama ile C 45 çeliği borlanmış ve 170 µm kalınlığında ve 1600 HV sertliğinde borür tabakası elde edilmiş, borür tabakasının metal alt tabakaya göre 20 kat daha fazla aşınma direncine sahip olduğu gözlenmiştir. Bu yöntemlerden sıvı borlamada erimiş tuz tabakası numune yüzeyine

yapışır ve kalıntının temizlenmesi problem oluşturmaktadır. Katı borlamada numune yüzeyinin temizlenmesi gerekir. Ancak yapışma tam olmadığından numune yüzeyi kolaylıkla temizlenir. Gaz ve plazma borlamada malzeme yüzeyi temiz olmasına rağmen kullanılan gazların zehirli, pahalı ve patlayıcı olması dezavantajlarıdır [5].

Çelik malzemeler genellikle sertleştirildikten sonra kullanılmaktadırlar. Ancak ağır bir şekilde aşınmaya maruz kalan parçalar için bu sertlik değeri yeterli değildir. Aşınmaya karşı dayanımın, istendiği durumlarda sertliğin de yüksek olması gerekmektedir. Bunun için termoreaktif difüzyon prosesi (TRD) olarak adlandırılan difüzyonel işlem ile çelik yüzeylerinde ince film şeklinde aşınmaya, oksidasyona, korozyona karşı dayanıklı, çok düşük sürtünme katsayısı ile yüksek sertlik değerine sahip (1700–4000 HV) seramik esaslı karbür tabakaları oluşturulmaktadır. TRD prosesi de aslında bir termokimyasal işlemdir. Ancak geleneksel termokimyasal işlemlerden biraz farklıdır. Bu proseste, çelik altlıktaki karbon, yüksek sıcaklıkta (800–1250°C) yüzeye difüze olarak titanyum, vanadyum, niobyum, tantalyum, krom, molibden ya da tungsten gibi kuvvetli karbür yapıcı refrakter geçiş metalleri ile birleşerek çelik yüzeyinde yoğun, gözeneksiz ve ana metale sıkı bir şekilde bağlanmış kaplama tabakası oluşturur. Geleneksel metotların aksine karbür tabakası altlık yüzeyinde gelişir ve ana metal ile kaplama tabakası arasında belirgin bir sınır vardır. Ancak, proses yüksek sıcaklıkta gerçekleştirildiği için karbür oluşturu elementlerin ana metal içine difüzyonu söz konusudur. Bu da metalurjik olarak bağlı bir yapı oluşturmaktadır [6].























































































## **BÖLÜM 3. BORLAMA VE ÖZELLİKLERİ**

### **3.1. Giriş**

Bor, yerkabuğunun 51. yaygın elementi olup, doğada serbest halde bulunmayan daima bileşik halinde bulunan, kimyasal sembolü “B” olup periyodik cetvelin III A grubunun metal olmayan tek elementidir. Boratlar, önemli ölçüde boroksit ( $B_2O_3$ ) içeren borik asitlerin tuzları veya esterleri olarak tanımlanır ve endüstri tarafından borik asit sağlayan bileşikler olarak bilinir.

Bor, karbon ve silisyum elementlerine benzerliği en fazla ve oksijene karşı afinitesi en yüksek olan elementtir. Bor, çok sayıdaki minerale bileşik halinde bulunur. Bor mineralleri genellikle bor oksitleri içerirler ancak ticari anlamda bunlardan en çok üç tanesi dünya da önemli sayılmaktadır, bunlar; boraks (tinkal), kolemanit ve üleksit'tir. Metalik malzemeler üzerine bor kaplama işlemi ve bor bileşiklerinin kullanımı, insanlık tarihinin en eski teknolojilerinden günümüze kadar kullanıma gelmiştir. Günümüzde bu kullanım sahaları çok daha fazla genişlemektedir, özellikle 400'den fazla endüstriyel alanlarda uygulama alanı bilinmektedir.

Babililer, 4000 yıl kadar önceleri altını (Au) işlemek için ve kaynak işlemlerinde boraks minerali olduğu düşünülen kristalleri kullanmışlardır. Daha sonraları bor bileşiklerini temizleyici madde, yağlayıcı, korozyon önleyici ve cüruf yapıcı madde olarak kullanmışlardır.

Ülkemiz bor madeni bakımından dünya rezervlerinin yaklaşık %72'si gibi önemli bir orana sahip olmakla birlikte dünya borat üretiminin ancak %18'ini gerçekleştirebilmektedir.

Gelişmiş ülkeler bu boratlardan saf borun yanında, bortrioksit ( $B_2O_3$ ), borkarbür ( $B_4C$ ) bornitrür (BN), diboran ( $B_2H_6$ ) ve ferrobör (FeB) gibi rafine bileşikler üreterek çok çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılmaktadırlar.

Metal ve/veya alaşımlarının yüzeylerine bor elementinin yayındırıldığı ve borlama işlemi olarak isimlendirilen yöntem, ilk kez 1895 yılında Moisson tarafından Rusya'da uygulanmıştır. Bor ve bileşikleri özellikle çelik sanayinde üç önemli kullanım alanı bulmuştur.

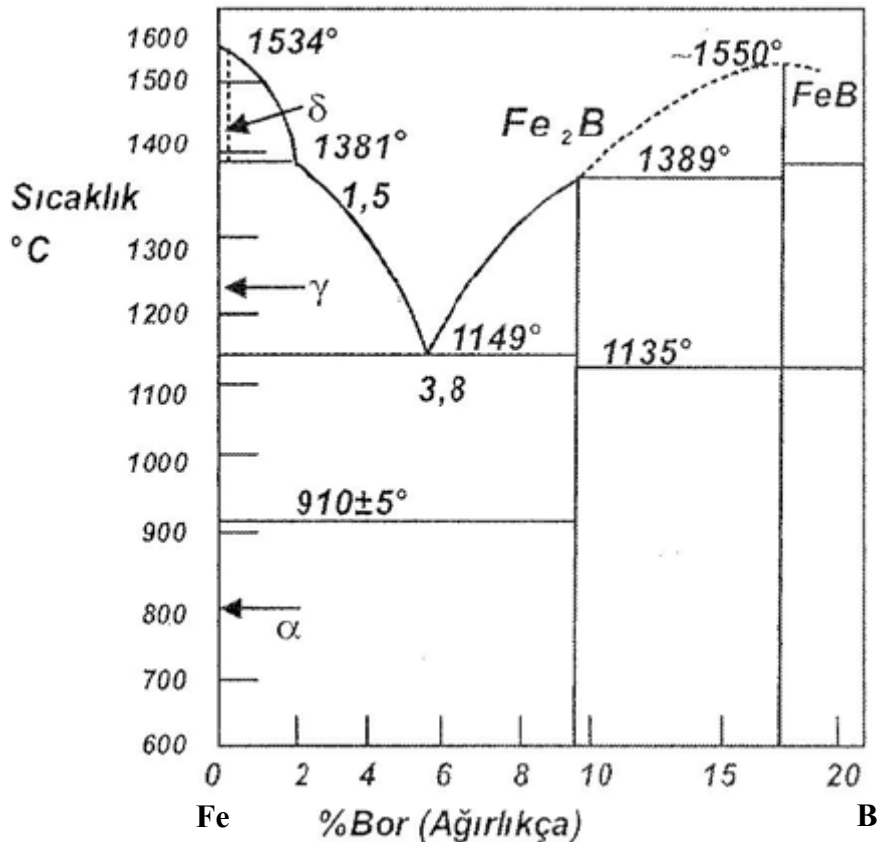
Bunlar;

1. Çelik üretiminde cüruf yapıcı
2. Çeliklerde alaşım elementi olarak
3. Çeliklerde yüzey kaplama ve sertleştirme ısıl işlemleri olarak kullanılmaktadır.

Bor ile yüzey sertleştirmenin diğer yüzey sertleştirme yöntemlerinden üstünlüğü; yüzey tabakasının çok sert, sürtünme katsayısının ise çok düşük olmasının yanı sıra, asit ve bazlarının oluşturacakları korozyona ve yüksek sıcaklık korozyonuna direnç göstermesidir. Ayrıca borlama işleminin alaşımsız çeliklere uygulanabilmesi ekonomik açıdan bir üstünlük teşkil etmektedir.

Borun atom çapı demirden %25 daha küçük olduğundan bu elementte katı eriyik yapar. Demirde bor erirliği sıcaklığa bağlı olarak ferrit fazında 20–80 ppm, ostenit fazında ise 55- 260 ppm kadardır. Bor ostenitte ara yer katı eriyiği,  $\alpha$  demirde ise yer alan katı eriyik yapar.

Demir-bor denge diyagramında ağırlıkça % 8,83 bor oranında  $Fe_2B$ , yine ağırlıkça % 16,23 bor oranında FeB arabileşikleri meydana gelmektedir. Ağırlıkça % 3,8 bor oranında ergime sıcaklığı 1149 °C olan ötektik faz oluşmaktadır (Şekil 3.1). Dolayısıyla borlanmış yüzey bu sıcaklığa kadar ısıdan etkilenmektedir. Şekil 3.1'de demir-bor denge diyagramı gösterilmektedir [15].



Şekil 3.1. Demir-bor denge diyagramı [15].

### 3.2. Borlama

Demir ve demir dışı birçok alaşım ile sinterkarbür ve seramik malzemelere uygulanabilen termokimyasal bir yüzey sertleştirme ısıl işlemidir. Borlanacak malzemeler, özelliklerine göre 700–1000 °C sıcaklık aralığında, yaklaşık 1–12 saat süre ile katı, macun (pasta), sıvı veya gaz fazındaki bor verici ortamlarda bekletmek suretiyle yapılan bir işlemdir.

Demirli malzemelerin borlanması da, malzeme yüzeyinde FeB ve Fe<sub>2</sub>B ile bu bileşiklerin karışımından oluşan tek veya çift fazlı borür tabakaları elde edilir. Alaşımli çeliklerde ve diğer malzemelerde kendi alaşım elementlerinin borürleri oluşur. Tablo 3.1’de çeşitli malzemelerde borlama ile elde edilen borürler ve mikrosertlik değerleri verilmiştir. Özellikle demir ve çelik türü malzemelerde, borlama işlemi sonucunda ana yapının dışında borür tabakası ve geçiş bölgesinden oluşan iki farklı yapı ortaya çıkmaktadır [15].

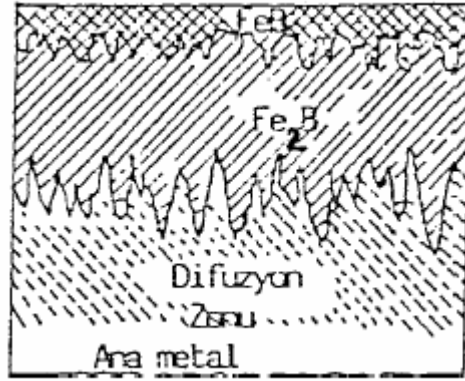
Tablo 3.1. Çeşitli metallerde elde edilen borür fazları ve mikro sertlikleri [15].

Borlanan alt yüzey	Borür tabakasındaki fazlar	Borür tabakasının Sertliği (HV)
Fe	FeB	1900–2100
	Fe <sub>2</sub> B	1800–2000
Co	CoB	1850
	Co <sub>2</sub> B	1500–1600
	Co <sub>3</sub> B	700–800
Ni	Ni <sub>4</sub> B <sub>3</sub>	1600
	Ni <sub>2</sub> B	1500
	Ni <sub>3</sub> B	900
Mo	Mo <sub>2</sub> B	1660
	Mo <sub>2</sub> B	2330
	Mo <sub>2</sub> B <sub>5</sub>	2400–2700
W	W <sub>2</sub> B	2600
Ti	TiB	2500
	TiB <sub>2</sub>	3370
Nb	NbB <sub>2</sub>	2200
	NbB <sub>4</sub>	-
Ta	Ta <sub>2</sub> B	-
	TaB <sub>2</sub>	2500
Hf	HfB <sub>2</sub>	2900
Zr	ZrB <sub>2</sub>	2250
Re	ReB	2700–2900

### 3.2.1. Borür tabakası

Bu tabaka malzemenin en dış yüzeyi ile yüzeyin altındaki parmaklı (dişli) kısım arasına verilen addır. Bu bölgeye difüzyon bölgesi de denmektedir. Bu tabaka borlayıcı ortamdan sağlanan aktif bor, FeB veya Fe<sub>2</sub>B oluşumu için, esas malzeme tarafından tüketilen miktardan daha fazla olduğu işlem şartlarında sadece FeB veya

$Fe_2B$  oluşmaz aynı zamanda  $Fe_2B$ 'a göre borca daha zengin olan reaksiyon ürünleri de meydana gelebilir. Borür tabakasının kalınlığı malzemenin kimyasal bileşiminin yanı sıra işlem sıcaklığı, işlem yöntemi ve süresine bağlıdır. Şekil 3.2' de bor tabakası, geçiş bölgesi ve ana yapının şematik resmi verilmiştir.



Şekil 3.2. Bor tabakası, geçiş bölgesi ve ana yapının şematik resmi [15].

Genellikle, bor tabakasında testere dişi şeklinde tek bir  $Fe_2B$  fazının oluşumu istenir.  $FeB$  ve  $Fe_2B$  çift fazlı tabakanın oluşmasından daha fazla arzu edilir, çünkü  $FeB$  fazı borca zengindir. Bu faz yaklaşık ağırlıkça % 16.23 oranında bor içerir. Bu istenmez çünkü  $FeB$  fazı diğer demir bor fazlarından daha gevrekler.  $Fe_2B$  fazı ağırlıkça %8.93 bor içerir.  $FeB$  ve  $Fe_2B$  fazları çok farklı ısıl genleşme katsayılarına sahiptir.  $FeB$  fazının ısıl genleşme katsayısının  $23 \times 10^{-6} / ^\circ C$  iken,  $Fe_2B$  fazının ise  $7.85 \times 10^{-6} / ^\circ C$  dir. Borür tabakasında, çatlak oluşumu ve kabuk gibi kalkma ve yırtılmalar çift fazlı tabakalarda ve  $FeB$  fazında çok sık oluşur. Bu çatlaklara bir mekanik yük uygulandığı zaman pul pul ve yaprak yaprak dökülmelere yol açmaktadır.

$FeB$  ve  $Fe_2B$  fazları birbirlerine çekme ve basma gerilmeleri uygulamakta ve fazlar arasında yüzeye paralel ve dik çatlaklar oluşturmaktadır. Dolayısıyla borür tabakasında mümkün olduğunca çok az oranda  $FeB$  fazının oluşturulmasına çalışılmalıdır. Borür tabakasının kalınlığı, kaplanan malzemenin kimyasal bileşiminin yanı sıra işlem sıcaklığı, süresi ve yöntemine bağlıdır [15,16].



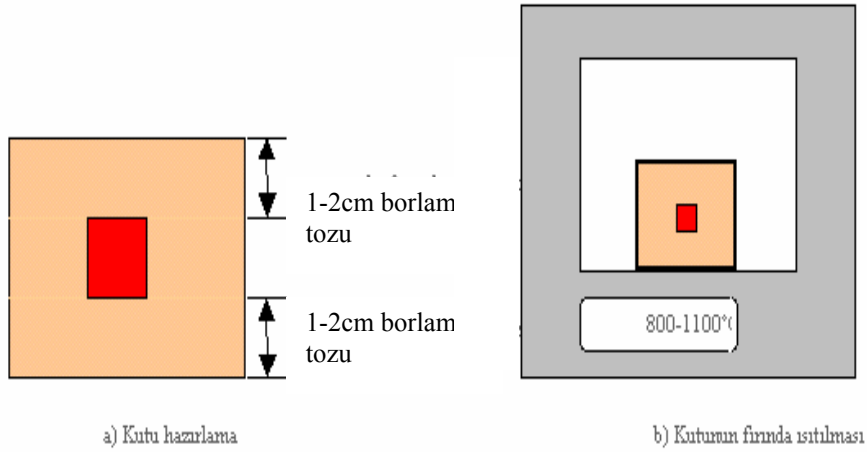
### 3.2.2. Geçiş bölgesi

Bu bölge, borür tabakası ile ana yapı (matris) arasında kalan bölgeye verilen addır. Borlama işlemi esnasında, çelik bileşiminde bulunan elementler bu bölgede yeniden dağılarak şekillenirler. FeB ve Fe<sub>2</sub>B tabakalarının karbon, silis gibi elementleri çözüdürememesi nedeniyle bu elementler yüzeyden içeri doğru itilir. Bu bölgede bulunan bor, borür oluşturamayacak miktardadır. Bunun neticesiyle de bu geçiş bölgesinin meydana geldiği bilinmektedir. Geçiş bölgesi, mikroyapı bakımından esas malzeme ve borür tabakasından farklıdır. Bu bölgenin kalınlığı, borür tabakasının kalınlığının 10–15 katı kadardır. Bor tane irileşmesine sebep olduğundan geçiş bölgesinde malzemenin taneleri irileşmekte ve sertliği de artmaktadır [15,16].

### 3.3.Borlama yöntemleri

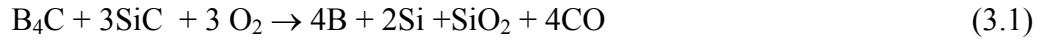
#### 3.3.1.Katı (Paket) borlama yöntemi

Borlama ortamı olarak katı maddelerin kullanıldığı yöntemdir. B<sub>4</sub>C, KBF<sub>4</sub> ve SiC içeren toz veya granürden oluşan bir karışım ile malzemenin etrafı sarılır. Bu işlem koruyucu atmosfer altında veya sıkı kapatılmış kutularda yapılır. Burada amaç borlama ortamına dışarıdan oksijen akışını kesmektir. Böylece redüksiyon ortamı korunmuş olur. İşlem sırasında ısıya dayanıklı malzemedan yapılmış kutular kullanılır. Borlama 800 –1100 °C sıcaklık aralığında ve 2 – 10 saat süreyle inert bir atmosferde yapılır, (Şekil 3.3.)



Şekil 3.3. Katı (paket) borlama işleminin şematik görünüşü [15]

Katı borlama prosesinde yer alan reaksiyonlar şunlardır.



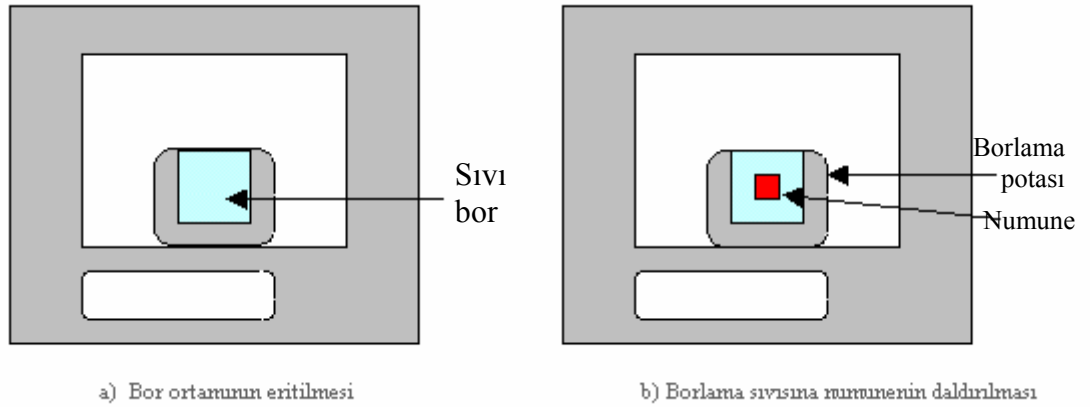
Katı borlama yönteminde kullanılan bor bileşikleri; borkarbür, ferrobör, elementer bördür. Bunlardan en çok kullanılanı, borkarbür dür. Aktivatör olarak sodyum bor florür, potasyum bor florür, baryum florür, sodyum karbonat, amonyum klorür ve redükleyici olarak silisyum karbür, grafit ve sodyum klorür gibi maddeler kullanılır.

Borlama maddesinin tane boyutu küçüldükçe temas yüzeyi artar. Temas yüzeyinin artması yayılımı kolaylaştırır, dolayısıyla börür tabakasının kalınlığı artar. Borlama, kaynaklı birleştirmelerde başarı ile uygulanabilir [15-21].

### 3.3.2. Sıvı borlama yöntemi

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

İşlemede susuz boraks ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ), susuz borik asit ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ), metaborik asit ( $\text{HBO}_2$ ), boraks, bor karbür gibi bor bileşikleri kullanılır. Silisyum karbür, ferro silisyum, grafit, NaCl, Al gibi redükleyiciler kullanılır. Borlayıcı ortamın sıvı olması için bor bileşiklerinin veya NaCl gibi eriticilerin miktarı yüksek olmalıdır. Böylece eritici olan bu maddeler diğer maddeleri de eriterek sıvı eriyik oluşturur, (Şekil 3.4. )



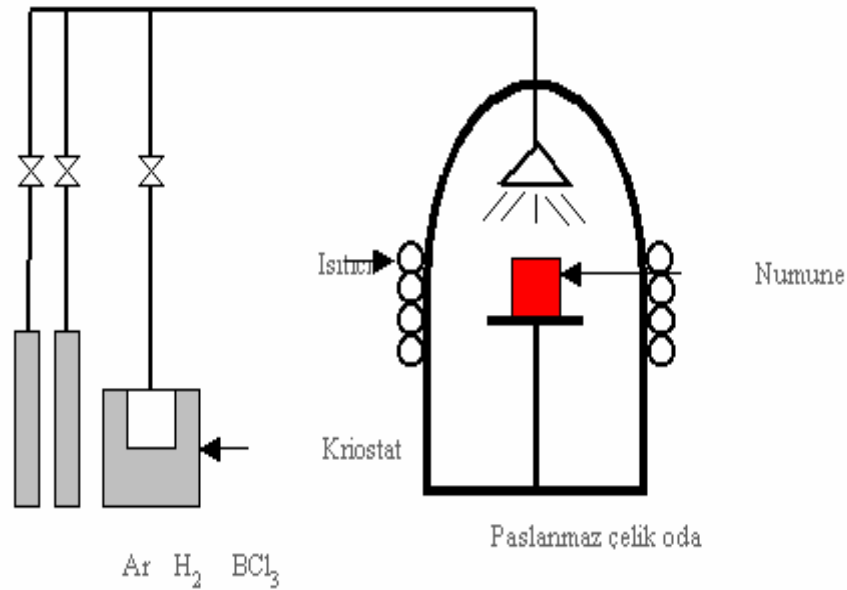
Şekil 3.4. Sıvı borlama işleminin şematik görünüşü [15]

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

Sıvı borlama yöntemi AISI 1040 çeliğine uygulanmış, çelik  $1000^\circ\text{C}$  de erimiş %70 boraks, % 13 borik asit, %10 ferrosilisyum ve %7 Al içeren tuz banyosuna daldırılmıştır.  $1000^\circ\text{C}$  sıcaklıkta 7 saat borlama sonucu  $150\mu\text{m}$  tabaka kalınlığı ve 2000 HV sertlikte borür tabakası elde edilmiştir [15-21].

### 3.3.3. Gaz borlama yöntemi

Borlama ortamının gaz fazında olduğu borlama işlemidir. Borlama işlemi Ar ve H<sub>2</sub> gazlarının ve bir evapotartörde gaz haline getirilmiş bir bor kaynağının (BCl<sub>3</sub> gibi) belirli karışımının, dış ortama kapalı paslanmaz çelik bir odadaki numune üzerine püskürtülmesiyle yapılır, (Şekil 3.5.)



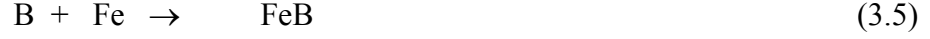
Şekil 3.5. Gaz borlama ünitesi [15]

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

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



Burada hidrojen  $\text{BCl}_3$  ü redükler. Böylece bor, demire yayılır. Reaksiyon bileşenleri iki aşamada oluşur.



Gaz borlamada diboran ve bor klorür gazlarına alternatif olarak zehirsiz organik bor kaynakları trimetil borat, TMB,  $\text{B}(\text{OCH}_3)_3$  ve trietil boran, TEB,  $\text{B}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$  boran trietil amin gibi maddeler kullanılmaktadır [15-21].

### 3.3.4. Plazma borlama

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

Plazma borlama  $\text{BCl}_3$ ,  $\text{BF}_3$ ,  $\text{B}_2\text{H}_6$  ve TEB (trietil boran) gibi bor bileşikleri ve redüktan olarak hidrojen gaz kullanılarak, 800 - 1100°C sıcaklıkta, yaklaşık 10-20 Pa gibi düşük bir basınçta oluşturulmuş bir plazma içerisinde yapılan borlamadır. Klasik borlama, tuz borlama ve gaz borlama gibi işlemlerin çevreye kirletici etkisi nedeniyle son yıllarda plazma borlama işlemi daha yoğun olarak çalışılmaktadır.

Plazma borlama reaksiyonları şunlardır.



Bor florür ( $\text{BF}_3$ ) ile borlama reaksiyonu



Plazma borlamanın avantajları yüksek enerji etkinliği, minimum çarpılma, düşük işlem sıcaklığıdır. Plazma borlamanın dezavantajları  $\text{BCl}_3$  ve  $\text{B}_2\text{H}_6$  gazları kullanılmasıdır. Bu gazlar, pahalı, zehirli, patlayıcıdır ve korozyona neden olmaktadır [15-21].

### 3.4. Borlama İşleminin Avantajları

1-Borlu tabakalar geleneksel olarak yüzeyden sertleştirilmiş tabakalardan çok daha üstün karakteristik özelliklere sahiptir. Birinci temel üstünlük, bileşii meydana getiren fazların yüksek erime noktalarıyla birlikte borlu tabakaların çok yüksek sertliğe (1450–1500 HV arasında) sahip olmasıdır. Karbonlu çeliklere uygulanan diğer geleneksel yüzey sertleştirme uygulamaları yanında borlu tabakanın meydana getirdiği sertliği açıkça izah etmek gerekirse; takım çeliklerini sertleştirmede ve elektrolizle kaplanan sert kromdan üstündür, tungsten karpit ile eşit serliktedir.

2- Aynı zamanda borlu tabaka yüksek yüzey sertliği ve düşük yüzey sürtünme katsayısına sahiptir. Başlıca aşındırma mekanizmalarına karşı (adheziv, tribooksidasyon, abresiv aşınma ve yüzey yoruma vb. gibi) yapıya önemli bir katkı sağlar. Bu durum makine çeliklerine şekil vermede kullanılan kalıpların aşınma direncini ve sürtünmeye karşı direncini daha fazla geliştirir.

3- Borlu tabak dayanıklılığını, yüksek sıcaklıklarda nitridli hale göre daha fazla muhafaza etmektedir.

4- Uygun yöntemlerle değişik çelikler tamamen sertleştirilebilir.

5- Borlama demir esaslı metallerdeki oksitlenmeyi azaltarak korozyon-erozyon direncini oldukça arttırabilir. Endüstriyel uygulamalarda asitli ve alkali ortamlarda gittikçe artan üstünlükler kazandırılmaktadır.

6- Borlu parçaların çalışma koşulları dolayısıyla oksidasyon altında ve koroziif şartlar içinde dayanma süresi artmaktadır.

7- Borür tabakası, 550–660 °C sıcaklıklarda bile sertliğini korunmaktadır.

8- Borlama, bir iş parçasının sertleştirilmesi istenen seçilmiş bölgelerine, düzensiz karmaşık şekillere uniform bir şekilde uygulanabilir.

9- Soğuk yapışma kaynağına eğilimi azaltmaktadır.

10- Borlanmış yüzeyler çok yüksek sıcaklıklarda (850 °C) orta seviyede oksidasyon direncine ve oldukça yüksek ergimiş metal korozyon direncine sahiptir.

11-Borlama yüzeyi, çok hassas bir şekilde parlatılabilir [22].

### **3.5. Borlama İşleminin Dezavantajları**

1-Borlama tekniği, diğer termokimyasal yüzey sertleştirme yöntemleri olan gaz karbürleme ve plazma nitrid yöntemlerinden daha pahalı ve daha zahmetlidir. Gaz karbürleme ve plazma nitrid yöntemlerinin her ikisi de borlamaya göre daha esnek sistemlerdir. Bu iki yöntemin üretim zamanı daha kısa sürmekte ve nispeten daha kolay işlem gerektirmektedir. Daha az zahmetle elde edildiklerinden ve borlu tabaka kadar zorluk çıkarmadıklarından mühendislikte bu iki yöntem tercih edilebilmektedir.

2- Borlamadan dolayı %5 ila %25 tabaka kalınlığı oluşur (arzu edilen tabaka kalınlığı 1.25 ila 6.25µm); bu tabakanın kalınlığı temel metalin bileşimine bağlıdır. Borlu tabakanın kalınlığı çok küçük değerlerde olmaktadır. İşlem bittiğinde parçalar üzerindeki borlu tabakanın kalınlığı ~%20 ila 25 boyutlu çoğalmaya müsaade etmektedir.

3- Çok hassas toleranslarla çalışmak gerektiği zaman, kaplamanın işlenmesi elmas takımlarla mümkün olmaktadır. Çünkü yüzeyin geleneksel tekniklerle işlenmesi sırasında kaplama tabakasında kırılmalar meydana gelmektedir. Bu da kaplama kalitesinde bozulmalara ve çatlamalara yol açmaktadır.

4- Borlama çeliklerde eğme, bükme dayanımını dikkate alınmayacak kadar artmasını sağlar. Bununla beraber sertliğini, korozyona dayanımını biraz olsun artırmaktadır.

5- Bor alaşımlı çelik parçaların sürtünme dayanımı genellikle, karbürize edilmiş ve nitridli çeliklerin sürtünme karşısında gösterdiği yüksek dayanımla (2000 N veya 450 lbf) mukayese edildiğinde çok zayıf kalmaktadır. Bu sebeple borlama dişlilere uygulamada sınırlıdır. Vida dişlerinde ve testere dişlerinde enine yükselmelere karşı çok küçük dayanıma sahiptir.

6- Borlamadan sonra malzemeleri sertleştirmeye ve ıslah etmeye sık sık ihtiyaç duyulur. Borlu tabakanın bütünlüğünü sağlamak ve bozulmasını önlemek için vakum altında çalışmaya veya inert atmosfer şartlarında çalışma gerekliliği vardır [22,23].

### **3.6. Borlu Tabakanın Özellikleri**

Borlanmış çelikler yüksek yüzey sertlikleri ve yüksek aşınma mukavemetleri ile karakterize edilirler. Eğer aşırı bor mevcut veya malzeme çok fazla alaşıma sahipse  $Fe_2B$  fazı (%8,84 ağır. B) yanında borca zengin FeB (%16,25 ağır. B) fazı meydana gelebilir. Yüksek iç gerilmeye sahip olduğundan ve  $Fe_2B$  tabakasından kavlayarak döküldüğünden FeB fazı arzu edilmez. Borlu tabakanın aşınma dayanımı, tabakanın tek veya çift fazlı olduğuna ve oluşum biçimine bağlıdır. En az aşınma  $Fe_2B$  fazında, en fazla aşınma ise daha sert (1800–2000 HV) FeB fazında olan tabakada meydana gelmektedir. Çünkü FeB fazı  $Fe_2B$  fazından daha gevrek bir yapıdadır. En yüksek aşınma dayanımının FeB içermeyen tabakalarda, yani sadece  $Fe_2B$  fazından oluşan tabakalarda elde edildiği deneylerle bulunmuştur.

Borlama işleminde, borun yüzeye yayılması sonucu parçanın en üst yüzeyinde bileşik tabaka adı verilen borlu bölge, onun altında yayınma (difüzyon) bölgesi ve en iç kısımda ise çekirdek bölgesi yer alır. Yüzeyde borca zengin FeB en üstte oluşurken onun hemen altında daha homojen ve sünek olan  $Fe_2B$  olmak üzere iki demirborür fazı oluşur. Termal uzama katsayıları farklı olan bu iki faz birlikte istenmezler. Yapıda bulunan Cr, W, Mo vs. alaşım elementleri tabaka kalınlığını (bora karşı afinitesinden dolayı) düşürürler.



Paslanmaz çelik malzemeler üzerine yapılan borlamalarda, yüzey üzerinde nikelin düşük çözünürlüklü olduğu bor tabakası oluşur ve fazla nikel bor tabakasının altında nikelce zengin tabaka oluşturmak üzere yapıya difüze olur. Cr elementinin birazı bor tabakasında çözünürken geri kalanı nikelce zengin tabaka ve bor tabakaları arasında kromca zengin bir tabaka oluşturmak üzere içeri difüze olur. Demir dışı alaşımlarda, örneğin titanyum ve alaşımlarının borlanmasında yüzeyde sertlik değeri 3200 HV' i bulan TiB ve TiB<sub>2</sub> tabakaları elde edilmektedir.

Borlamanın yapıldığı plazma içerisinde yer alan B ve Cl iyonlarının işlem üzerinde çok önemli tesiri söz konusudur. En iyi işlem, düşük Cl iyonu yoğunluğu ve maksimum B iyonu yoğunluklarının olduğu plazmada ortaya çıkar. Yüksek Cl iyonu yoğunluğu plazma şiddetinde düşüşe, mikroyapıda gözenekliliğe ve demirbor tabakası üzerinde Cl ve B birikmesine (kaplanmasına) sebep olur. Klorun ayrıca difüzyonu engelleme etkisinde söz konusu olup, B/Cl oranı iyi özelliklere sahip demirbor tabakası elde etmede yüksek olması gerekmektedir. Gözeneksiz yapı eldesi bu şekilde mümkün olmaktadır [22,23].

### **3.6.1. Borlu tabakanın tribolojik özellikleri**

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 makinaları, haddeme elemanları, pompalar, valfler vs. örnek olarak verilebilir.

Adhezif aşınma mukavemeti bakımından diğer yöntemlerden oldukça üstün olduğu görülmektedir. Burada, yüksek sıcaklıklardaki mukavemeti özellikle ön plana çıkmakta olup, borlu tabakaların iyi aşınma özelliği göstermesi sebebi ile çok az ya da hiç yağlayıcı kullanmaksızın çevreyi korumak için gelecekte önemli bir etken olacaktır.

Borun oksijene karşı ilgisi fazla olduğu için yüzeyde koruyucu ince bir oksit filmi oluşturmakta ve bu oksit filmi yüzeyde yağlayıcı vazifesi göstererek sürtünmeli aşınma sırasında, sürtünme katsayısını düşürürken, yüzeylerin birbirine kaynamasını önler. Kaymalı sürtünmelerde açığa çıkan ısı borlu tabakaları etkilemez.

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 borlanması özellikler Ti, Ta ve Ni metallerinin abrasif aşınma özelliklerinde çok büyük iyileşme gözlenmektedir. Ti ve Ta' ın aşınma mukavemetine olumlu yönde etki ettiği saptanmıştır [16,22].

### **3.6.2. Borlu tabakanın korozyon özellikleri**

Borlanmış numunelerin  $H_2SO_4$  gibi oksitlenmeyen asitlere karşı korozyon direnci oldukça iyi iken,  $HNO_3$  gibi oksitlenen asitlere karşı kötüdür. Yüzeyde korozyon, direncini iyileştiren borlu tabakada yer alan kromborid olduğu sanılmaktadır. Çünkü kromboritten dolayı yüzeyde oluşan kromoksit yüzeyi korozyon aşınmasına karşı pasifleştirmektedir [23].

## **BÖLÜM 4. TERMOREAKTİF DİFÜZYON (TRD) YÖNTEMİ**

### **4.1 Giriş**

Klasik yüzey ısıtma işlemlerini kullanılarak malzemelerin yüzey sertlikleri artırılabilir. Yüzeyi sertleştirilmiş çeliğin çekirdeğinin nispeten yumuşak ve tok olması, parçanın yüksek darbe mukavemeti göstermesini sağlar. Yüzey sertleştirme sırasında yüzey tabakalarında basma gerilmelerinin oluşması yüzünden, çeliğin yorulma mukavemeti de artar. Son yıllarda, TRD (Thermo-Reactive Diffusion /Toyota Diffusion Process) prosesi ile çelik yüzeyleri sert, korozyona dayanıklı karbür tabakaları ile kaplanabilmektedir [24].

Termoreaktif difüzyon prosesi, karbür, nitrür ve karbo-nitrür gibi sert ve aşınma direnci yüksek olan tabakaların çelik malzemelerin yüzeyinde oluşturulduğu bir metottur, TRD prosesinde çelik altlık malzeme karbon ve azot, vanadyum, niyobyum, tantalum, krom, molibden veya tungsten gibi karbür veya nitrür oluşturu elementlerle biriken bir tabaka oluşturmak için difüze olur. Difüze olan karbon ve azot biriken tabakada karbür ve nitrür oluşturu elementlerle altlık malzeme yüzeyinde metalurjik olarak bağlanmış olan karbür ve nitrür kaplamaları yoğun bir şekilde oluşturacak şekilde reaksiyona girer. TRD prosesi geleneksel yüzey sertleştirme metotlarına benzemez. Çünkü geleneksel yüzey sertleştirme metotlarında karbon ve azot, altlık malzemenin yüzeyini sertleştirmek amacıyla dışarıdan difüze edilmektedir. TRD prosesi konvansiyonel difüzyon metoduna benzememesine rağmen, TRD prosesinde de altlık malzemenin yüzeyinde kaplama tabakasının oluşumu gerçekleşmektedir. TRD prosesinde elde edilen kaplama tabaka kalınlıklarına CVD veya PVD teknikleri kullanılarak ulaşılabilir. Kıyaslanacak olursa, CVD kaplamaların kalınlıktan (2-5µm), TRD prosesinde elde edilen kaplamaların kalınlıklarına yakındır [1,25].

Tabakaların kalınlığı, altlığın kompozisyonuna özellikle karbon içeriğine, işlem sıcaklığına ve süresine bağlıdır (5–15 $\mu$ m).

#### 4.2. Karbürleme Yöntemleri

Karbürleme, katı, gaz veya sıvı bir ortamda karbür yapıcı elementlerin çeliğe yayınmasına dayanan bir termokimyasal işlemdir. Termoreaktif difüzyonla karbür tabakası üç değişik ortamda oluşturulabilir.

Katı ortamda karbürleme

Akışkan yatakta karbürleme

Gaz fazında çökeltme ile karbürleme

Sıvı ortamda karbürleme [26].

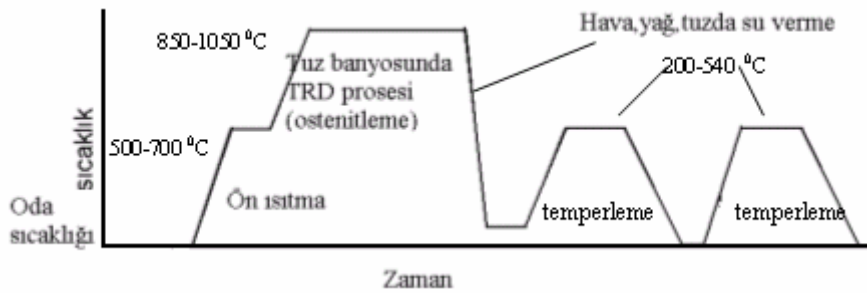
#### 4.3. Termoreaktif Difüzyon Kaplamalar

TRD (Thermo Reactive Diffusion) veya TD (Toyota Diffusion Process) diye adlandırılan bir yöntemle takım çeliklerin ömürleri 2 ila 20 kat artırılmıştır. Bu sisteme göre boraks tuz banyosu içine ilave edilen V, Nb, Ti, Ta, ve Cr gibi güçlü karbür yapıcı elementler, çelik yüzeyindeki karbon ile birleşerek yüzeylerde Cr<sub>2</sub>C<sub>3</sub>, Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>, NbC, TiC, TaC ve VC türü metalik karbür tabakalar oluşturmaktadır. Proses bilimsel çevrelerde TRD, endüstride ise TD prosesi olarak bilinmektedir.

TRD prosesi, ergimiş boraks banyosunda 850°C-1150°C sıcaklık aralığında gerçekleşir. Çoğu uygulamalarda daldırma süresi 0,5–10 saat arasında değişir ve optimum karbür kalınlığı 0,5–15  $\mu$ m'dir.

TRD prosesinde ilk aşama, distorsiyonu ve proses süresini azaltmaktır [3]. Distorsiyonun ortaya çıkma olasılığı yüksek sıcaklık uygulamalarında hemen her zaman mevcuttur. Distorsiyon, boyutsal değişimde deformasyon şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Boyutsal değişim faz dönüşümlerinden, ısıl işleminden ve oluşan kaplamadan kaynaklanmaktadır. Deformasyon şekilde olan değişimdir. TRD prosesi genellikle sertliği artırmaktadır. Bu sebeple bu boyutsal değişimi minimuma

indirmek için parçayı sertleştirerek ve bitirme işlemleri tamamlanarak prosese başlamak en iyi yöntemdir. Bundan başka, kalıntı ostenitin miktarına bağlı olarak, bazı boyutsal değişiklikler görülebilir. Sementit karbürler proseste sertleştirilemezler ve bu sebeple boyutsal değişimde etkili rolleri yoktur. Kalıntı osteniti kontrol etmenin en kolay yolu TRD prosesinin öncesinde ve sonrasında kalıntı ostenit miktarını %0'a düşürmektir [1]. Şekil 4.1 şematik olarak ısıl işlem çevirimini göstermektedir.



Şekil 4.1 TRD prosesinin akım şemasının şematik gösterimi [1-24].

#### 4.3.1. Yöntem karakteristikleri

TRD metodunda sert karbür, nitrür ve karbo-nitrür kaplamalar çeliklere, tuz banyosunda veya akışkan yataklı fırınlarda uygulanabilmektedir. Tuz banyosuna daldırma tekniği ile karbür kaplamalar öncelikle Japonya'da gerçekleştirilmiştir ve Toyota difüzyon (TD) kaplama ismi altında hemen hemen 20 yıl önce endüstriyel olarak kullanılmıştır. TD prosesinde vanadyum, neobyum, titanyum veya krom gibi karbür oluşturu elementlerinin ilavesiyle ergimiş boraks kullanılır. Bu yöntemde karbür oluşturu elementlerin çeliğin bünyesinde bulunan karbonla birleşmesi ile alaşım karbürler oluşmaktadır. Tabakanın büyümesinin karbon difüzyonuna bağlı olması sebebiyle, ihtiyaç duyulan kaplama hızını sağlamak için proses 800 °C'den 1250 °C'ye kadar yüksek sıcaklığı gerektirir 4 ile 7 µm karbür kaplama kalınlığını üretmek için banyo sıcaklığı ve çeliğin cinsine bağlı olarak 10 dakika ile 8 saat arasında işlem süresine ihtiyaç duyulabilmektedir. Kaplanmış çelikler soğutulduktan sonra, sertleştirme

amacıyla tekrar ısıtılabilir veya banyo sıcaklığı ostenitleme sıcaklığı seçilebilir ve kaplama işlemi sonrasında doğrudan su verme işlemi gerçekleştirilebilir.

Tuz banyosunun sıcaklığı, çeliğin temperleme sıcaklığına düşürülebilir. Düşük sıcaklıklı banyo kullanımı karbo-nitrür kaplamalar için kullanılmaktadır. Bu tür kaplamalar 550-600 °C sıcaklık aralığında vanadyum içeren klorür banyolarında, sertleştirilmiş ve nitrürlenmiş çeliklere uygulanmaktadır [1-24].

#### **4.3.2. TRD Karbür kaplamaların genel özellikleri**

Vanadyum, neobyum ve krom karbür kaplamalar yüksek sıcaklıkta tuz banyosu prosesinde elde edilebilirler. Vanadyum karbür ve neobyum karbür yüksek sertliğe sahip olan, son derece iyi aşınma erozyon ve korozyon direncine sahiptirler. Krom karbür hafif aşınma direnci, fakat çok iyi oksidasyon direncine sahiptir [1].

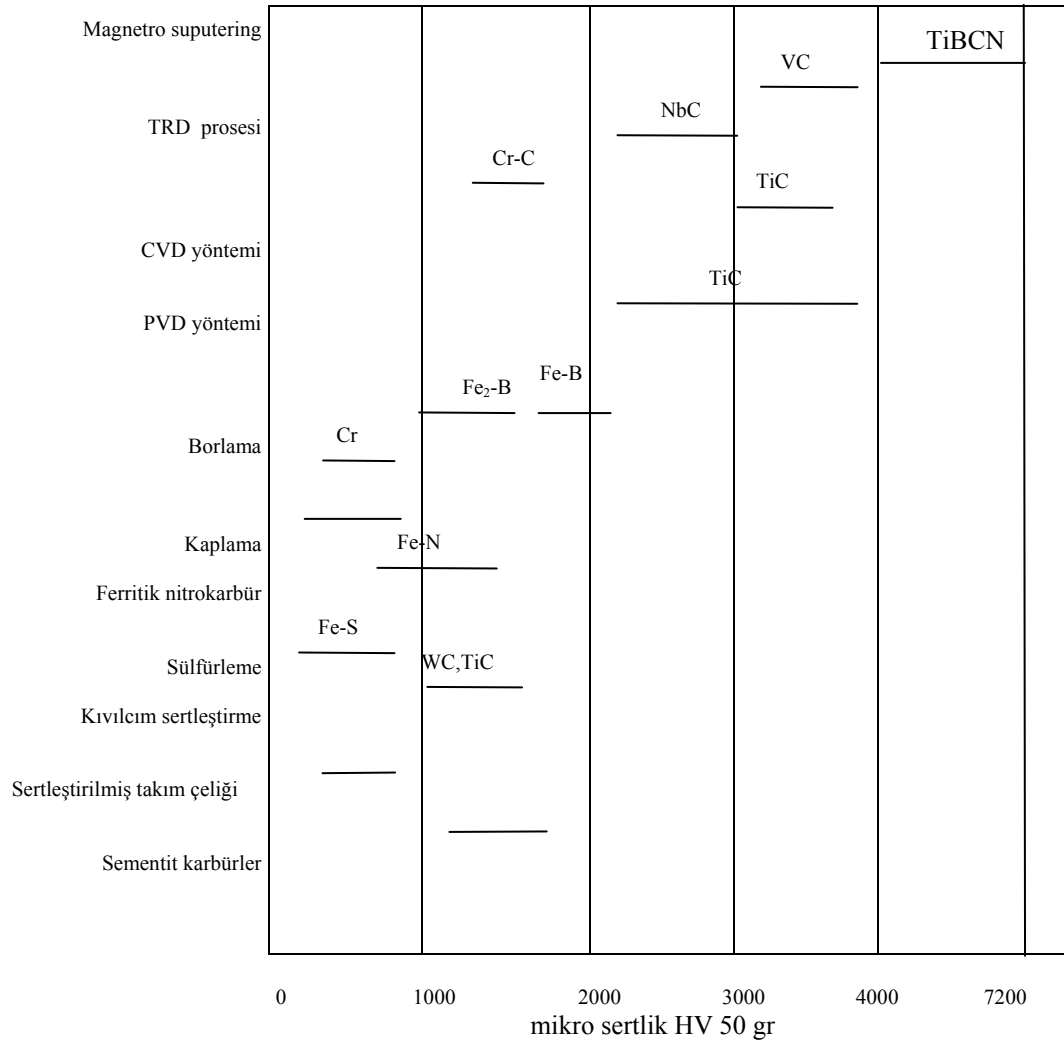
#### **4.3.3. TRD yönteminde temel prensipler**

TRD yönteminde iş parçasının içine gömüldüğü toz karışımları ana olarak üç bileşenden oluşmuştur: Kaplama element kaynağı (verici malzeme, örn. Fe-Cr, Fe-V, Fe-Ti Fe-Cr), karşım tozlarının birbirleriyle sinterleşmesini önlemek için inert bir dolgu maddesi ( $Al_2O_3$  veya  $SiO_2$ ) ve bir aktivatör (genellikle  $NH_4Cl$ ) [6].

TRD yöntemi gibi termokimyasal difüzyon yöntemleri birçok değişkenden etkilenir. Her defasında problemlerin optimal çözümleri, parametrelerin birbirine göre ayarlanması deneysel çalışmalar sonucu olmaktadır [26]. Bu parametreler aşağıda sıralanmışlardır.

- Difüzyon sıcaklığı
- Difüzyon süresi
- Verici malzemenin miktarı
- Aktivatör miktarı
- Numune malzemesinin yapısı (alaşım elementleri, karbon içeriği)
- Son işlemler (ısıl işlem)

Difüzyonal kaplama işlemleri bir kutu içerisinde 900–1100 °C'deki bir fırında genellikle 2 ila 5 saat süre ile uygulanır. Bu süre ve sıcaklıklar üretilecek tabaka cinsi ve tabaka kalınlığına bağlı olarak değiştirilebilir. Numunenin soğuması genellikle kutu tozları içinde olmaktadır. Ayrıca fırın dışında soğutma şeklinde yapılan çalışmalar da mevcuttur.



Şekil 4.2. Diğer yüzey sertleştirme yöntemleri ile TRD prosesinde elde edilen karbür tabakalarının yüzey sertlikleri [25].

#### 4.3.4. TRD yönteminin üstünlükleri

TRD yönteminin üstünlükleri şöyle sıralanabilir

- Basit donanım
- Kolay operasyon
- Seçici karbür kaplama
- Düşük maliyet
- Girintili çıkıntılı bölgelerde üniform kaplama
- Uzun banyo ömrü
- Malzemeye yapışan tozun kolay temizlenmesi
- Koruyucu atmosfer gerektirmemesi
- Kolay su verebilme ( göbek sertliği)
- Atık ve zehirli gaz olmaması, çevreye zarar vermemesi
- Kalıp ömrünün artması
- Kalıp parlatılmasında kullanılan işçilikten tasarruf
- Yağlayıcıdan tasarruf (veya hiç yağlayıcı kullanılmadan)
- Yüzey işlemlerindeki ve boyutsal hassasiyetteki artıştan ötürü, ürün kalitesinin artması
- Daha az kalıp malzemesi kullanılarak, kalıp malzemesi ve üretim maliyetlerinde azalma [24].

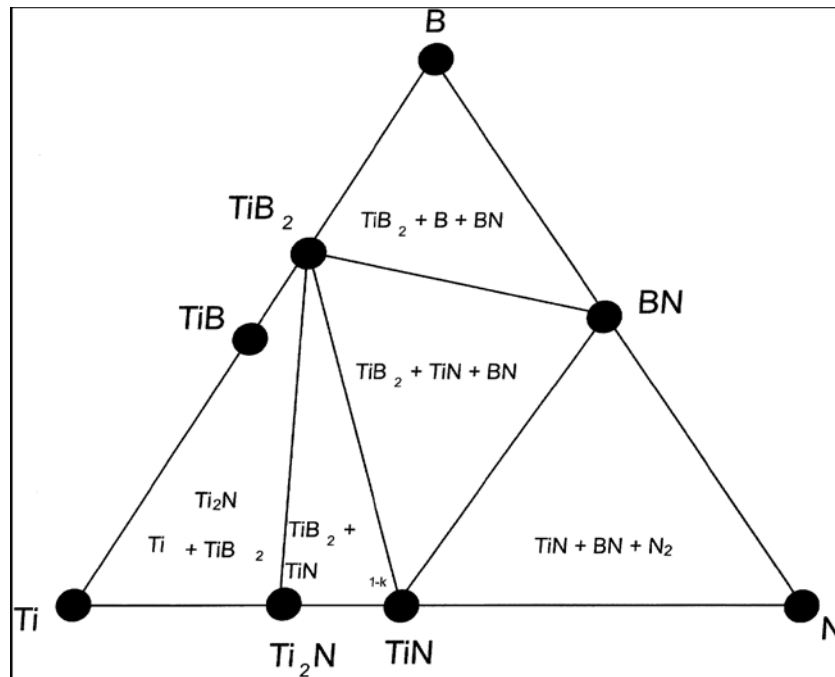
#### 4.3.5. TRD yöntemi ile yapılan Ti-B-C-N kaplamaların genel özellikleri

Bundan otuz yıl öncesine kadar nitrür ve karbür kaplamalar korozyon erezyon ve aşınmaya karşı üstün özelliklerinden dolayı kullanılmaktaydı. Fakat son zamanlarda daha sert kaplamalar elde edilmeye başlandı özellikle bor esaslı olan bu kaplamalar, çok iyi aşınma ve korozyon dayanaklıkları vardır. Bulunan bu kaplamalar mükemmel potansiyellerinden dolayı birçok endüstriyel uygulamalarda kullanılmaya başlanılmıştır. Bu sert kaplamalara örnek verecek olursak, TiBN, TiALBN, TiBCN, ZrBN gibi kaplamalardır. Sert metal bor nitrür kaplamaların (MBN-metal boron nitride) çok fazlı ve kompleks faz diyagramları vardır. TiBCN'

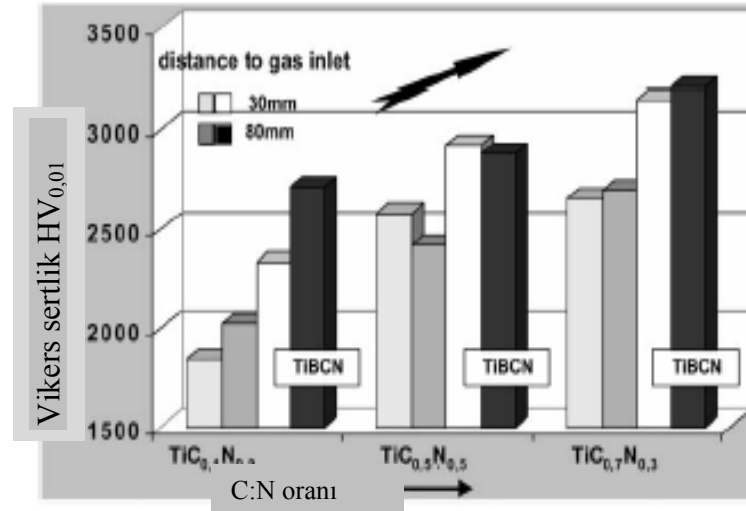


nin sertliği altlık malzemenin sertliğinden bağımsızdır. Titanyumun diğer elementlerle yaptığı ikili bileşenlerde çok yüksek sertliklere ulaşabilir. Bu kaplamalardan biri olan TiBN' nin sertliği 2000–7000 HV arasında değişmektedir. TiBCN kaplamaların sertlikleri ise 3600–7200 HV arasında değişmektedir. TiB<sub>2</sub> ve TiN fazları içeren TiBN kaplanmış çeliklerin yaklaşık sertliği 5500 HV' dir [27].

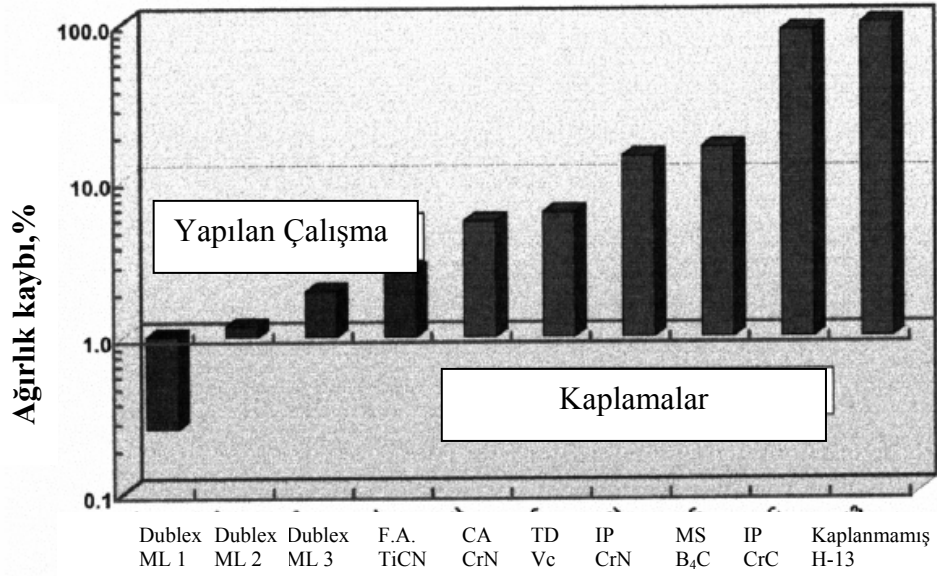
TiBN kaplamalar sert faz olarak TiN, TiB<sub>2</sub>, B ve BNC (kübik BN) fazlarını içerir. Yumuşak faz olarak ta a-BN (amorf-BN) ve hegzagonal BN (h-BN) fazlarını içerir. Şekil 4.3'de titanyumun, bor ve azotla yaptığı bileşikleri gösteren faz diyagramı. Şekil 4.4'de TiBCN kaplamaların N:C oranına göre sertlik değişimi. Şekil 4.5.-4.6'da bazı kaplamaların korozyon dayanımları verilmiştir. TiBCN kaplamalar yüksek gerilme dayanımı, yüksek ergime sıcaklığı, yüksek korozyon, yüksek aşınma dayanımına sahiptir. Bu tabakalar asitlere, tuzlara ve bazlara karşı yüksek korozyon direncine sahiptir. TiN, TiBN, TiBCN kaplamalar altına benzeyen renginden dolayı aynı zamanda dekoratif kaplama olarak ta kullanılmaktadır. İnsan vücuduna karşı zararları olmadığından dolayı biomedikal malzeme olarak ta kullanılmaktadır. Aynı zamanda TiN, TiBCN ve TiBN kaplamalar mimaride de kullanılmaktadır [28-29].



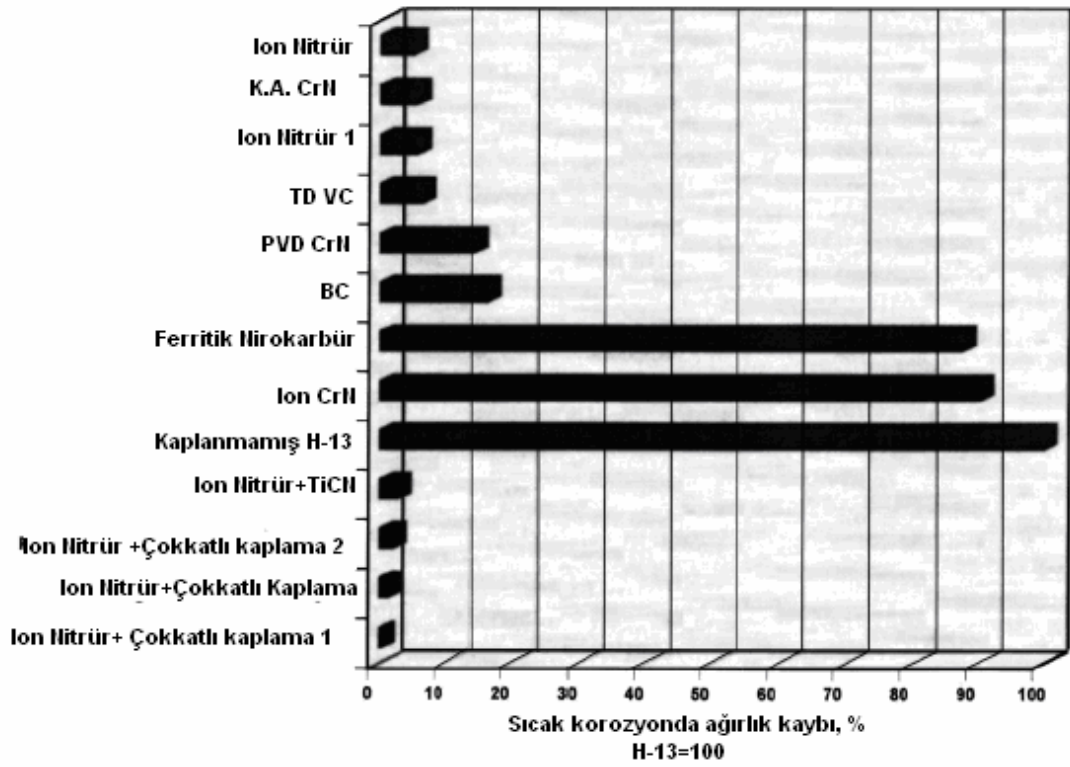
Şekil 4.3. TiBN faz diyagramı [27-30]



Şekil 4.4. Yüksek sıcaklıkta kaplanan TiBCN kaplamasının bor üzerindeki C:N oranına göre sertlik dağılımı [31]



Şekil 4.5. Bazı kaplamaların korozyon dayanımları [31]



Şekil 4.6. Bazı kaplamaların sıcak korozyon dayanımları [32].

## **BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

### **5.1 Giriş**

Demir esaslı malzemelere termo-kimyasal olarak yapılan kaplamalar üzerine son 20 yıl içerisinde çok sayıda makale, bildiri ve kitap bölümleri çıkmıştır. Japonya'da 3000 civarında firma bu kaplama tekniğini kullanmaktadır. Ülkemizin bu teknikle tanışması üniversitelerde araştırma konusu olarak incelemelerden ileri gitmemiştir. Dünya literatüründe özellikle titanyum karbür, vanadyum karbür ve krom karbür üzerine geniş çalışmalar yapılmış fakat TiBCN karbür kaplamalar üzerinde kapsamlı araştırmalar yapılmamıştır.

Bu çalışmada sanayide çok yaygın olarak kullanılan AISI 1040, AISI M2 çeliği ile ISO P15-20 WC-Co kesici takımını üzerinde TiBCN kaplamasının oluşturulması ve bu kaplamaların aşınma davranışları incelenmiştir. Bununla birlikte çok kolay ve pahalı olmayan bu tekniğin ülkemiz sanayine tanıtılması ve uygulanmasının oldukça kolay bir şekilde atmosfere açık fırınlarda gerçekleştirilmesinin mümkün olduğunu da göstermektedir.

Karbür kaplamalar son derece sert, aşınma ve korozyon dirençleri son derece yüksek olan kaplamalardır. Bununla birlikte yorulma dayanımı korozyon ve oksidasyon dirençleri de son derece yüksek olan kaplamalardır. Bu sebeplerden dolayı teknolojide son derece ilgi çeken kaplamalardır.

Bu çalışmanın amacı ilk olarak borlanan ve sonra termo reaktif difüzyon tekniği kullanılarak kaplanan orta karbonlu çeliklerden, AISI 1040 çeliğinin, yüksek hız takım çeliklerinden olan M2 çeliğinin ve ISO P15-20 WC-Co kesici takımının kaplama mikroyapısını, kimyasal bileşimini, tabaka morfolojisini ve mekanik özellikler üzerine etkisini araştırmaktır.

Bu çalışmada farklı sıcaklık ve sürelerde kaplanan AISI 1040, AISI M2 çeliklerinin ve ISO P15-20 WC-Co kesici takımının yüzeyinde oluşturulan tabakaların, mikroyapılarının incelenmesi, kaplama tabakalarının elementel analizlerinin yapılması, tabaka kalınlıklarının ölçülmesi ve x-ışınları difraksiyon paternleri ile faz analizleri, mikrosertlik ölçümlerinin ve aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir..

## 5.2. Deneysel Çalışmalar

### 5.2.1. Çelik malzemenin özellikleri

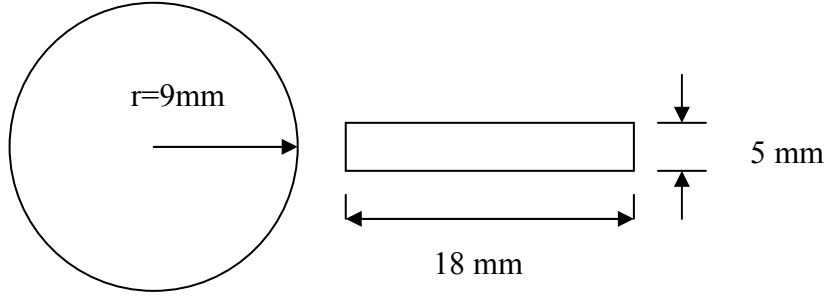
Asil çelik A.Ş ve Osmanlı çelik firmalarından temin edilen çelik malzemeler 20mm çapında hadde mamulü ürünler kullanılmıştır. Çeliklerin kimyasal bileşimi Thermo-Jarrel ASH-BAIRD Corp. DV-6S 3063A marka spektral analiz cihazında belirlenmiş ve Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan çelik malzemelerin kimyasal bileşimi

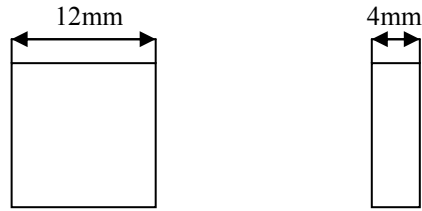
Çeliğin Cinsi	Kimyasal Bileşim(% Ağırlıkça)										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	W	V	Fe
AISI 1040	0.42	0.181	0.770	0.028	0.038	0.140	0.091	0.013	-	0,005	Kalan
AISI M2	0.95	0.321	0.183	0.327	0.049	4.66	0.77	4.43	6.33	1,75	Kalan

ISO P 15-20 WC-Co kesici takımı ise %69 WC, %22 TiC+Ta(Nb)C geriye kalan kısmı ise Co’ dan oluşmaktadır.

Boyutları Şekil 5.1’de ve Şekil 5.2 ‘de görülen numuneler deneysel çalışmalar öncesinde kesilerek kaplama işlemi için 1200 gridlik zımparalama kademesine kadar zımparalanarak hazırlanmıştır.



Şekil 5.1. Kaplama işlemine tabi tutulan AISI 1040 ve AISI M2 çelik numunelerin boyutları



Şekil 5.2 Kaplama işlemine tabi tutulan ISO P 15-20 WC-Co kesici takımı numunesinin boyutları

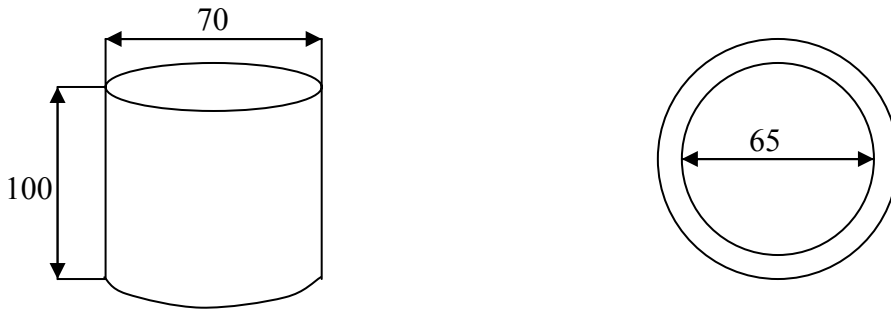
### 5.3 Deneylerde Kullanılan Cihazlar

#### 5.3.1 Kaplama fırını

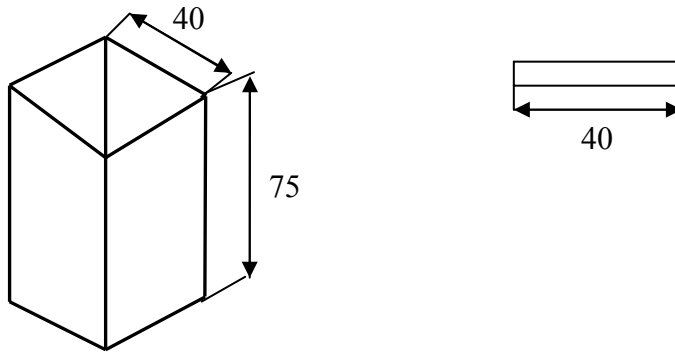
Karbürleme işleminde PROTHERM 1200 tipi elektrik direnç fırını kullanılmıştır. Fırın atmosferik şartlara açık olup fırının sıcaklık hassasiyeti  $\pm 1^\circ\text{C}$ 'dir.

#### 5.3.2 Borlama ve titanyumlama potaları

AISI 316L paslanmaz çelik potalar kullanılmıştır. Potaların boyutları Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'de verilmektedir.



Şekil 5.3. Kaplama işlemlerinde kullanılan borlama potası



Şekil 5.4. Kaplama işlemlerinde kullanılan titanyumlama potası

#### 5.4. Borlama İşlemi

Borlama işleminde boraks, borik asit ve ferro silisyum kullanılmıştır. Boraks ve borik asit öncelikle 900 °C sıcaklıkta 1 saat süreyle bekletmek suretiyle kalsine edilmiştir. Daha sonra öğütülerek 100 mesh elekten geçirilerek hazırlanmıştır.

Borlama işlemi AISI 1040 numuneler için 900 °C AISI M2 çeliği ve ISO P15-20 WC-Co kesici takımı için ise 1000 °C de 2 saat süreyle boraks, borik asit, ferro silisyum esaslı sıvı banyoda gerçekleştirilmiştir. Borlama işleminden sonra numuneler oda sıcaklığına kadar havada soğutulularak daha sonra kaynayan suda bekletilmek suretiyle yüzeyleri temizlenmiştir. Bu işlemden sonra %10 sülfürik asit( $H_2SO_4$ ) çözeltisinde temizlenme işlemine tabi tutulmuştur.

### 5.5. Termo Reaktif Difüzyon İşlemi (Titanyumlama)

Kimyasal bileşim olarak ağırlıkça %50 ferro-titanyum, %25 alumina (ticari saflıkta), %12,5 Amonyum klorür ve %12,5 naftalin'den oluşmaktadır.

Kaplama potasının tabanına alumina hemen üstüne kaplama tozu-numune-kaplama tozu-alumina ve çok az naftalin ilavesi ile kapak kapatılmakta ve şamot çamuru ile sızdırmazlık sağlanmıştır. İşlem sıcaklığına çıkarılan fırına daha önce hazırlanmış olan potalar yerleştirilmiştir. Her deney için toz karışımı yeniden hazırlanmıştır. Termo reaktif kaplama işlemi çelikler için 1000°C sıcaklıkta 2 saat süreyle gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ISO P 15-20 WC-Co kesici takımı için 800, 900, 1000 °C 'de 1, 2, 3, 4 saat sürelerde kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaplama işlemi sonrasında numuneler açık atmosferde oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Kaplanan numuneler ultrasonik olarak alkol çözeltisi içerisinde 15 dakika süreyle temizlenmiş ve kurutulmuştur.

### 5.6. Metalografik İnceleme

Borlama ve Termo-reaktif kaplama işlemine tabi tutulan numuneler 80, 120, 220, 600 ve 1200 grid'lik zımparalama işleminden sonra 0.3 µm 'luk alumina ve 1µm'luk elmas solüsyonla parlatma işlemine tabi tutulmuşlardır. Daha sonra numuneler %3'lük Nital'le dağlanarak mikroyapılar ortaya çıkarılmıştır. Metalografik olarak hazırlanan numuneler NİKON EPİPHOT 200 marka optik mikroskop ile incelenmiştir. Ayrıca mikroyapı incelemeleri JEOL JAREL 6600 Lb marka elektron mikroskobu ile gerçekleştirilmiştir.

Tabaka kalınlıklarının belirlenmesi NİKON EPİPHOT 200 marka optik mikroskop ve bu mikroskoba bağlı bir mikro metre ile gerçekleştirilmiştir. Tabaka kalınlıklarının tayininde en az 5 ölçüm alınarak yapılmıştır.



### 5.7. X-Işınları Difraksiyon Analizi

Kaplama tabakasında mevcut fazların tanınmasında ve özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden biri de x-ışınları difraksiyon analizidir. X-ışınları difraksiyon analiz yönteminde genellikle Cu veya Co gibi hedef bir elementten elde edilen  $K\alpha$  karakteristik x-ışını demeti, analiz edilecek numune üzerine gönderilmektedir. Işın demeti numunenin üç boyutlu kristal kafeslerinden difraksiyona uğrayarak, numuneye has difraksiyon paterni elde edilmektedir. Bu paternlerin incelenmesi, bileşimi belirli standart malzemelerden elde edilen paternler ile karşılaştırılarak yapılmaktadır. Karşılaştırma sırasında standart ASTM kartlarından yararlanılmaktadır.

Numunelerin x-ışınları difraksiyon analizi yönteminde Rigaku Dimaks 2200 marka x-ışınları difraktometresi kullanılmıştır. Analiz sırasında ( Cu  $K\alpha$  yani  $\lambda=54,08 \text{ \AA}$  ) ışın demeti kullanılmış ve oluşan fazların saptanmasında Hanawalt el kitaplarından ve ASTM kartlarından yararlanılmıştır.

### 5.8. Sertlik Deneyleri

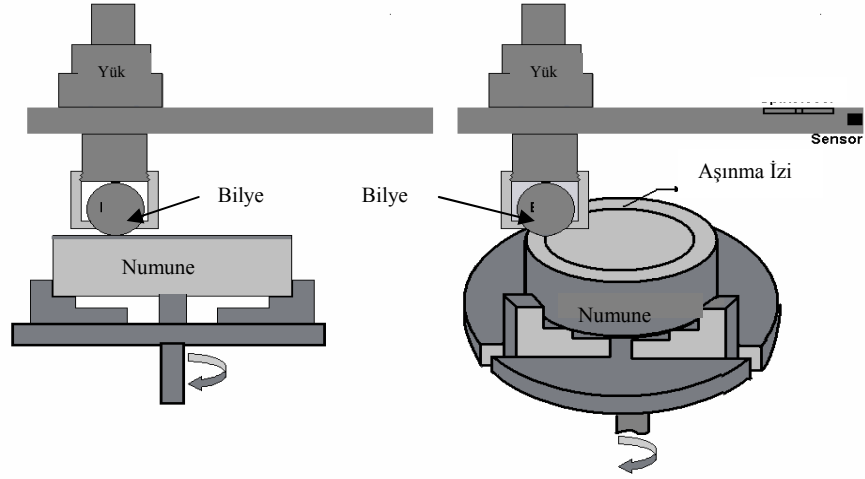
Kaplama tabakalarının ve matrisin sertlik ölçümleri FUTURE TECH FM 700 mikrosertlik cihazında Vickers sertlik ucu kullanılarak 10 gr yük altında gerçekleştirilmiştir. Ölçme işlemleri kaplama tabakasından ve matristen gerçekleştirilmiştir.

### 5.9. Aşınma Deneyleri

Aşınma deneyleri, Şekil 5.5.' de şematik olarak gösterilen ASTM G-99 standartlarına uygun olarak tasarlanan ball-on-disk cihazında yapılmıştır. Numuneler ultrasonik temizleme cihazında metil alkol içerisinde 15 dakika süreyle temizlenerek kurutulmuştur.

Deneylerde aşındırıcı bilye olarak, 9,5 mm çapında Alümina ve AISI 440 C çelik bilyeler kullanılmıştır. Numuneler; 1, 2 ve 5 N yük altında 0,1 m/s, 0,3 m/s ve 0,5

m/s hızlarda ve 80, 160, 240, 320 metre kayma mesafelerinde aşınma deneylerine tabi tutulmuştur.



Şekil 5.5. Aşınma deneylerinde kullanılan cihazın şematik gösterilişi.

Aşınma deneyleri sonucunda aşınma miktarlarını bulmak için TR 200 marka profilometre kullanılmıştır.

## **BÖLÜM 6. SONUÇLAR**

### **6.1 Giriş**

Bu çalışmada Tablo 5.1’de bileşimleri verilen AISI 1040, AISI M2 çelik malzemelerin ve P 15-20 WC-Co esaslı kesici takımlarının ilk olarak, kalsine boraks, borik asit ve ferro silisyumdan oluşan bir sıvı banyoda borlama işlemleri gerçekleştirildikten sonra, ferro-titanyum, alumina, amonyum klorür, naftalinden oluşan toz karışımında termokimyasal olarak işleme tabi tutulmuş ve TiBCN kaplamaları gerçekleştirilmiştir.

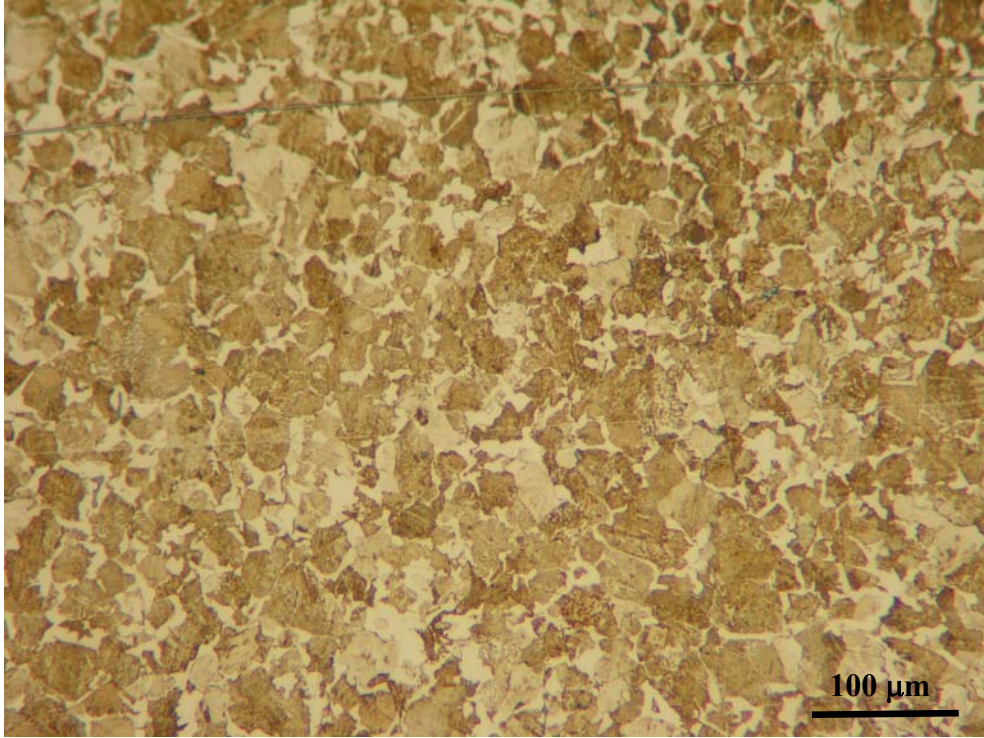
Termokimyasal olarak kaplanan numunelerin yüzeyleri, kaplama tabakaları, kaplama-matris arayüzeyleri; klasik metalografi teknikleri, x-ışınları difraksiyon analizi, taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemesi, Enerji Dispersive X-ışınları ile analizleri incelenmiştir. Ayrıca mikro sertlik ve Ball-on-disk aşınma deneyleri yapılmıştır.

### **6.2 Metalografik İnceleme**

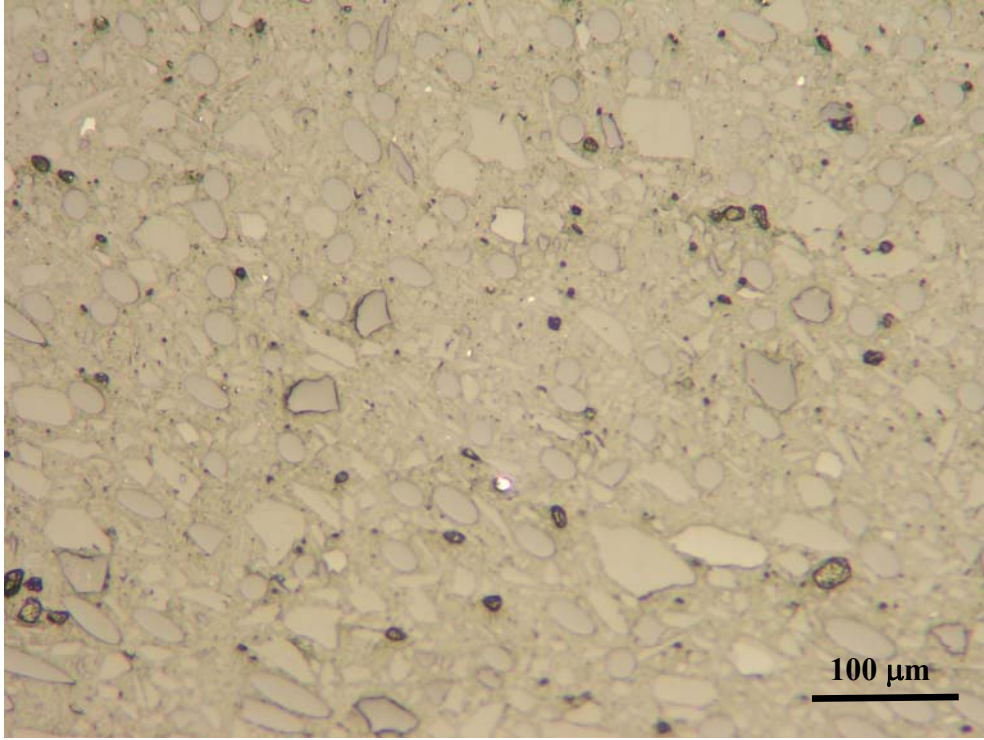
Klasik metalografi teknikleri ile hazırlanan numuneler üzerinde yapılan optik mikroskop incelemeleri neticesinde, kaplama işlemine tabi tutulan bütün numunelerde kaplama tabakası, kaplama-matris arayüzeyi ve matris açık bir şekilde görülmektedir. Kaplama tabakaları düz, yoğun ve homojen dağılım göstermektedir. Mikroyapı incelemelerinde kaplama tabakasının üç bölgeden oluştuğu görülmektedir. Sırasıyla i-TiBCN tabakası en dış yüzeyde oluşmaktadır, ii- TiBCN tabakasının hemen altında demir borür tabakası ve iii-demir borür tabakasının altında matris yer almaktadır.

Şekil 6.1-6.3’de sırasıyla işlem görmemiş Şekil 6.4-6.6’da sırasıyla borlanmış AISI 1040, AISI M2, ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunelerinin mikroyapısı,

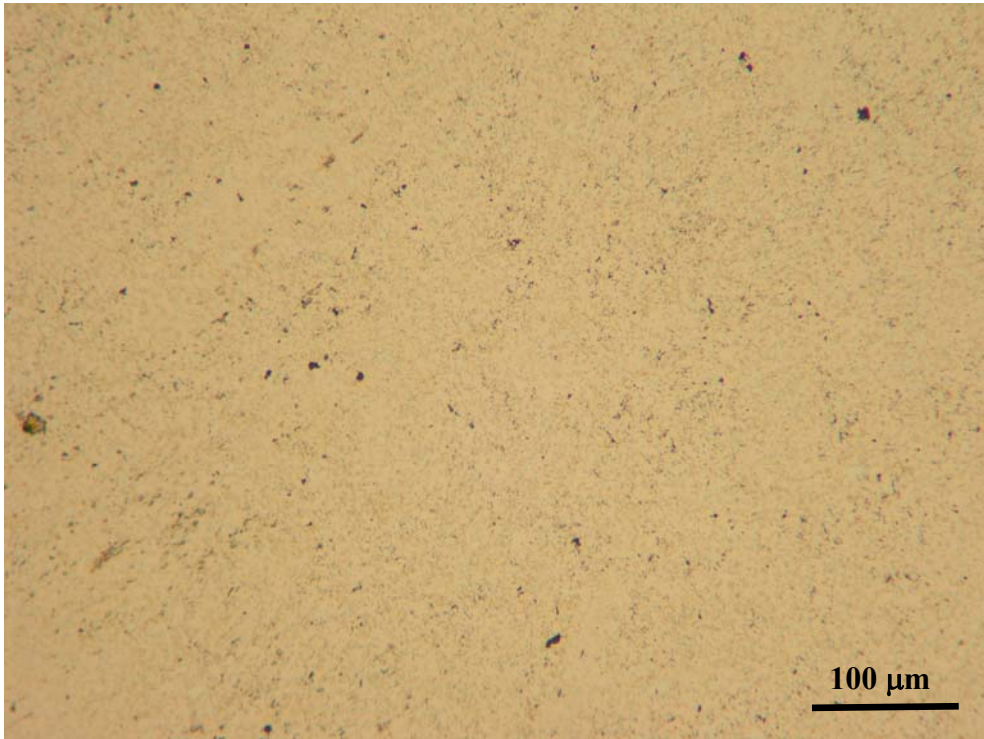
görülmektedir. Şekil 6.7-6.8'de sırasıyla TiBCN kaplanan AISI 1040, AISI M2 numunelerinin mikroyapıları, Şekil 6.9-6.20' sırasıyla 800, 900, 1000°C sıcaklıklarda ve 1, 2, 3 ve 4 saat sürelerde kaplanmış P 15-20 WC-Co kesici takım numunelerin tabakalarının mikroyapıları görülmektedir



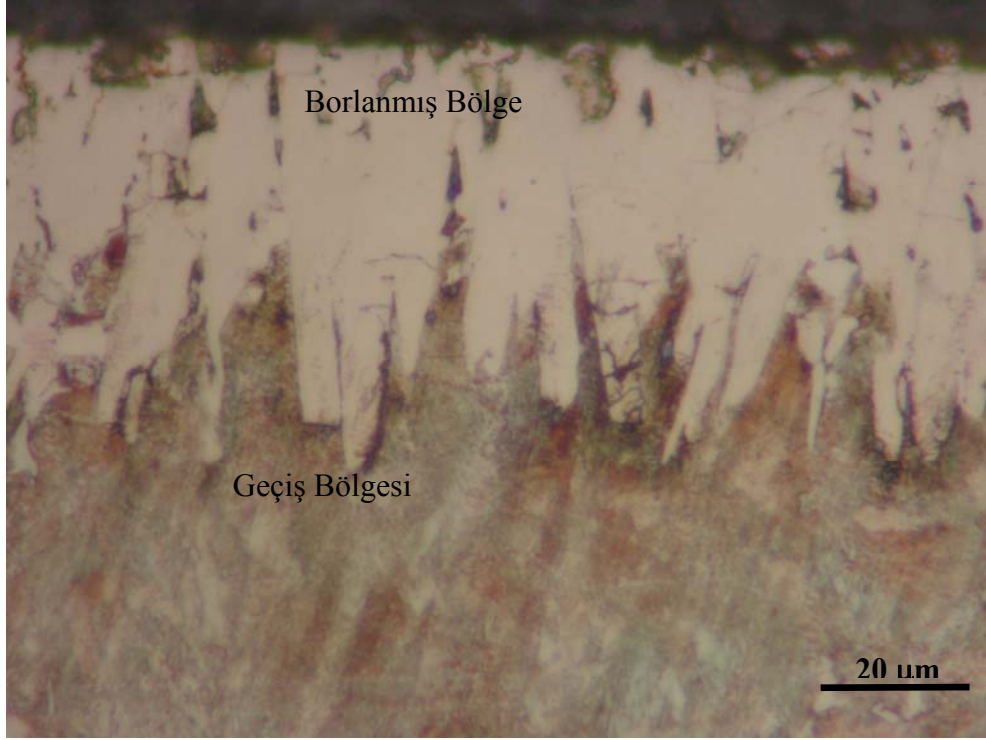
Şekil 6.1. İşlem görmemiş AISI 1040 çeliğinin mikroyapısı



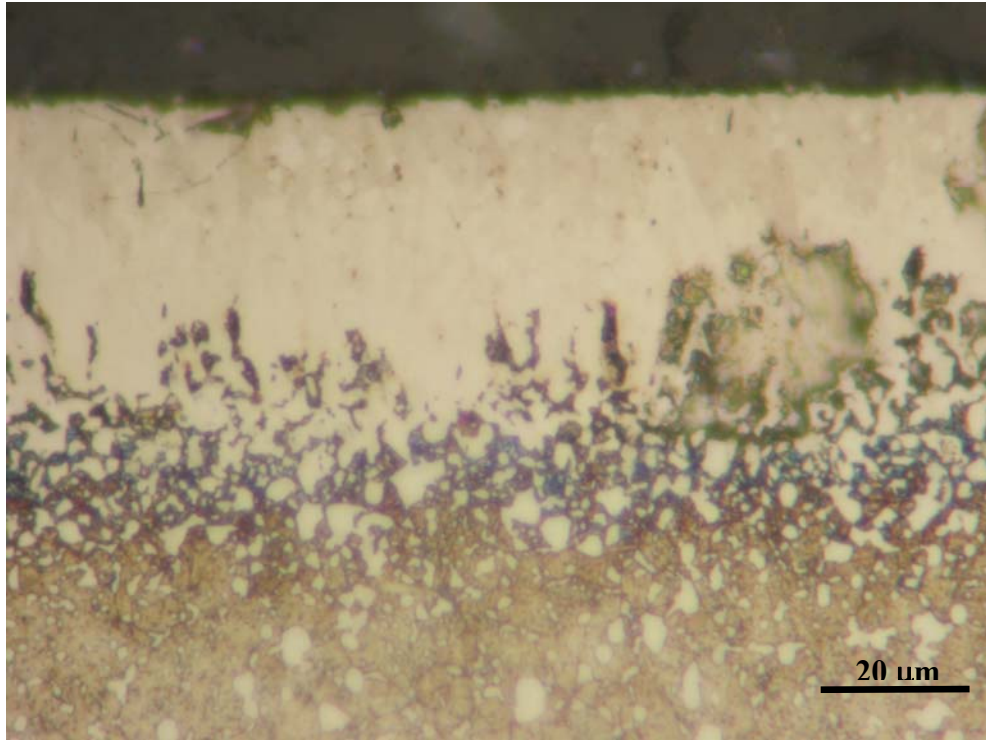
Şekil 6.2. İşlem görmemiş AISI M2 çeliğinin mikroyapısı



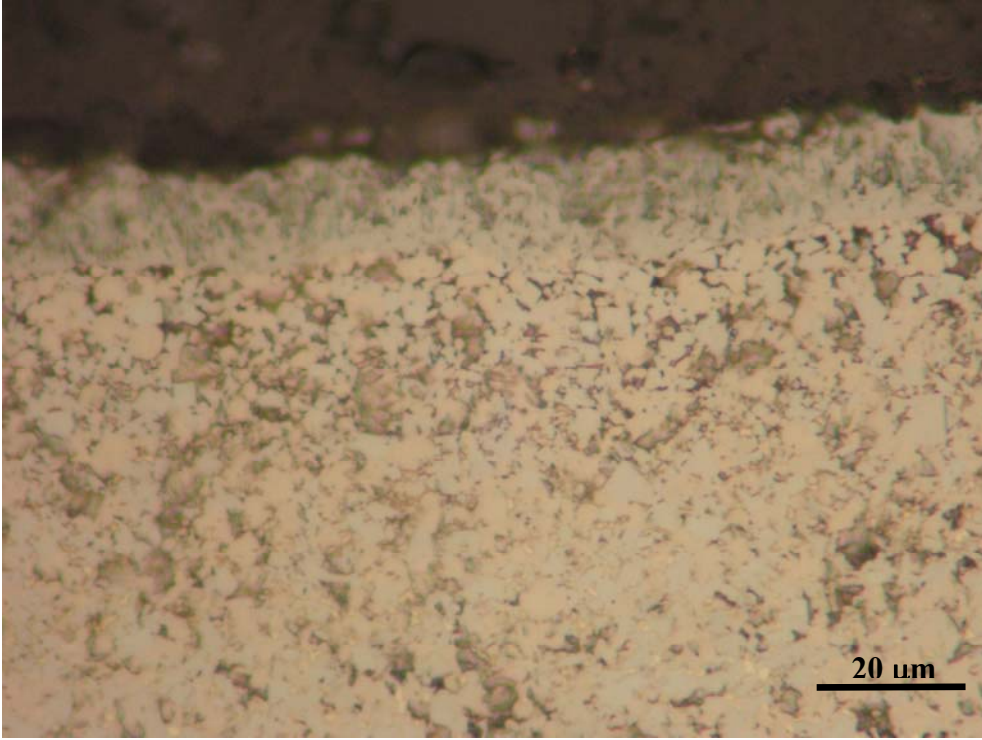
Şekil 6.3 İşlem görmemiş P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin mikroyapısı



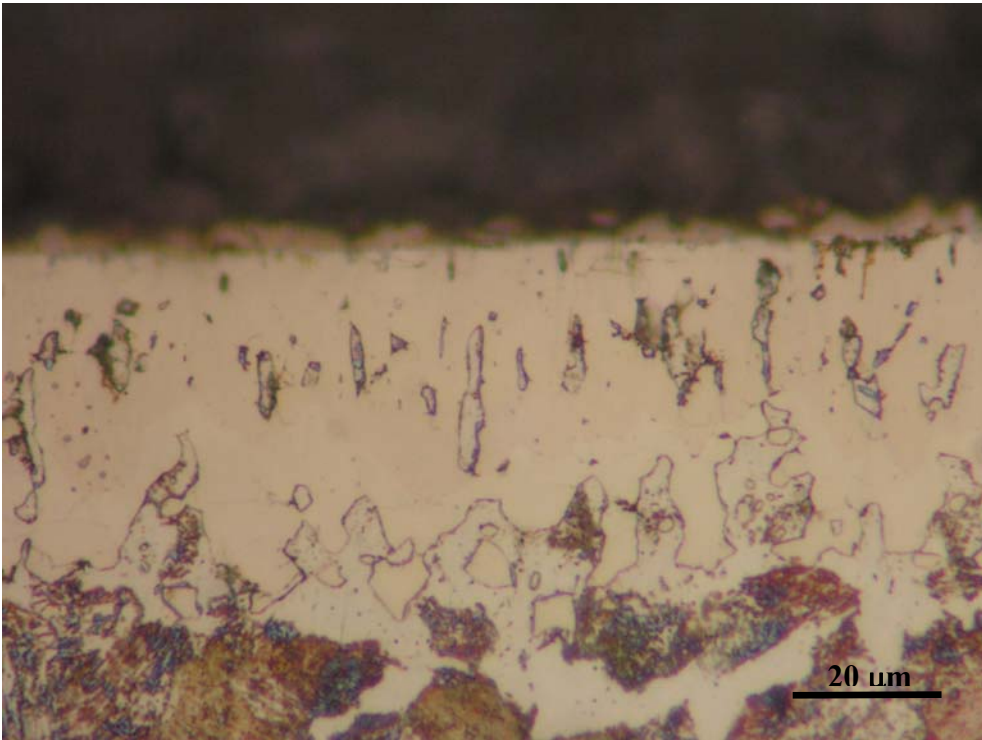
Şekil 6.4. 900 °C'de 2saat süreyle borlanmış AISI 1040 çeliğinin mikroyapısı



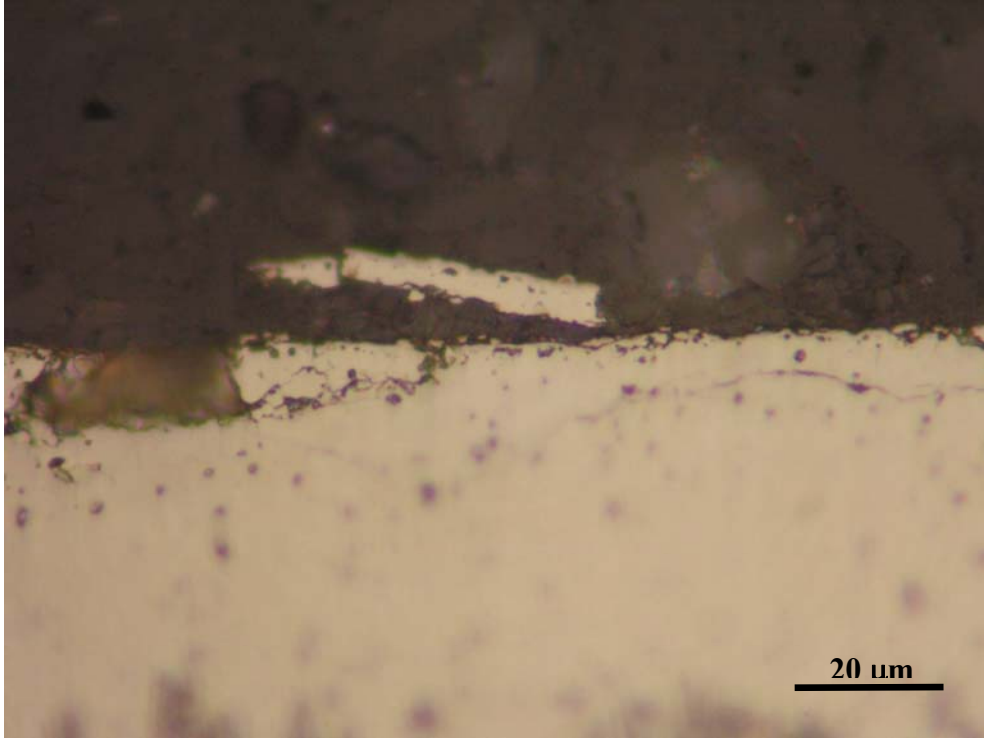
Şekil 6.5. 1000 °C'de 2saat süreyle borlanmış AISI M2 çeliğinin mikroyapısı



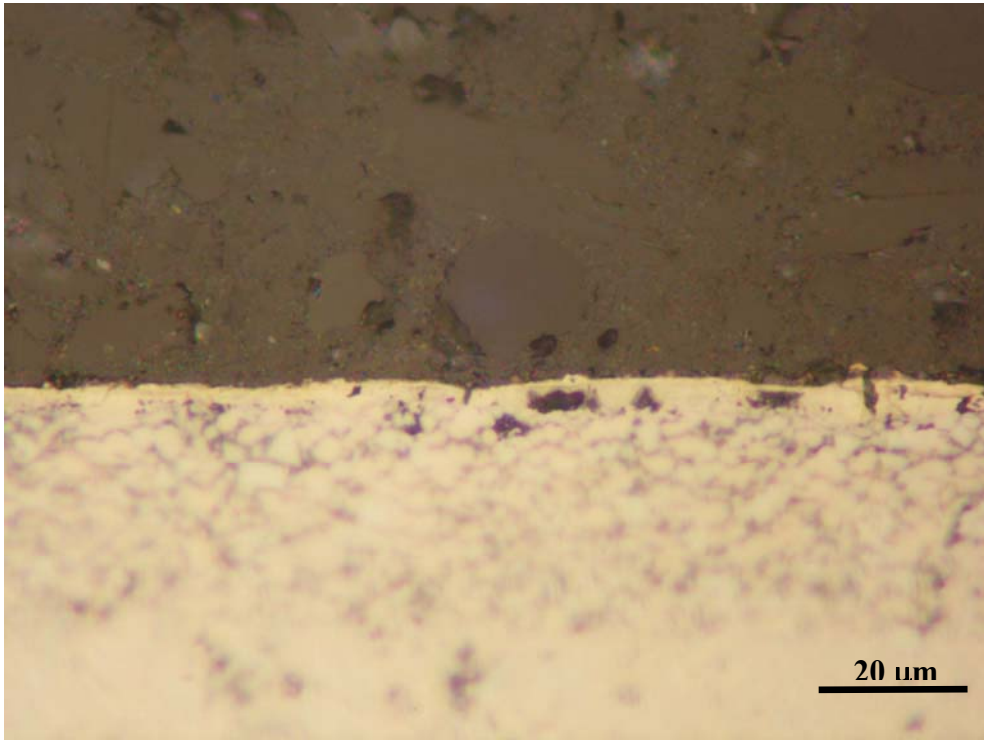
Şekil 6.6. 1000 °C’de 2saat süreyle borlanmış P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin mikroyapısı



Şekil 6.7. 1000°C sıcaklıkta 2 saat süre ile titanyumlanan AISI 1040 çeliğinin mikroyapısı

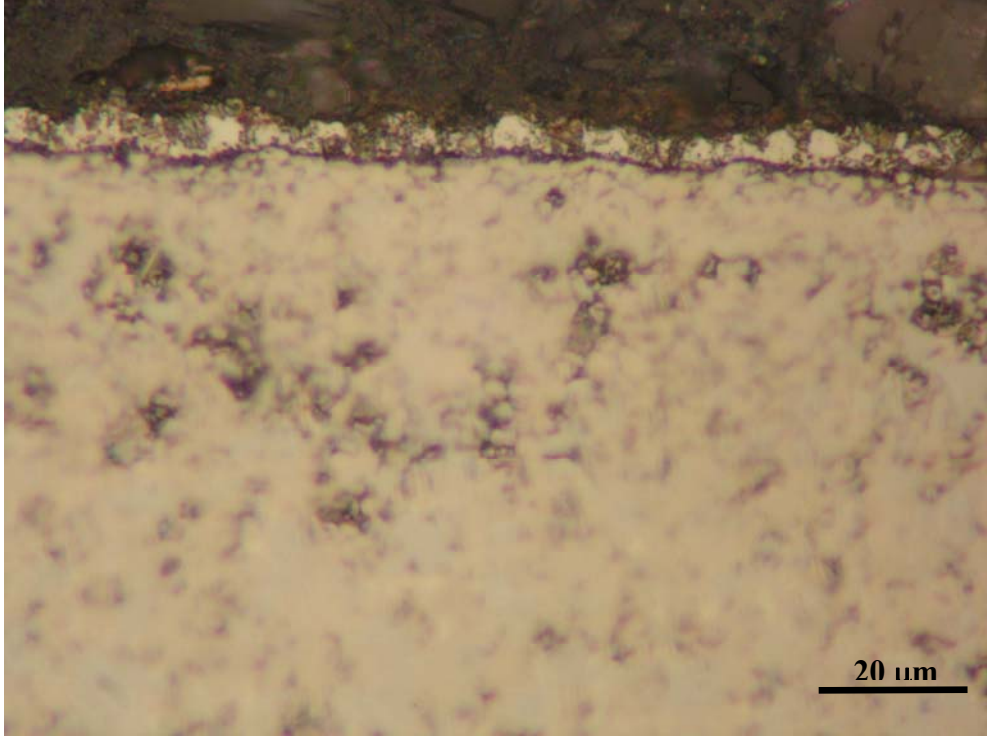


Şekil 6.8. 1000°C sıcaklıkta 2 saat süre ile titanyumlanan AISI M2 çeliğinin mikroyapısı

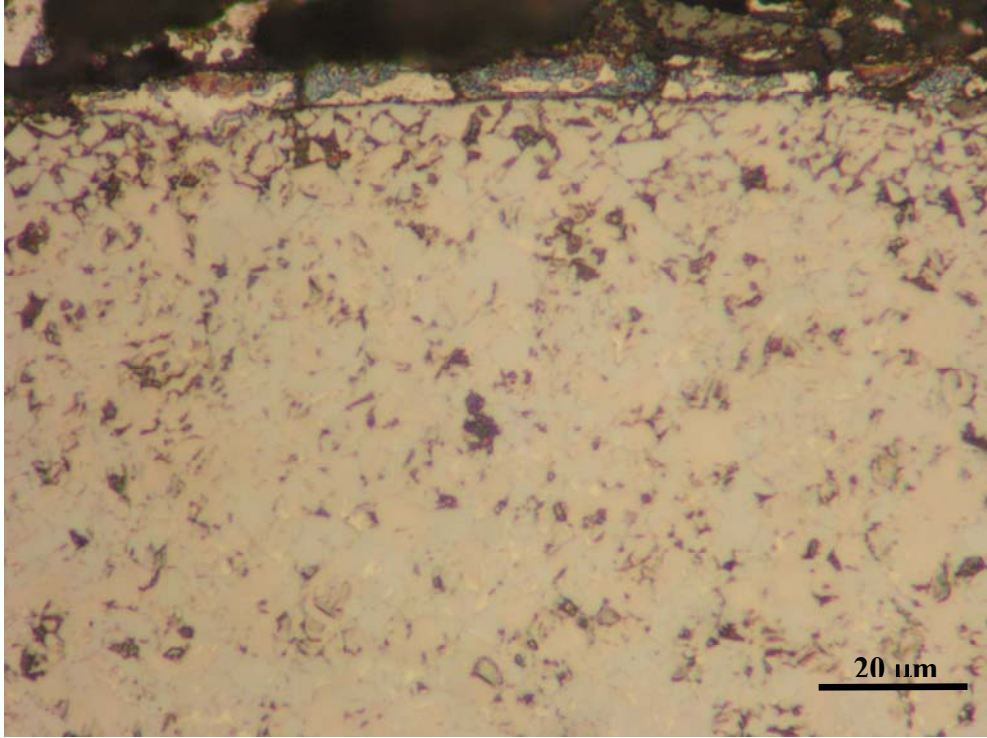


Şekil 6.9. 800°C sıcaklıkta 1 saat süre ile titanyumlanan P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin mikroyapısı

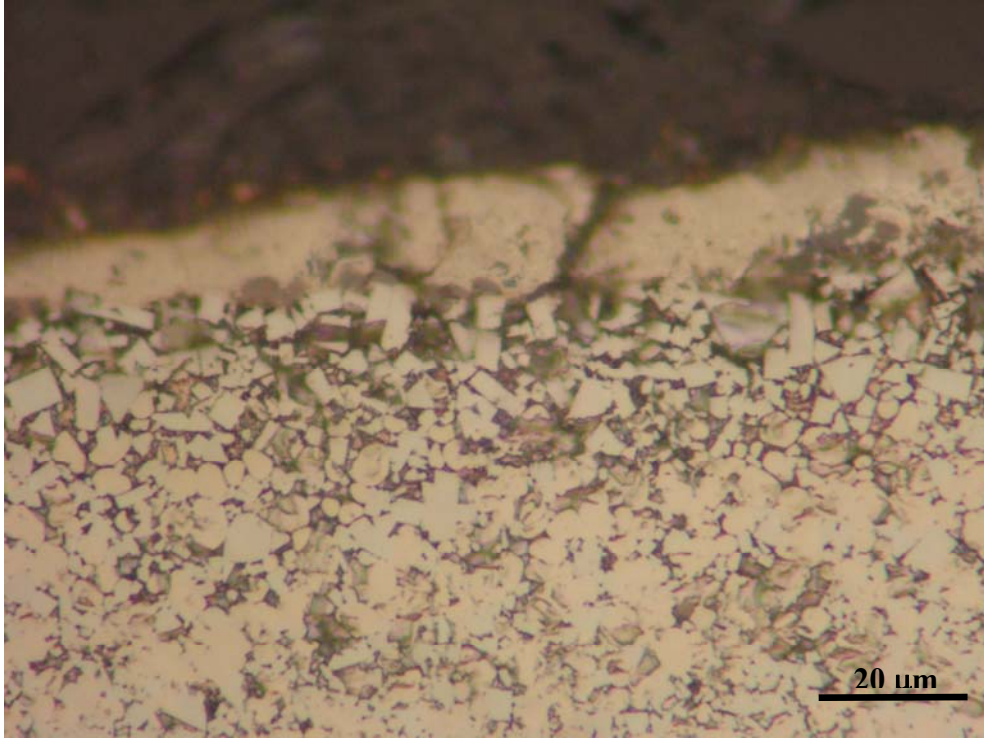




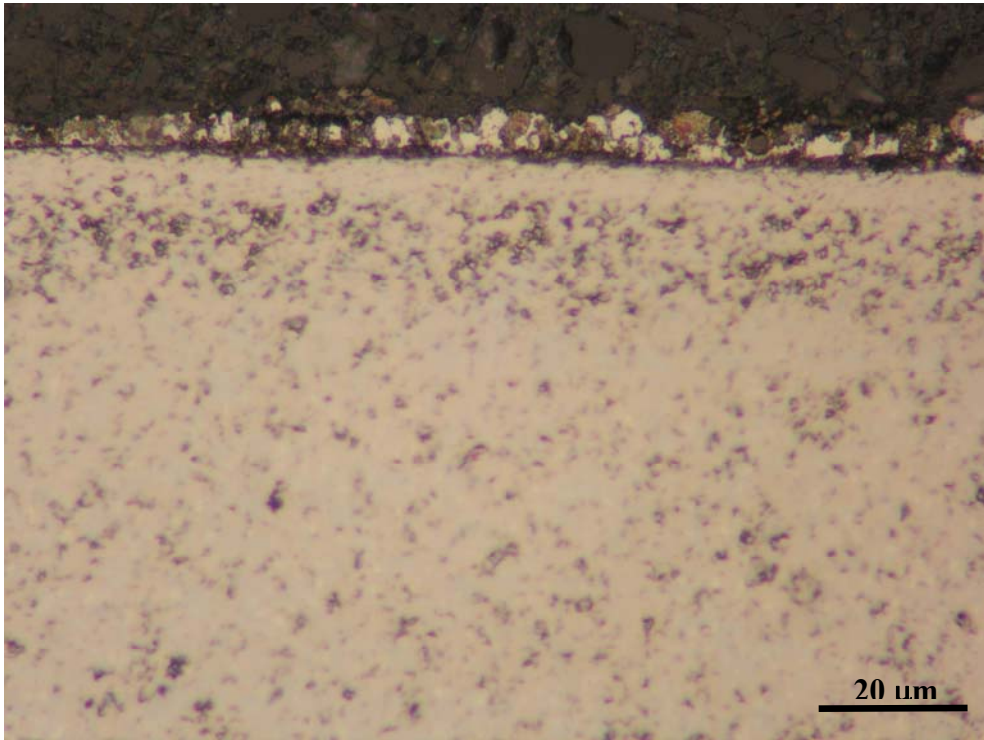
Şekil 6.10. 800°C sıcaklıkta 2 saat süre ile titanyumlanan P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin mikroyapısı



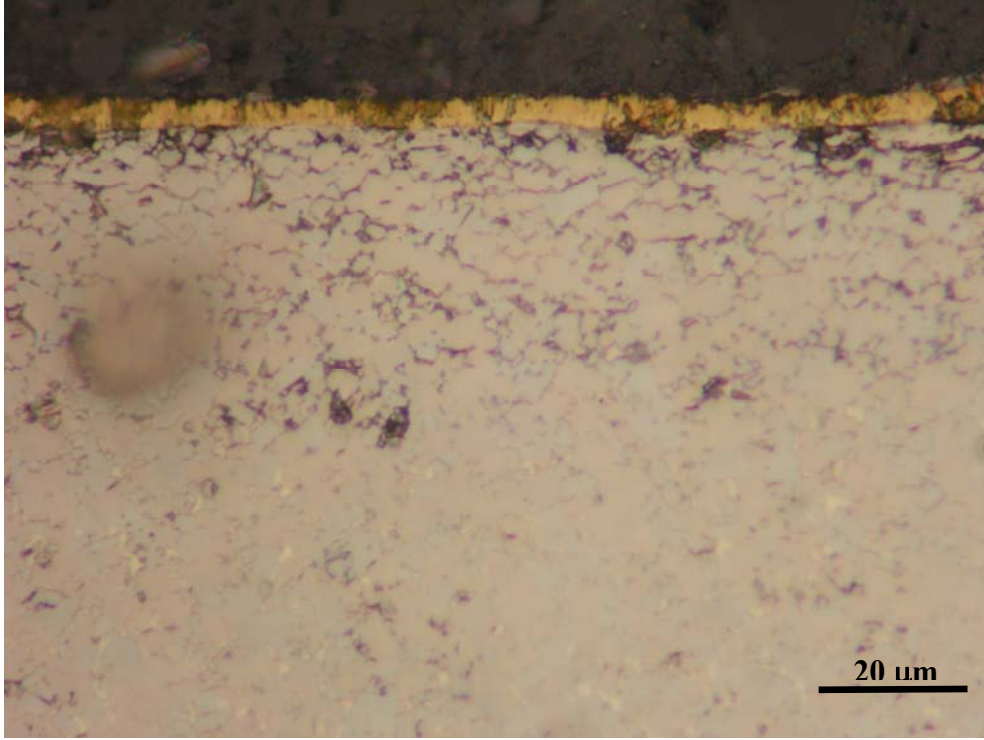
Şekil 6.11. 800°C sıcaklıkta 3 saat süre ile titanyumlanan P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin mikroyapısı



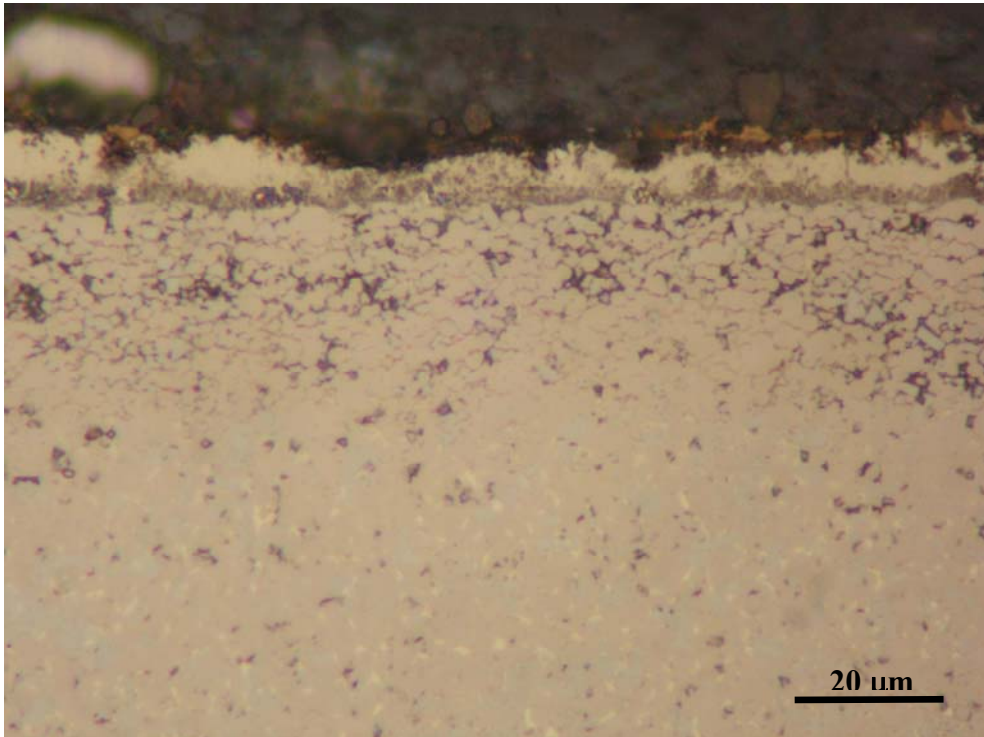
Şekil 6.12. 800°C sıcaklıkta 4 saat süre ile titanyumlanan P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin mikroyapısı



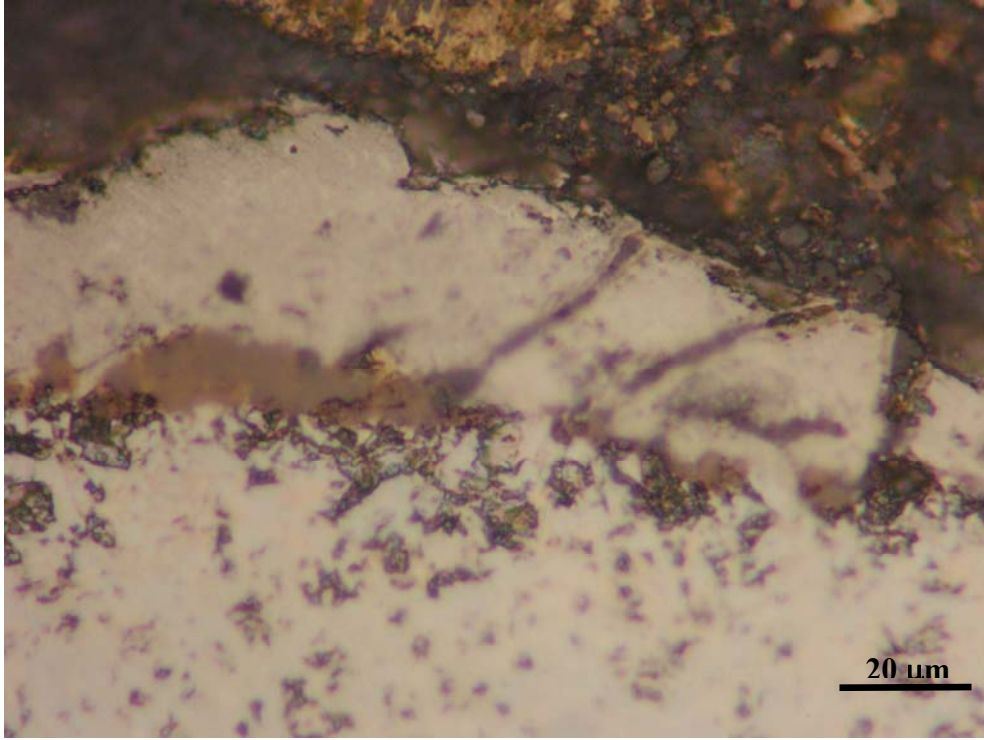
Şekil 6.13. 900°C sıcaklıkta 1 saat süre ile titanyumlanan P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin mikroyapısı



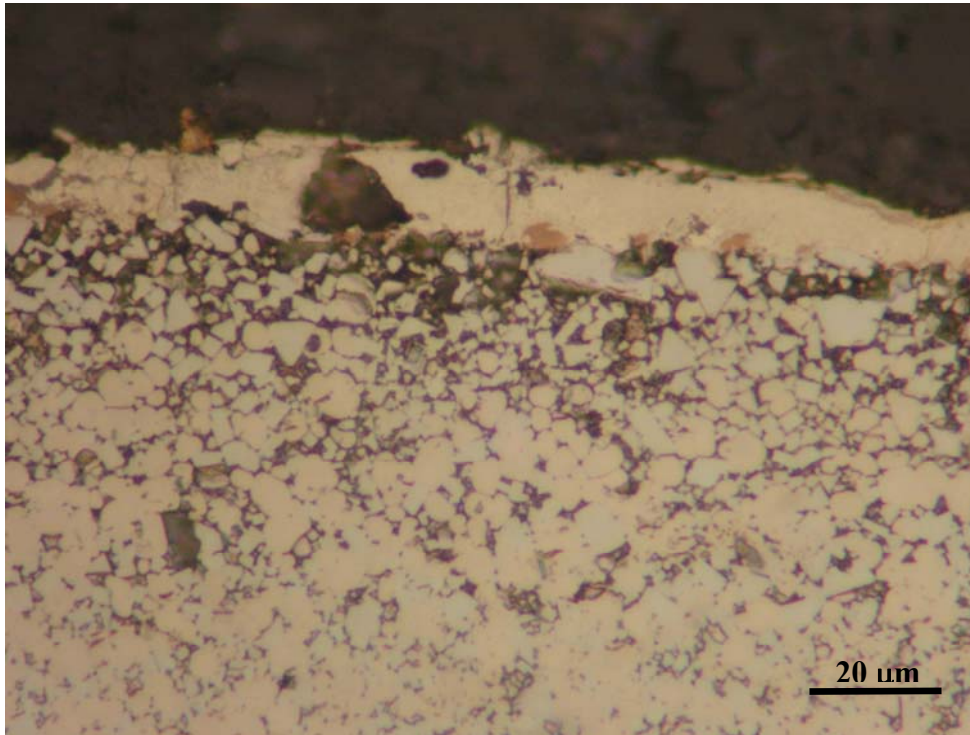
Şekil 6.14. 900°C sıcaklıkta 2 saat süre ile titanyumlanan P 15-20 WC-Co kesici takım numunesin mikroyapısı



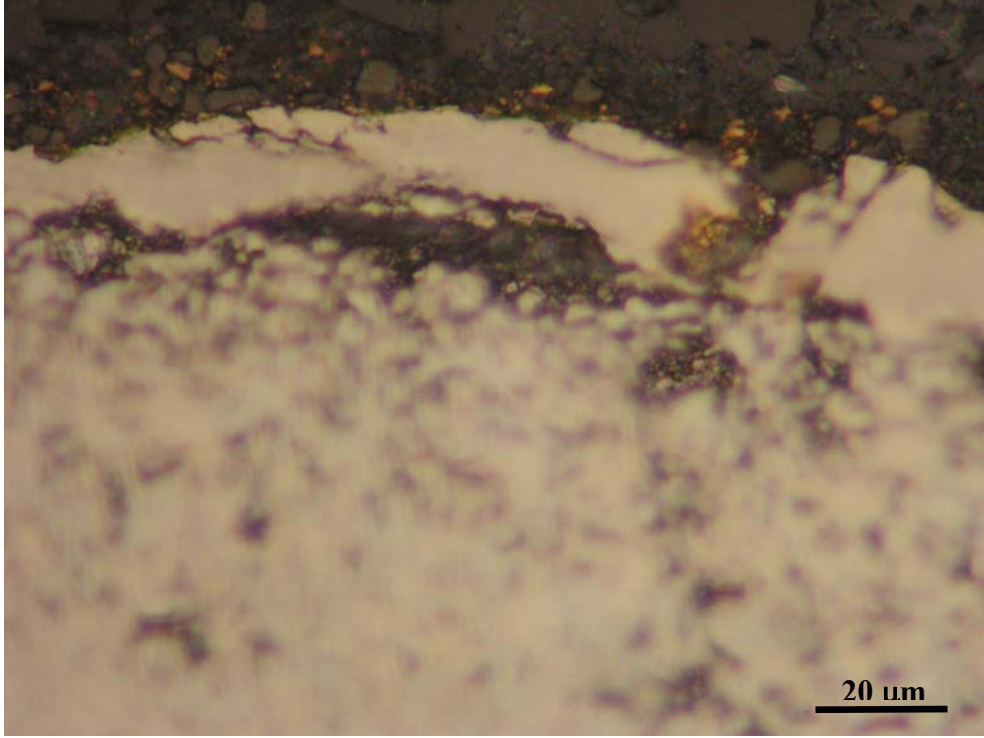
Şekil 6.15. 900°C sıcaklıkta 3 saat süre ile titanyumlanan P 15-20 WC-Co kesici takım numunesin mikroyapısı



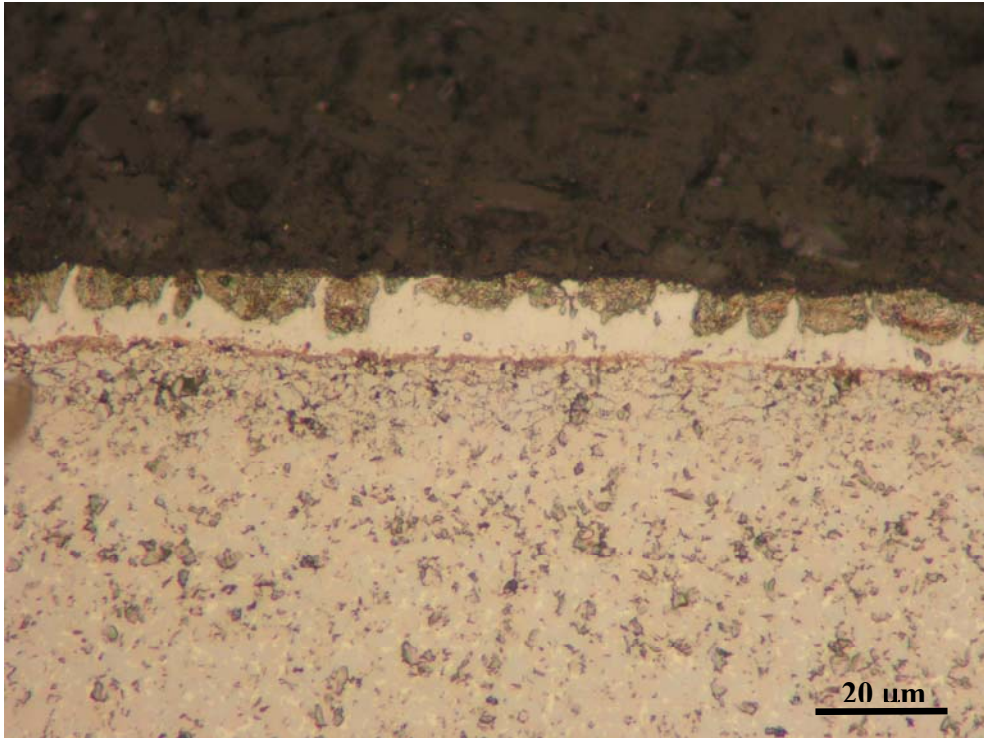
Şekil 6.16. 900°C sıcaklıkta 4 saat süre ile titanyumlanan P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin mikroyapısı



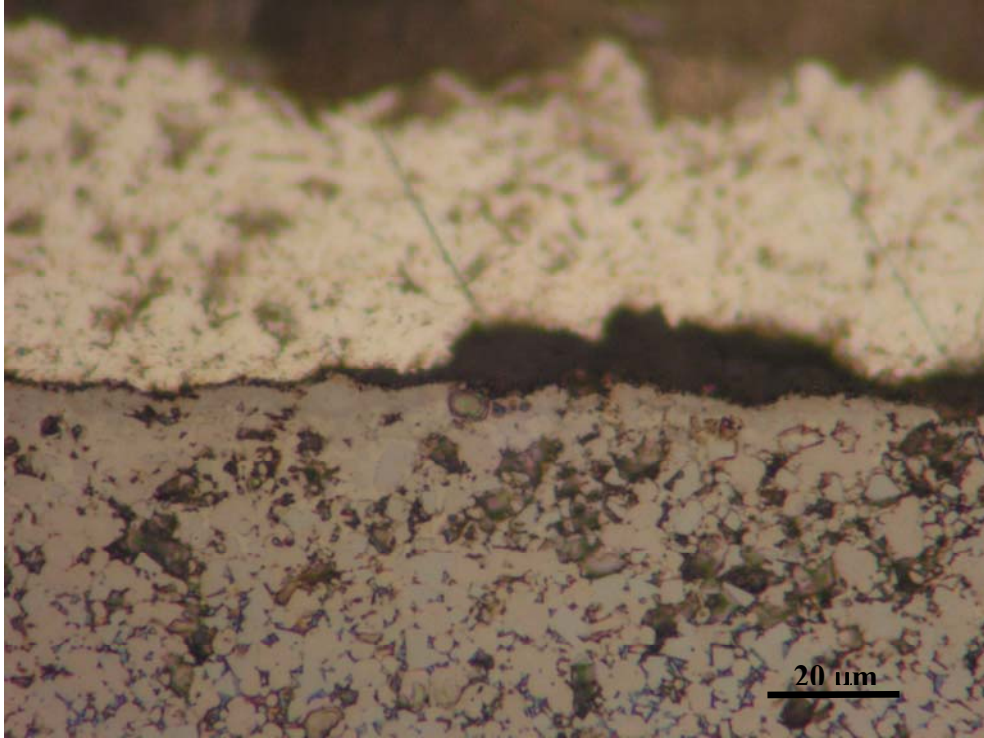
Şekil 6.17. 1000°C sıcaklıkta 1 saat süre ile titanyumlanan P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin mikroyapısı



Şekil 6.18. 1000°C sıcaklıkta 2 saat süre ile titanyumlanan P 15-20 WC-Co kesici takım numunesin mikroyapısı



Şekil 6.19. 1000°C sıcaklıkta 3 saat süre ile titanyumlanan P 15-20 WC-Co kesici takım numunesin mikroyapısı

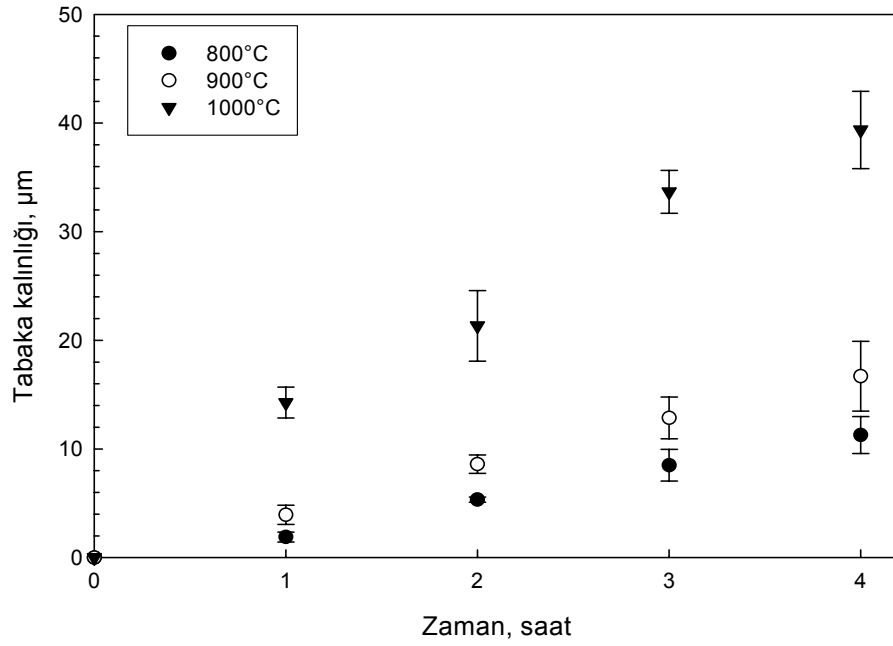


Şekil 6.20. 1000°C sıcaklıkta 4 saat süre ile titanyumlanan P 15-20 WC-Co kesici takım numunesin mikroyapısı

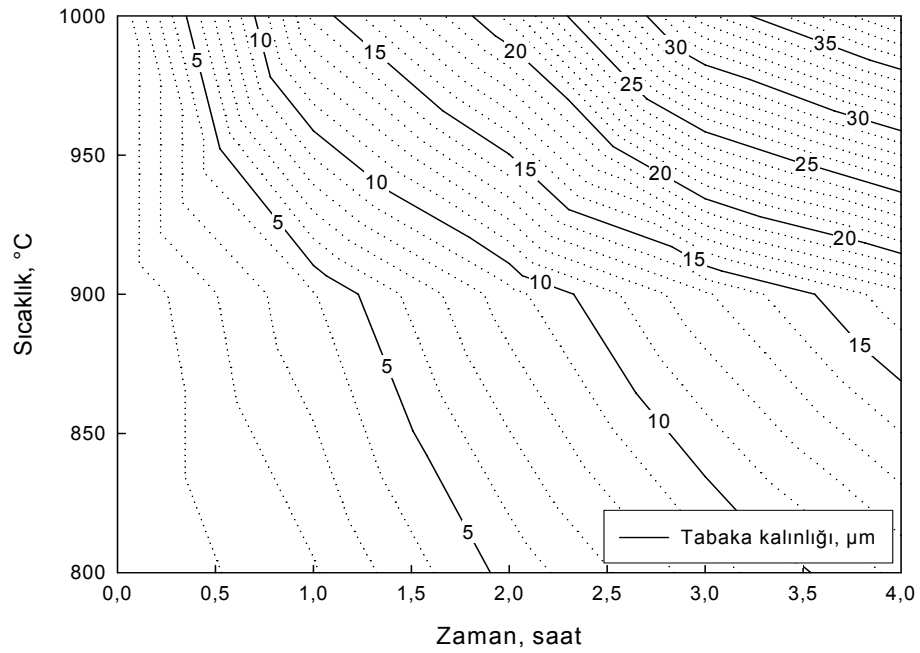
TiBCN kaplanmış ISO P15-20 Wc-Co numunesinin farklı bölgelerde yapılan incelemeler ve ölçümlerde, tabaka kalınlıklarının sıcaklık ve süreye bağlı olarak artış gösterdiği tespit edilmiştir. Bu özellik difüzyon kaplamalarında beklenen bir sonuçtur. Ayrıca matris içerisinde bulunan alaşım elementleride TiBCN tabaka kalınlığını etkilemektedir. Sıcaklığa ve zamana bağlı olarak oluşan tabaka kalınlıkları  $1,8877 \mu\text{m} \pm 0,0445$  ile  $39,3644 \mu\text{m} \pm 3,5637$  arasında değişmektedir. Şekil 6.21 ve Tablo 6.1.' de ISO P15-20 Wc-Co numunesinin tabaka kalınlıkları görülmektedir. Şekil 6.22.'de verilen kontur diyagramı sayesinde ISO P15-20 WC-Co numunesinde oluşacak TiBCN kaplamasını önceden tespit etmek mümkündür. AISI 1040 çeliği için tabaka kalınlıkları  $3,10 \mu\text{m} \pm 0,31$  ile  $7,56 \mu\text{m} \pm 0,31$  arasında değişmektedir. AISI M2 çeliği için tabaka kalınlıkları  $2,04 \mu\text{m} \pm 0,25$  ile  $6,12 \mu\text{m} \pm 0,40$  arasında değişmektedir [22].

Tablo 6.1. ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin kaplama süresi ve sıcaklığına bağlı olarak tabaka kalınlıkları

TiBCN Kaplama sıcaklığı (°C)	TiBCN kaplama süresi (saat)	Tabaka kalınlığı (µm)
800	1	1,8877±0,4450
	2	5,3328±0,2340
	3	8,4980±1,4600
	4	11,2764±1,7030
900	1	3,9341±0,8830
	2	8,5990±0,8450
	3	12,8559±1,9171
	4	16,6900±3,2156
1000	1	14,2700±1,4170
	2	21,3300±3,2490
	3	33,6685±1,9700
	4	39,3644±3,5637



Şekil 6.21. 800, 900, 1000°C sıcaklıkta TiBCN kaplama işlemine tabi tutulmuş ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin kaplama zamanına bağlı olarak tabaka kalınlığı değişimi

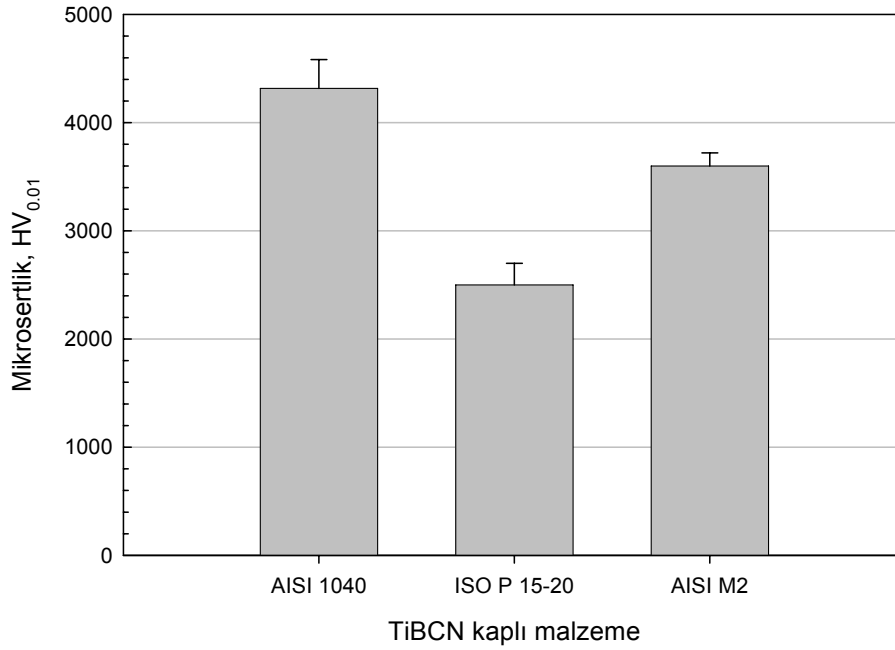


Şekil 6.22. TiBCN kaplama işlemine tabi tutulmuş ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin sıcaklığa ve bağlı olarak tabaka kalınlığı değişimi.

### 6.3. Sertlik ölçümleri

TiBCN kaplamaların gerçekleştirildiği AISI 1040, AISI M2 çeliklerinin ve ISO P 15-20 WC-Co esaslı kesici takım numunesinin kaplama yüzeylerinden FUTURE TECH FM 700 marka mikro sertlik cihazında Vickers sertlik ucu kullanılarak 10 gr yük altında yapılan mikrosertlik ölçümleri sonucunda elde edilen ortalama sertlik değerleri alınmış ve Şekil 6.23' de gösterilmiştir.



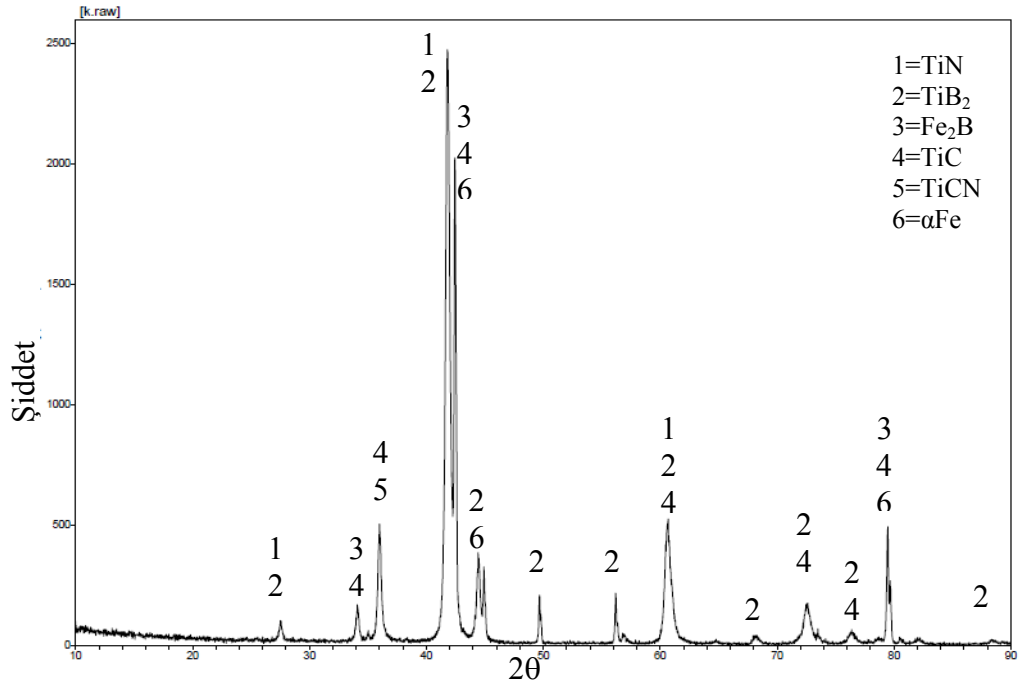


Şekil 6.23. Kaplama işlemine tabi tutulan numunelerin sertlikleri

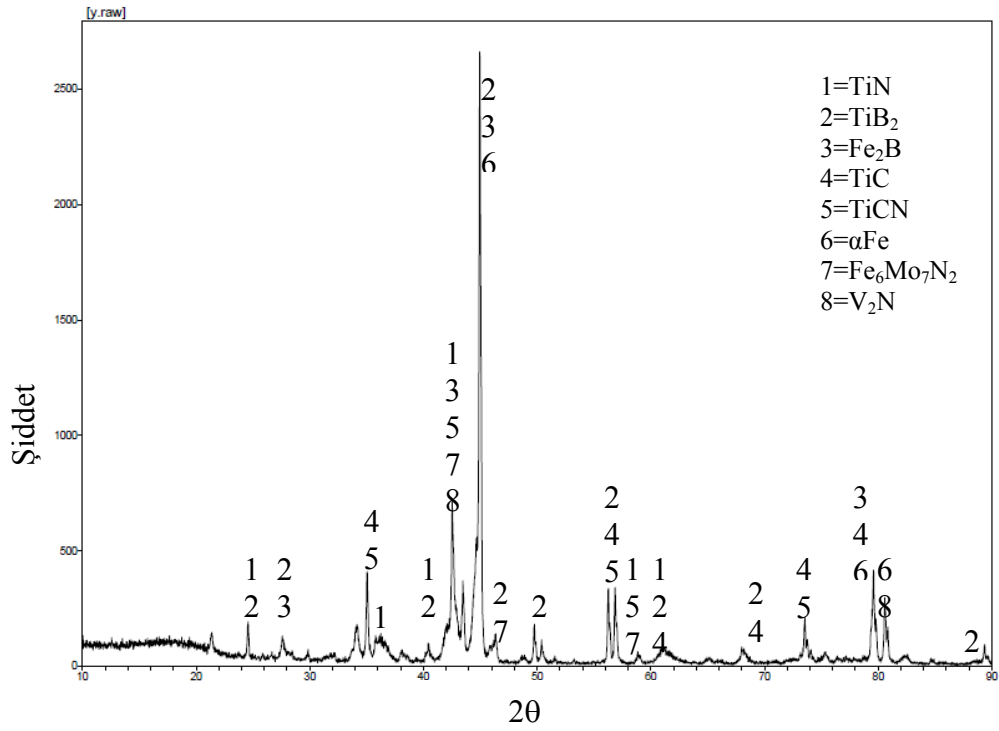
#### 6.4. X-Işınları Difraksiyon Analizi

Kaplama tabakalarının faz analizleri iki farklı numune üzerinde Cu  $K_{\alpha}$  ışını kullanılarak gerçekleştirilmiştir. X-ışınları difraksiyon paterni 900°C de kaplanan AISI 1040 ve 1000°C sıcaklıklarda 2 saat süre ile kaplanan AISI M2 ve P 15-20 üzerinde gerçekleştirilmiştir. İlgili X-ışınları difraksiyon paternleri Şekil 6.24-26'da sırasıyla görülmektedir.

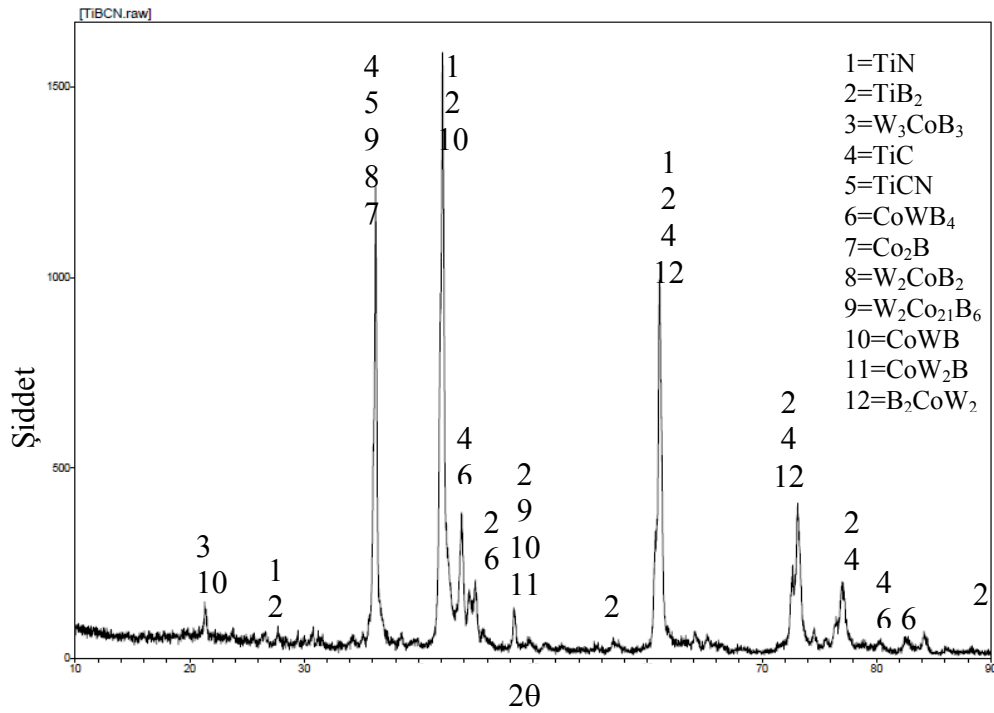
AISI 1040 çeliğinin kaplamasında TiN, TiBCN, TiB<sub>2</sub>, TiB, Fe<sub>2</sub>B, Fe fazları bulunmuştur. AISI M2 numunesinde TiN, TiBCN, TiB<sub>2</sub>, TiB, Fe<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>N<sub>2</sub>, V<sub>2</sub>N fazları bulunmuştur. ISO P 15-20 numunesinde TiN, TiBCN, TiB<sub>2</sub>, TiB, CoWB<sub>4</sub>, Co<sub>2</sub>B, W<sub>3</sub>CoB<sub>3</sub>, W<sub>2</sub>CoB<sub>2</sub>, W<sub>2</sub>Co<sub>21</sub>B<sub>6</sub>, CoWB, CoW<sub>2</sub>B, B<sub>2</sub>CoW<sub>2</sub> fazları bulunmuştur.



Şekil 6.24. 900°C'de 2 saat süre ile TiBCN kaplanan AISI 1040 numunesinin X-ışınları difraksiyon paterni.



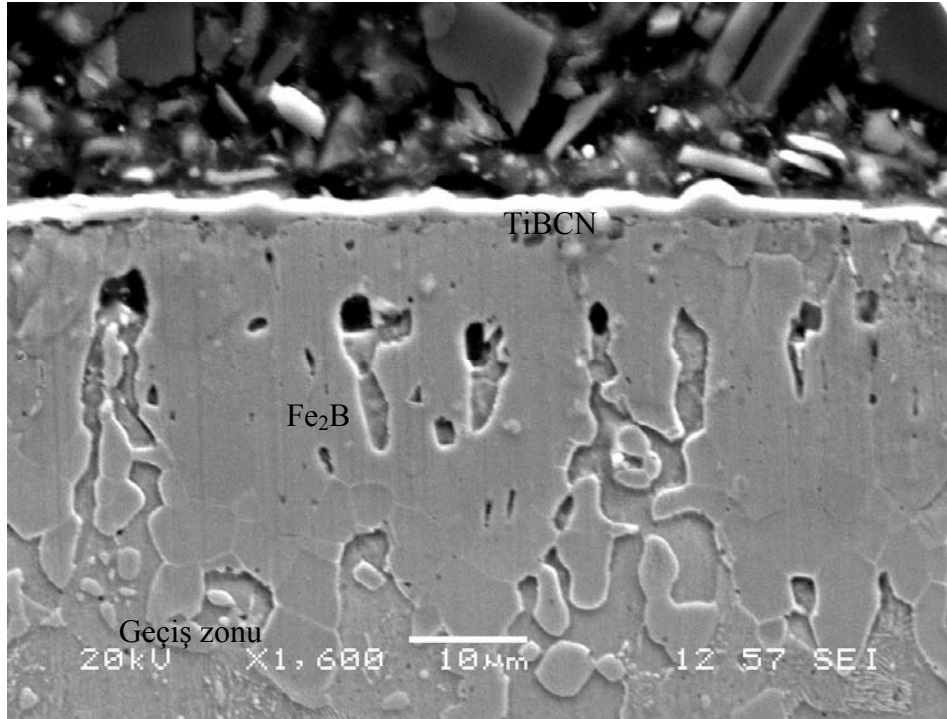
Şekil 6.25. 1000°C'de 2 saat süre ile TiBCN kaplanan AISI M2 numunesinin X-ışınları difraksiyon paterni



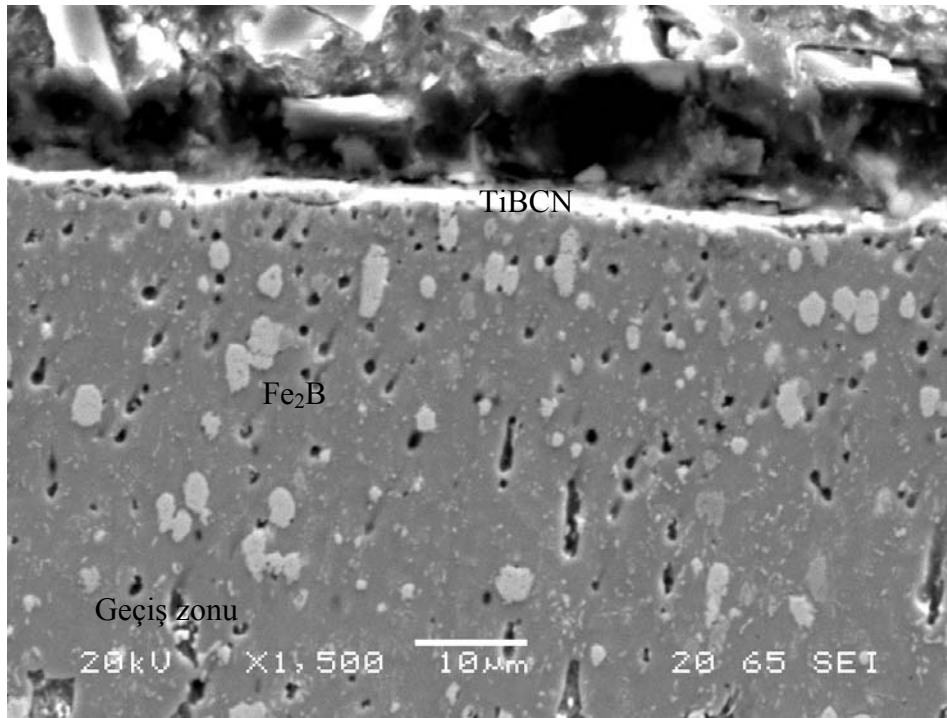
Şekil 6.26. 1000°C'de 2 saat süre ile TiBCN kaplanan P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin X-ışınları difraksiyon paterni

### 6.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Elementel Analiz İncelemesi

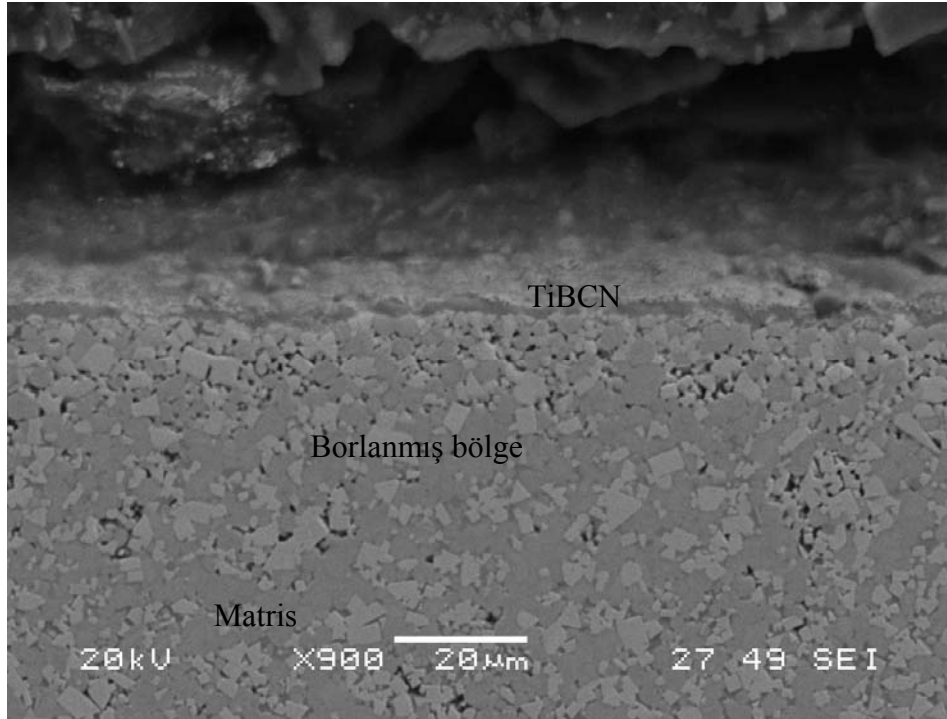
TiBCN kaplanmış AISI 1040, AISI M2 çelik numunelerinin ve P 15-20 WC-Co kesici takımının metalografik olarak incelenen yüzeylerinin mikroyapı görüntüleri, taramalı elektron mikroskobunda çeşitli büyütme ve 20 kV enerjide ikincil elektronlardan faydalanılarak elde edilmiştir. Kaplanan numuneler üzerinde lineer elementer analizleri ve kaplanan numunelerin bazı bölgelerinden noktasal analizler alınarak kaplama tabakası içerisinde bulunan elementler incelenmiştir.



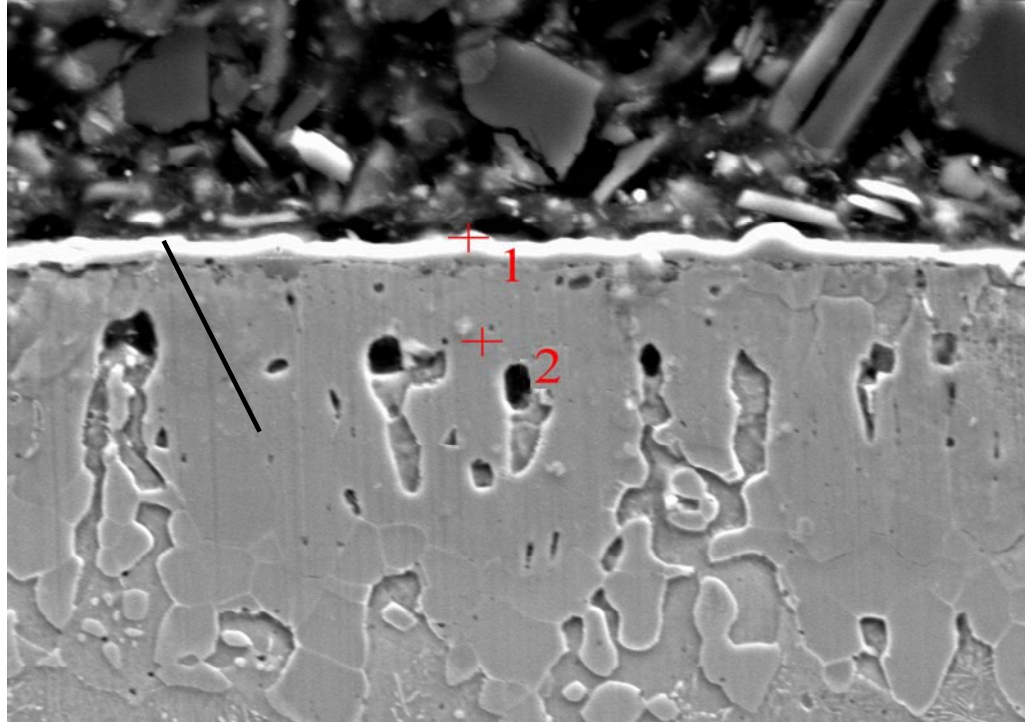
Şekil 6.27. 1000°C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiBCN kaplanan AISI 1040 numunesinin SEM mikrografi



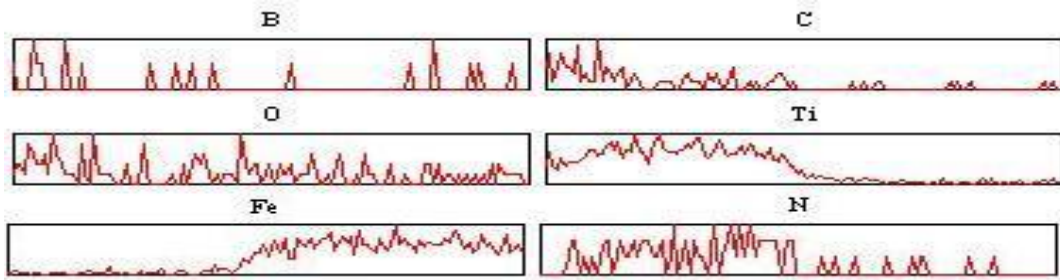
Şekil 6.28. 1000°C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiBCN kaplanan AISI M2 numunesinin SEM mikrografi



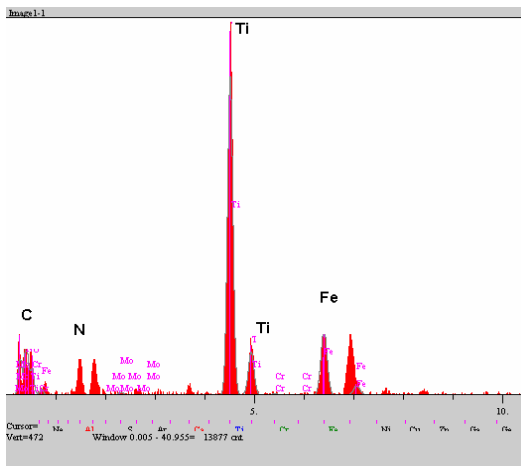
Şekil 6.29. 1000°C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiBCN kaplanan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin SEM mikrografi



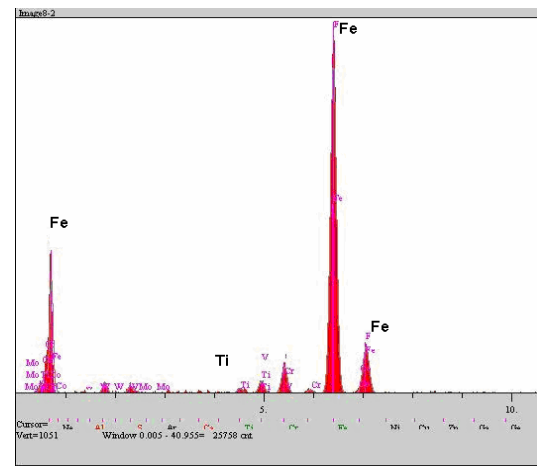
(a)



(b)

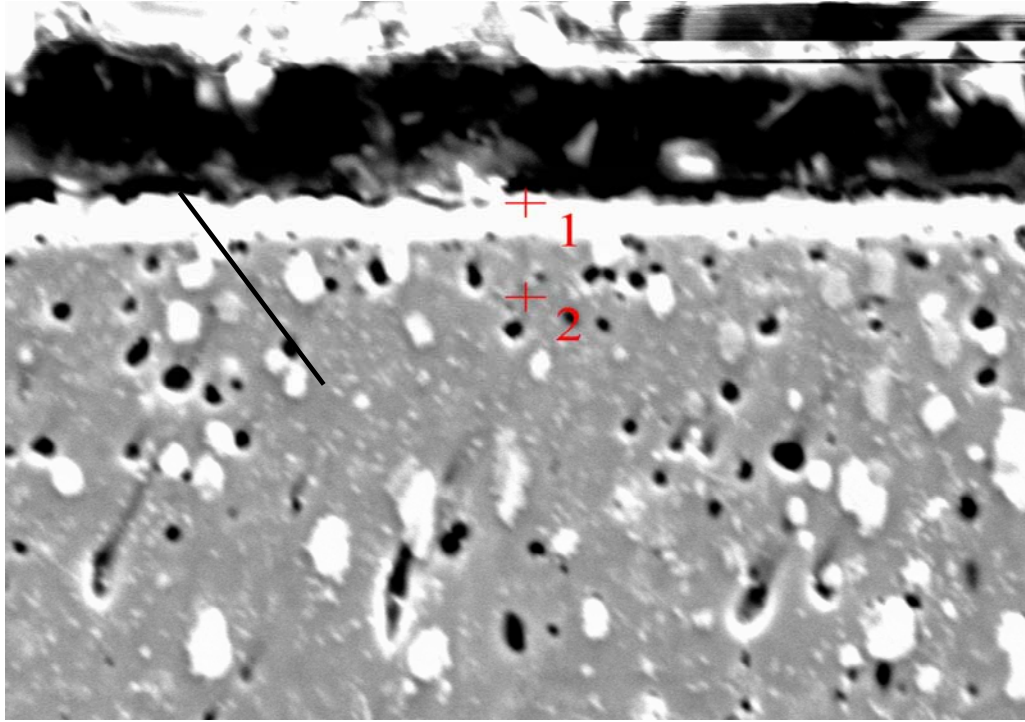


(c)

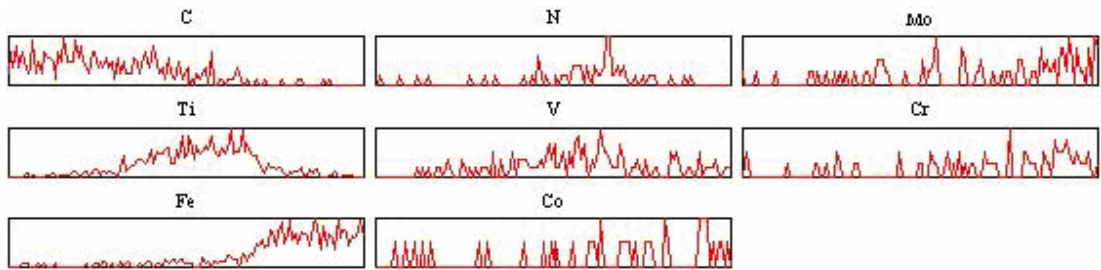


(d)

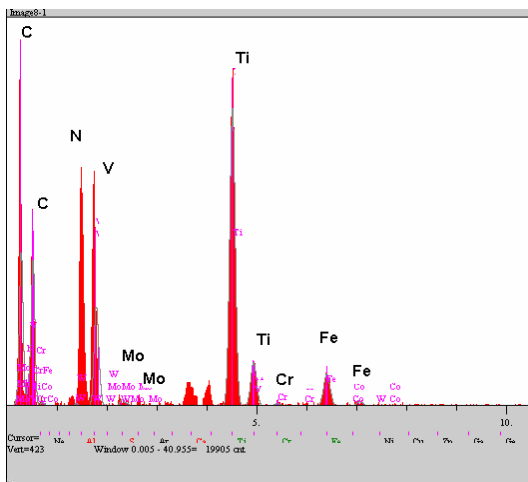
Şekil 6.30. 900°C'de 2 saat süre ile TiBCN kaplanan AISI 1040 çelik numunenin kaplama tabakasının (a) SEM mikroyapı görüntüsü üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) kaplama tabakasının (d) borlama tabakasının noktasal analiz diyagramı.



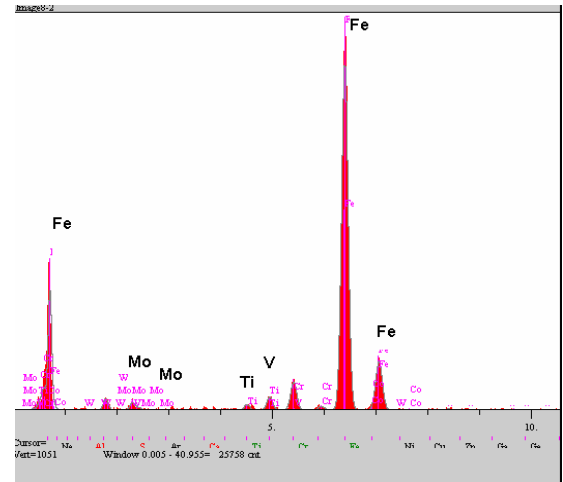
(a)



(b)

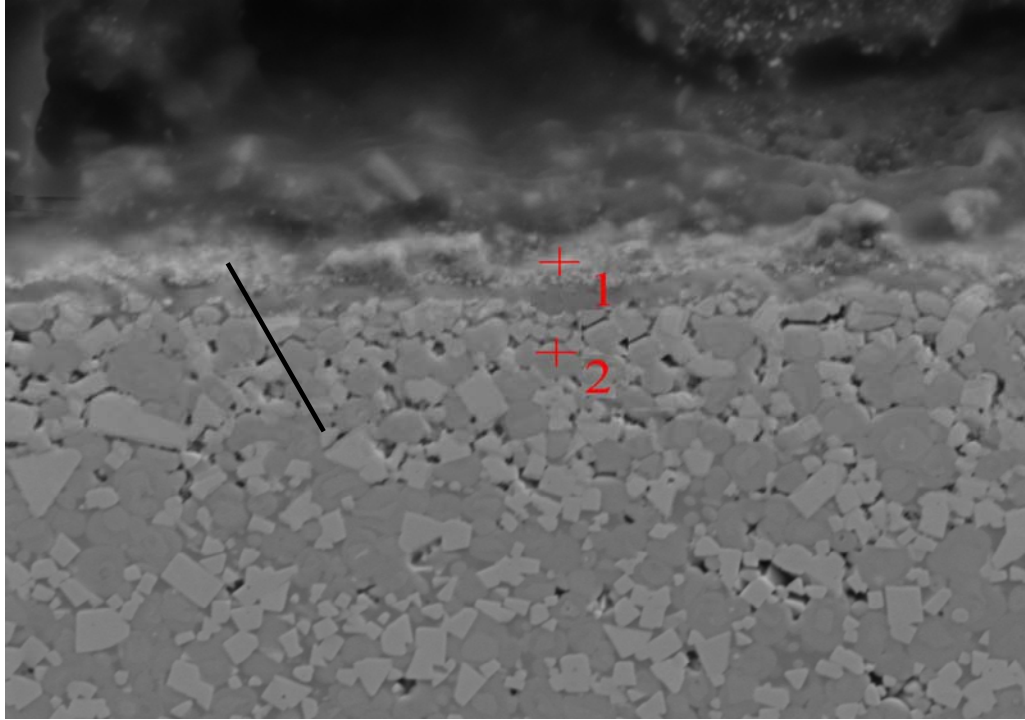


(c)

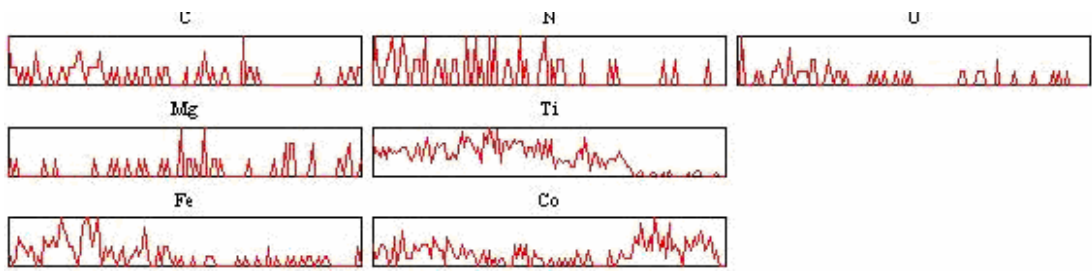


(d)

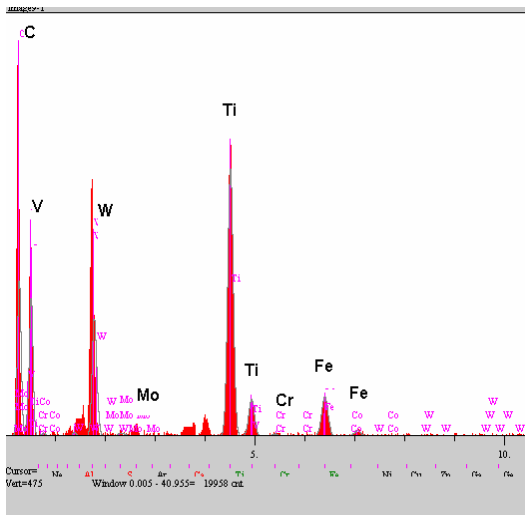
Şekil 6.31.1000°C'de 2 saat süre ile TiBCN kaplanan AISI M 2 çelik numunenin (a) SEM mikroyapı görüntüsü üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) kaplama tabakasının (d) borlama tabakasının noktasal analiz diyagramı.



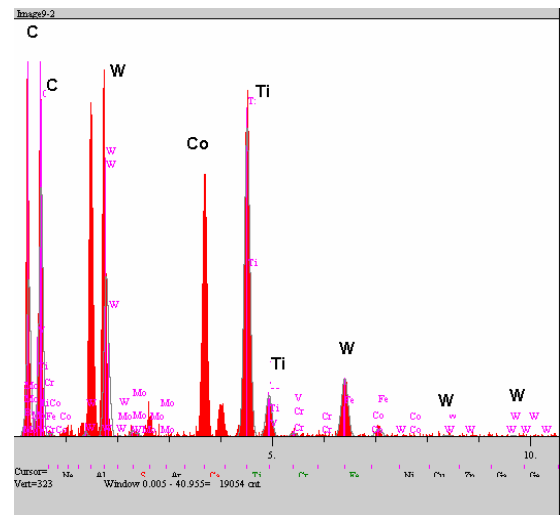
(a)



(b)



(c)



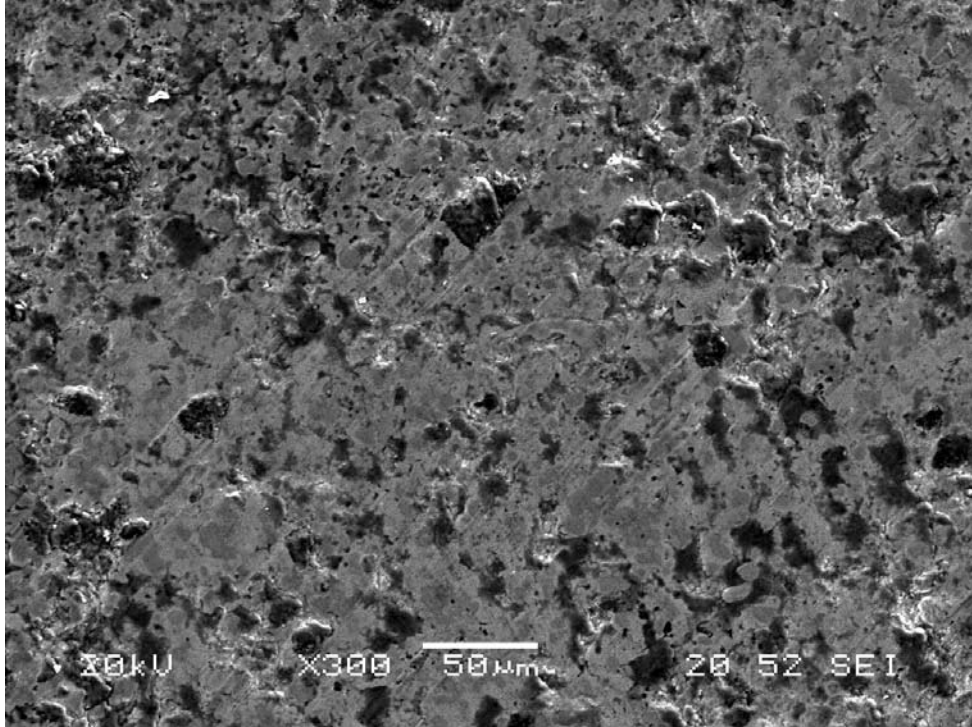
(d)

Şekil 6.32.1000°C'de 2 saat süre ile TiBCN kaplanan ISO P 15-20 numunenin (a) SEM mikroyapı görüntüsü üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) kaplama tabakasının (d) borlama tabakasının noktasal analiz diyagramı.

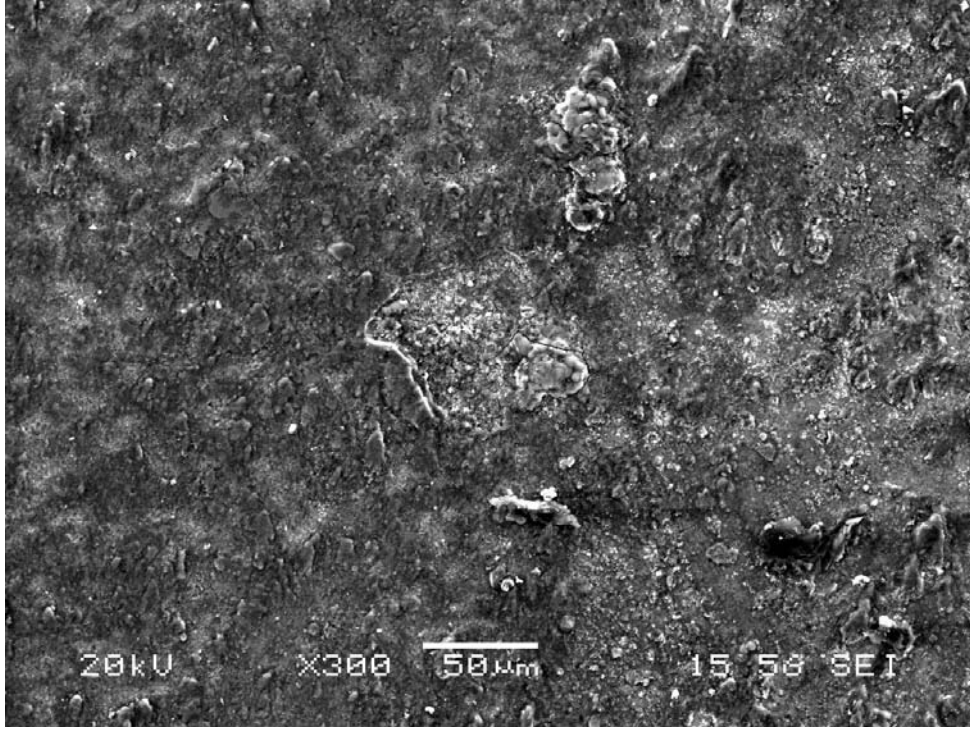


## 6.6. Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi

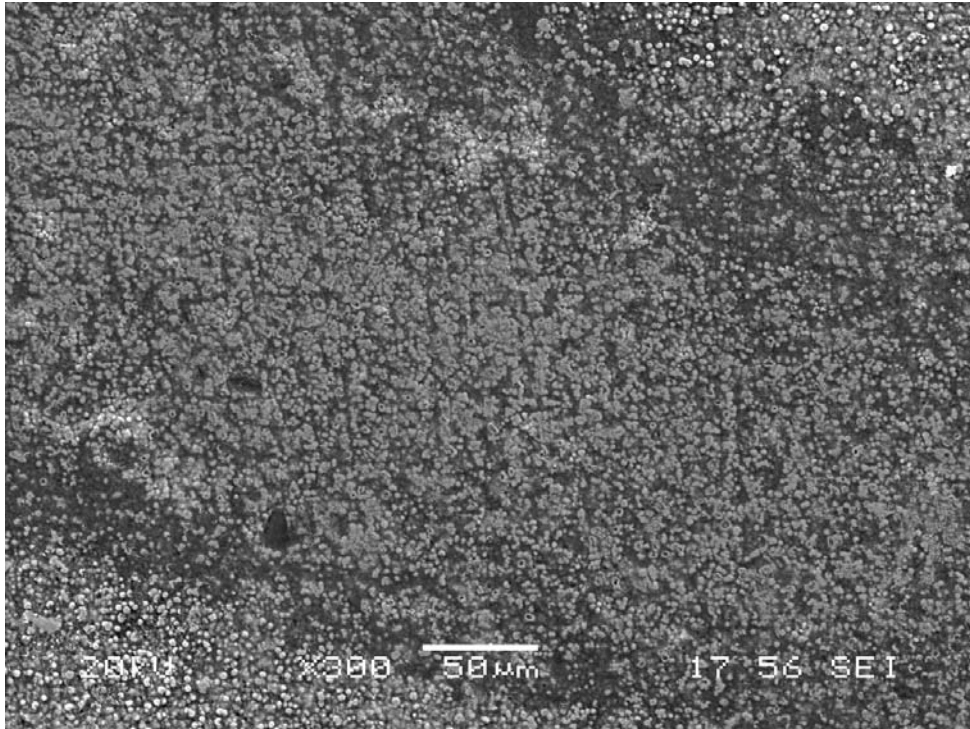
Aşınma deneyleri ASTM G-9 standardına uygun olan tribometre cihazında gerçekleştirilmiştir. Deneyler Ball-on-Disk metodu kullanılarak yapılmıştır. Deneylerde  $Al_2O_3$  ve AISI 440 C paslanmaz çelik bilye kullanılmıştır. Deneylerde numuneler; 0,1 m/s, 0,3 m/s, 0,5m/s hızlarda, 1N, 2N, 5N yük altında 80, 160, 240 ve 320 metre mesafede gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyindeki sürtünme katsayıları tribometre cihazına bağlı yük sensörleri ile bilgisayar ortamında elde edilmiştir. Aşınma deneyleri sonucunda oluşan aşınma izlerinin mikro yapıları NIKON EPIPHOT 200 marka optik mikroskop ile çekilmiştir. Aşınma izlerinin ölçümleri NIKON EPIPHOT 200 marka optik mikroskobun bünyesinde bulunan optik mikrometre ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca 2N yük altında 160 metre mesafede aşınan numunelerin SEM ve elementel analiz incelemeleri yapılmıştır. Aşınma deneyleri sonucunda aşındırıcı bilye ve kaplanmış numunelerin mikroyapıları Şekil 6.51-6.123'de görülmektedir.



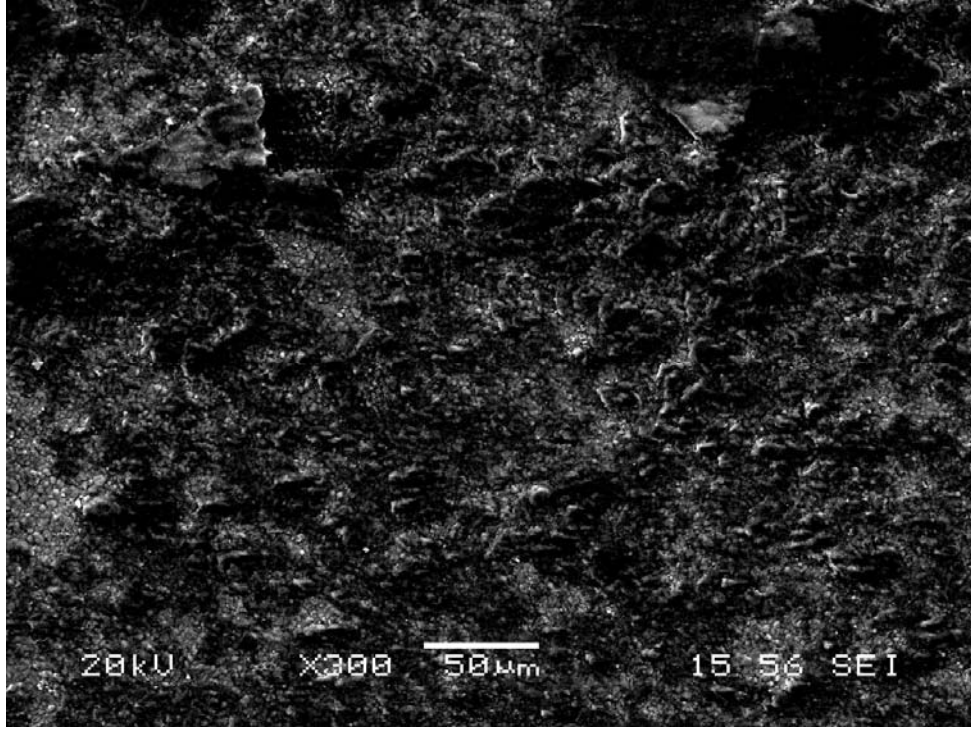
Şekil 6.33. 2N yük altında 0,1 m/s hızda 160 metre mesafede  $Al_2O_3$  bilye ile aşındırılan AISI 1040 çeliğinin SEM mikrografi



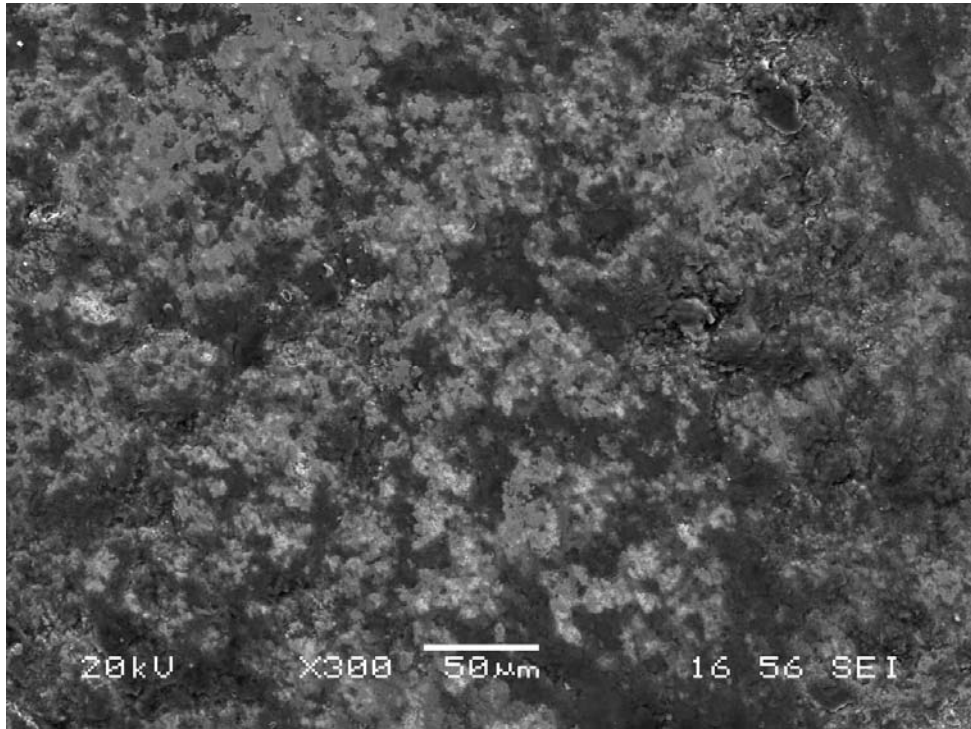
Şekil 6.34. 2N yük altında 0,1 m/s hızda 160 metre mesafede AISI 440 C bilye ile aşındırılan AISI 1040 çeliğinin SEM mikrografi



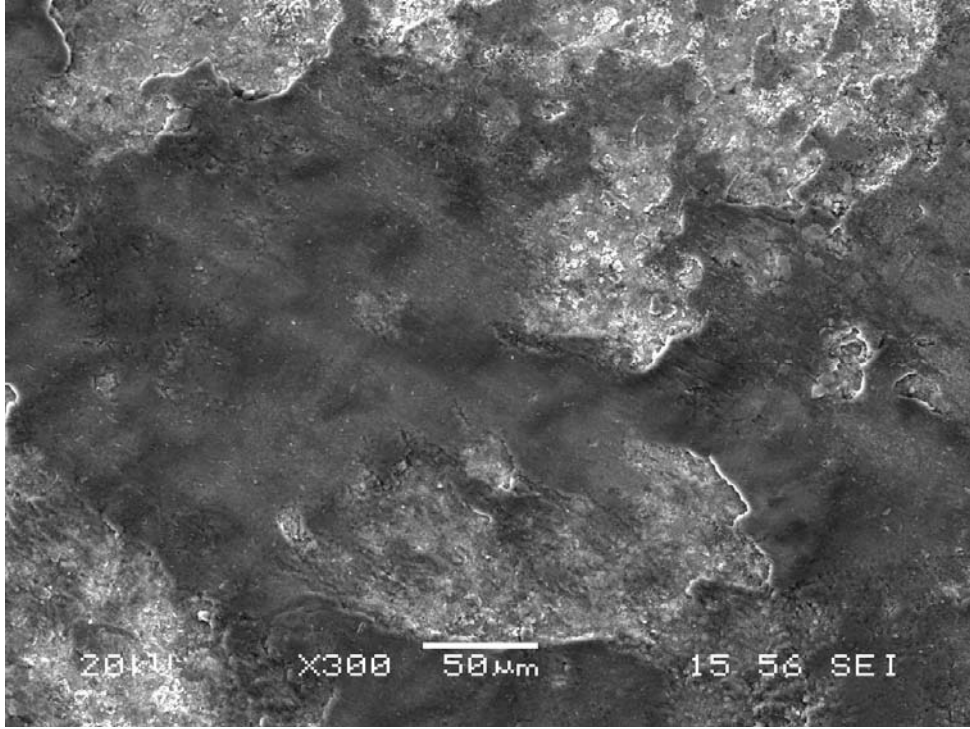
Şekil 6.35. 2N yük altında 0,1 m/s hızda 160 metre mesafede Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye ile aşındırılan AISI M2 çeliğinin SEM mikrografi



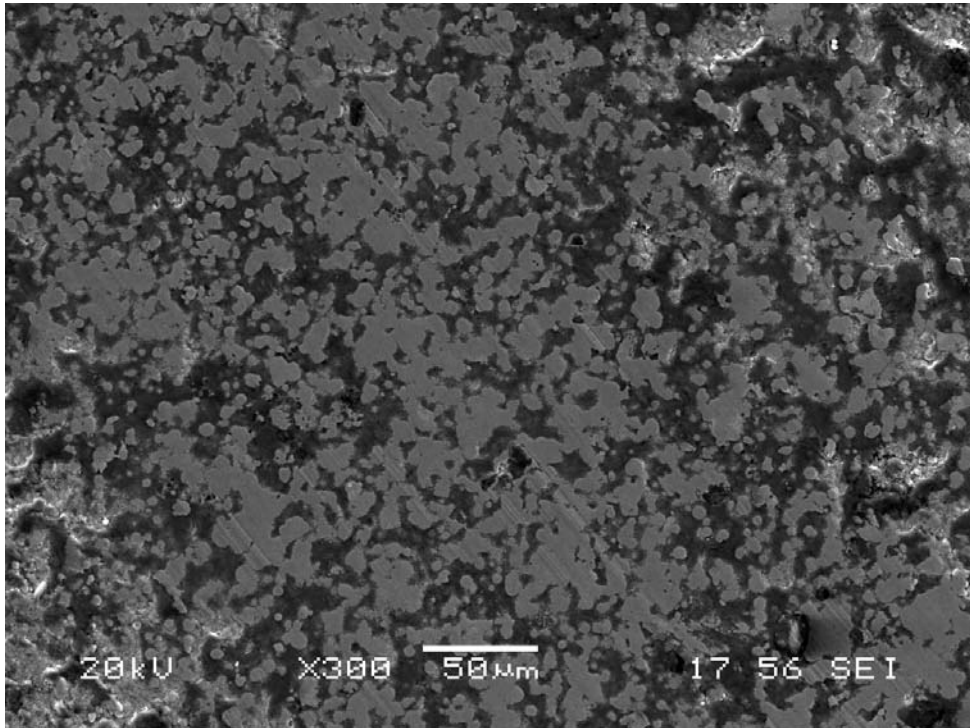
Şekil 6.36. 2N yük altında 0,1 m/s hızda 160 metre mesafede AISI 440 C bilye ile aşındırılan AISI M2 çeliğinin SEM mikrografi



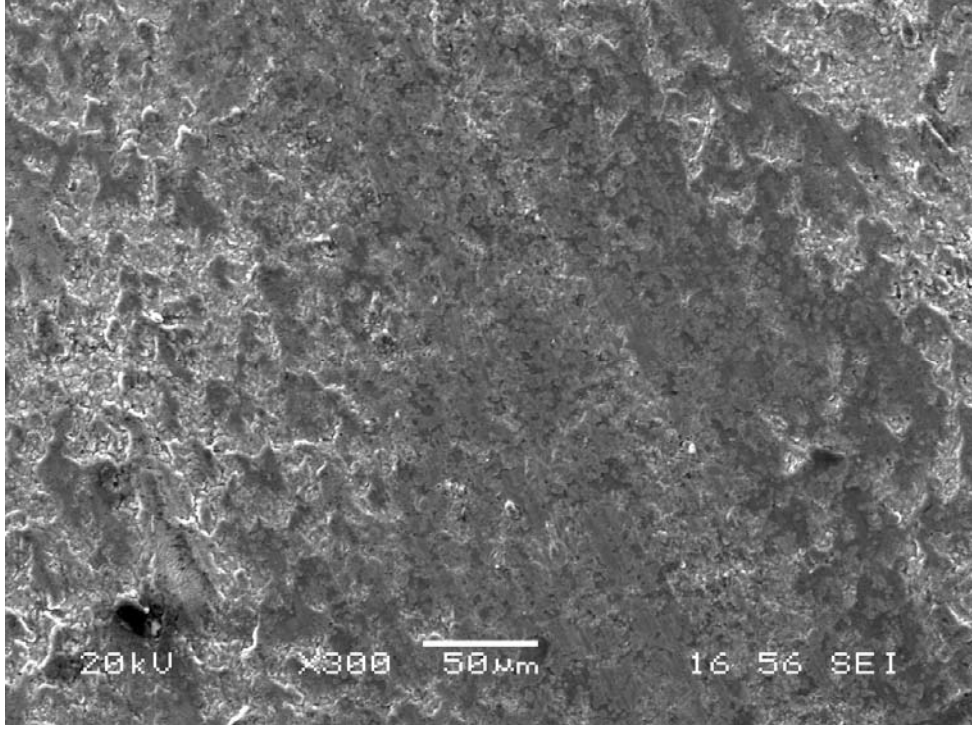
Şekil 6.37. 2N yük altında 0,1 m/s hızda 160 metre mesafede Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye ile aşındırılan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin SEM mikrografi



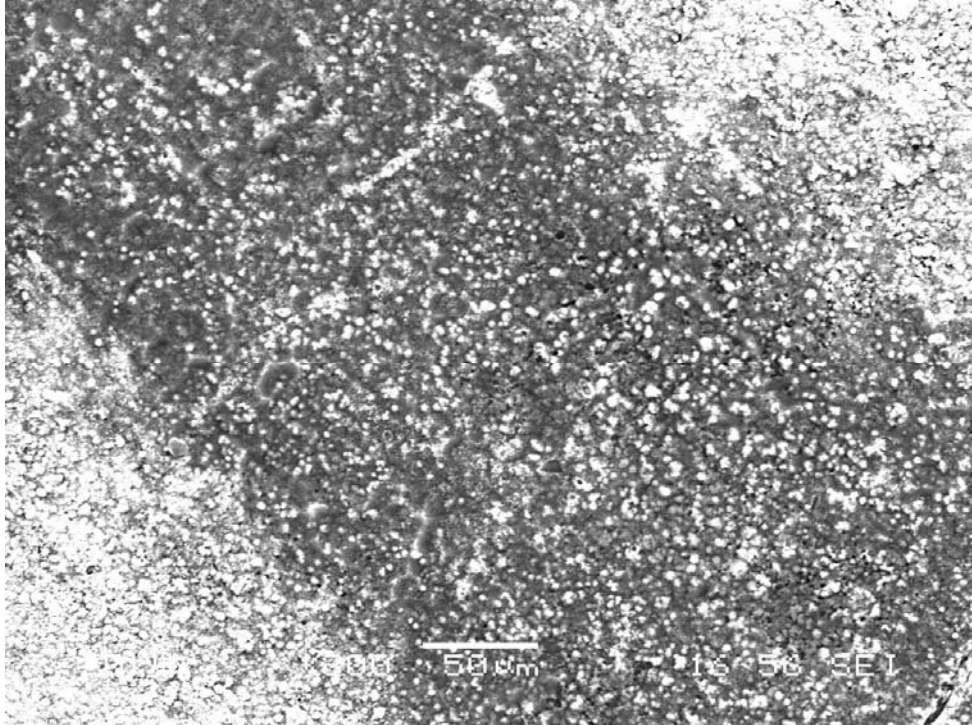
Şekil 6.38. 2N yük altında 0,1 m/s hızda 160 metre mesafede AISI 440 C bilye ile aşındırılan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin SEM mikrografi



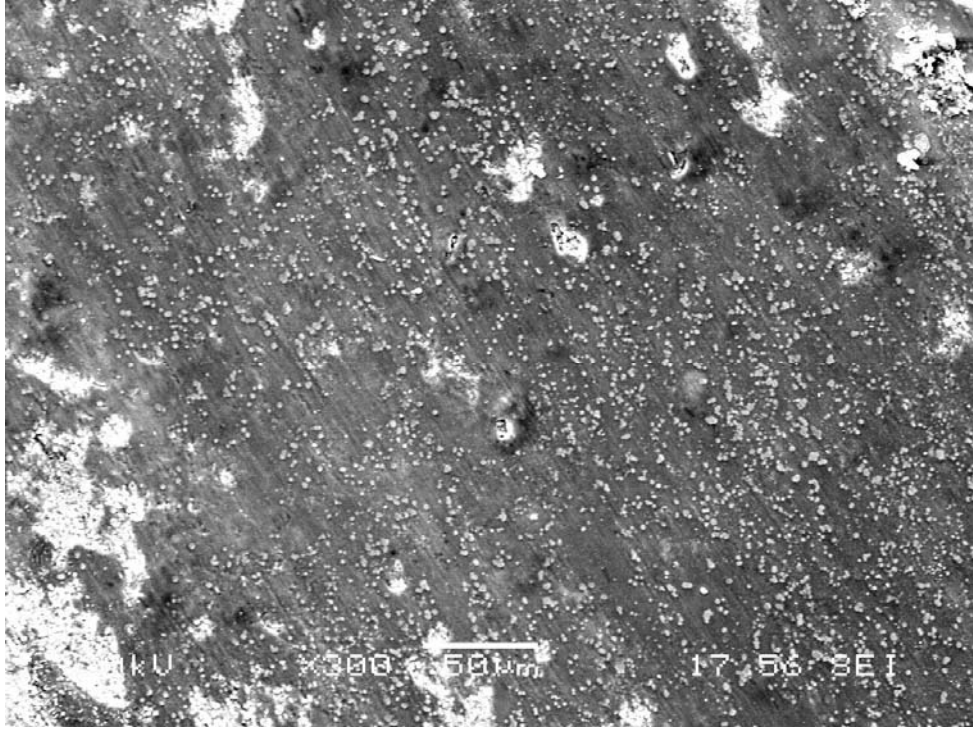
Şekil 6.39. 2N yük altında 0,3 m/s hızda 160 metre mesafede Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye ile aşındırılan AISI 1040 çeliğinin SEM mikrografi



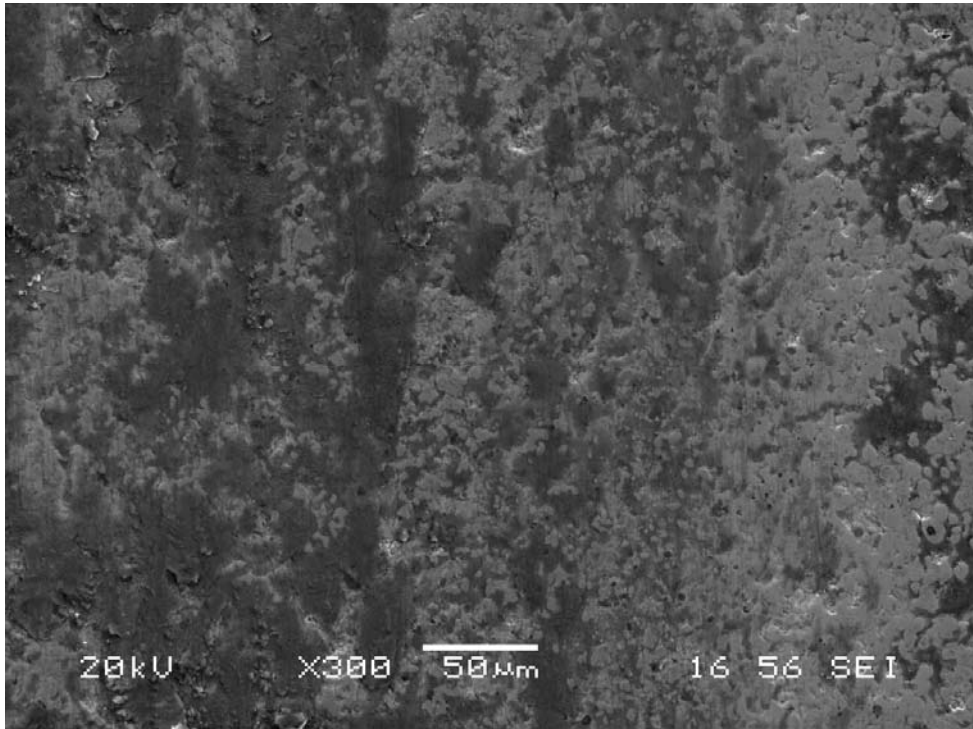
Şekil 6.40. 2N yük altında 0,3 m/s hızda 160 metre mesafede AISI 440 C bilye ile aşındırılan AISI 1040 çeliğinin SEM mikrografi



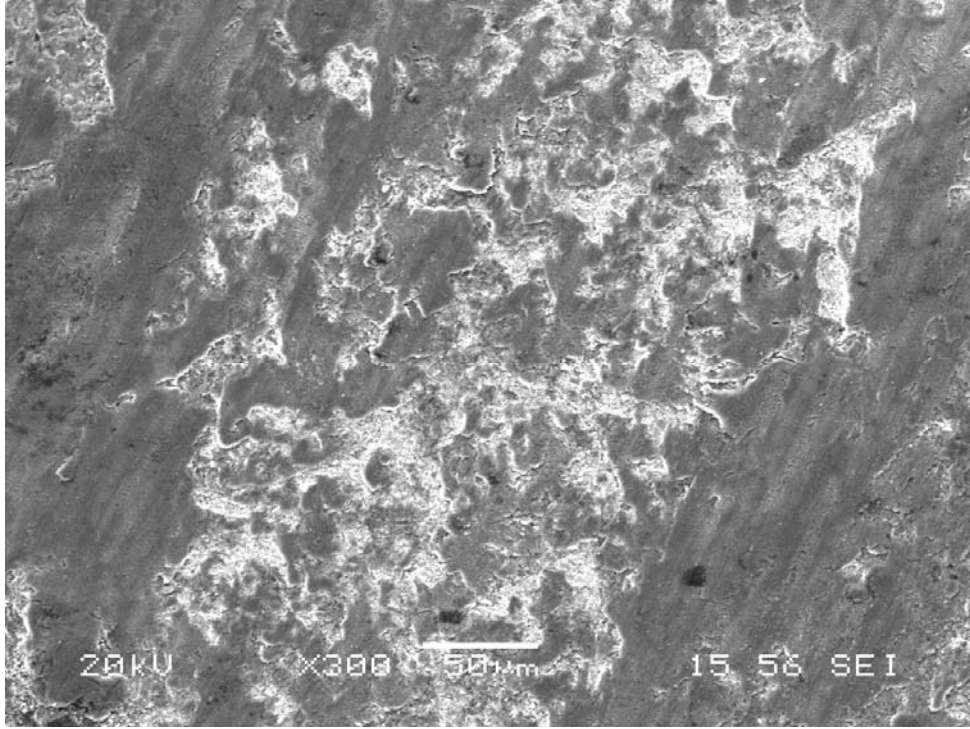
Şekil 6.41. 2N yük altında 0,3 m/s hızda 160 metre mesafede Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye ile aşındırılan AISI M2 çeliğinin SEM mikrografi



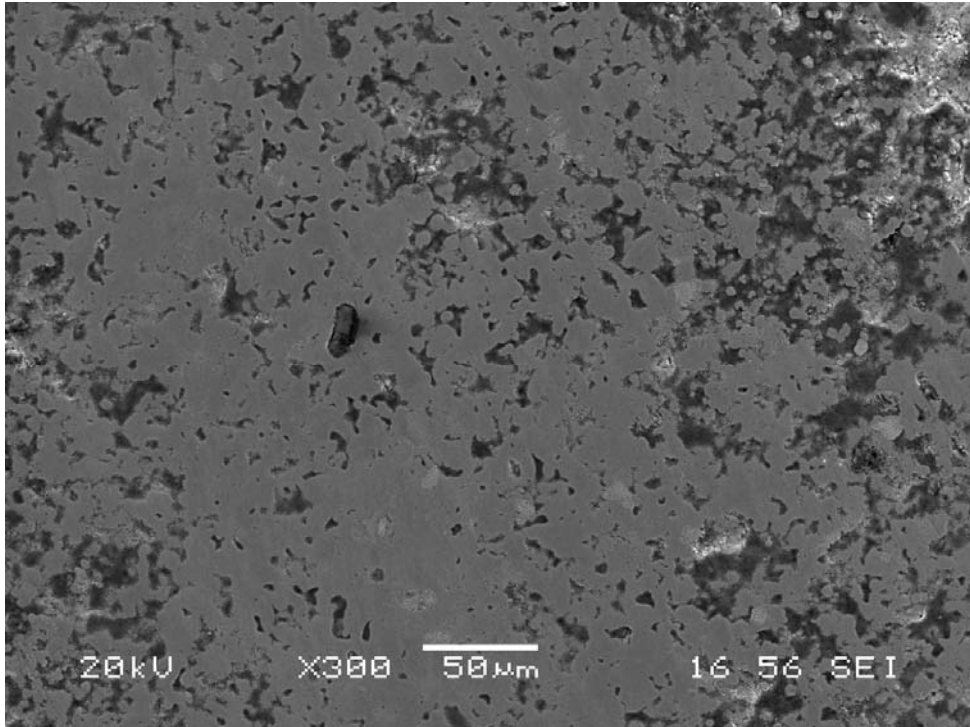
Şekil 6.42. 2N yük altında 0,3 m/s hızda 160 metre mesafede AISI 440 C bilye ile aşındırılan AISI M2 çeliğinin SEM mikrografi



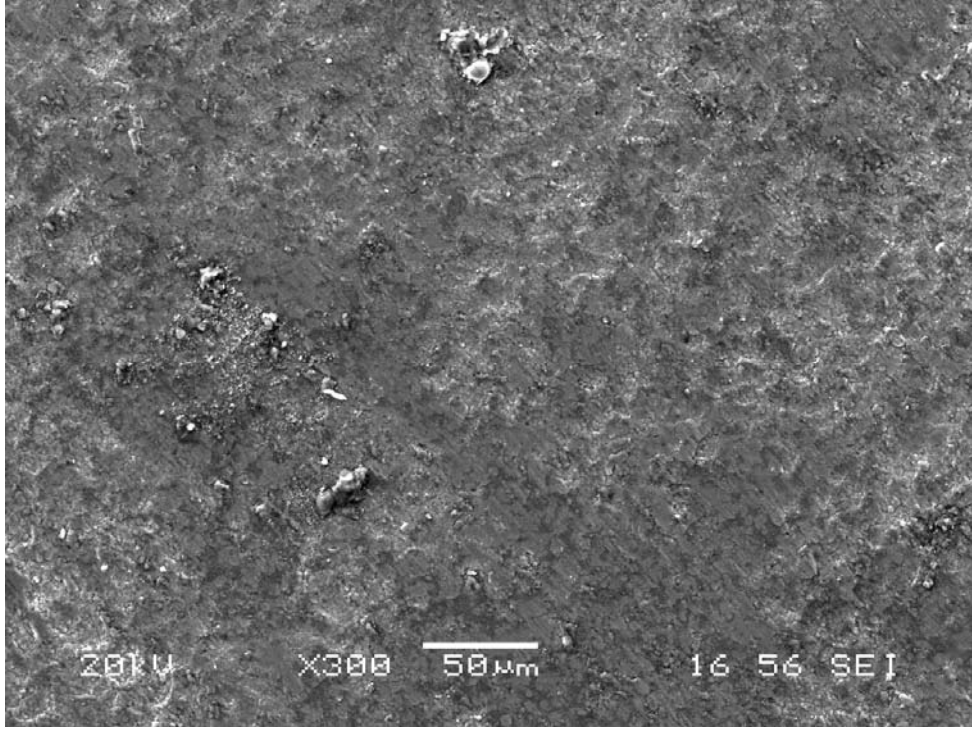
Şekil 6.43. 2N yük altında 0,3 m/s hızda 160 metre mesafede Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye ile aşındırılan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesini SEM mikrografi



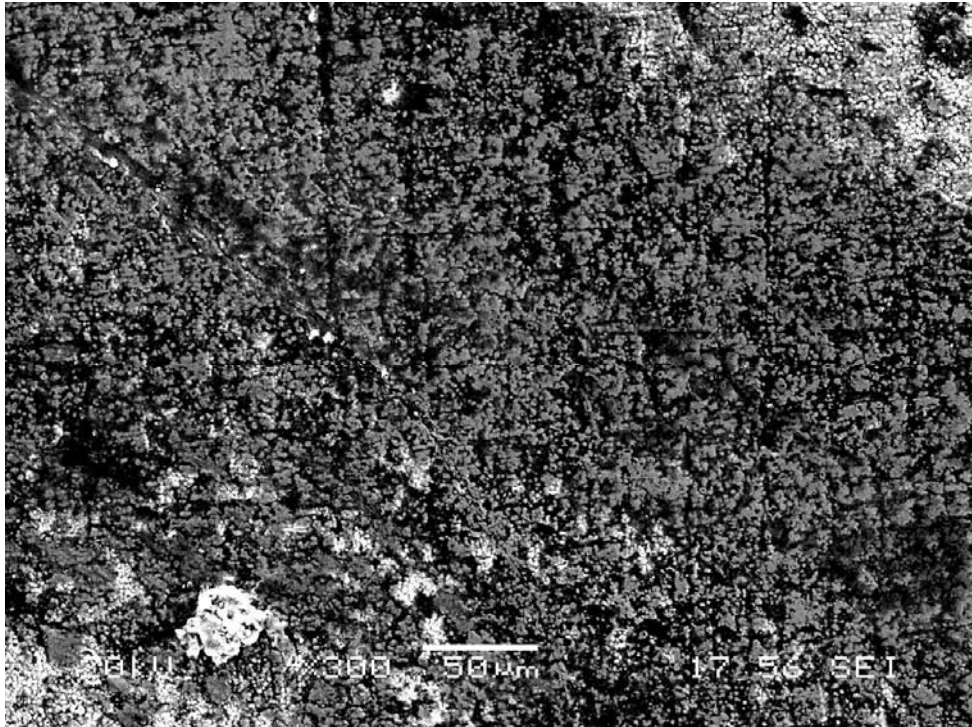
Şekil 6.44. 2N yük altında 0,3 m/s hızda 160 metre mesafede AISI 440 C bilye ile aşındırılan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin SEM mikrografı



Şekil 6.45. 2N yük altında 0,5 m/s hızda 160 metre mesafede  $Al_2O_3$  bilye ile aşındırılan AISI 1040 çeliğinin SEM mikrografı

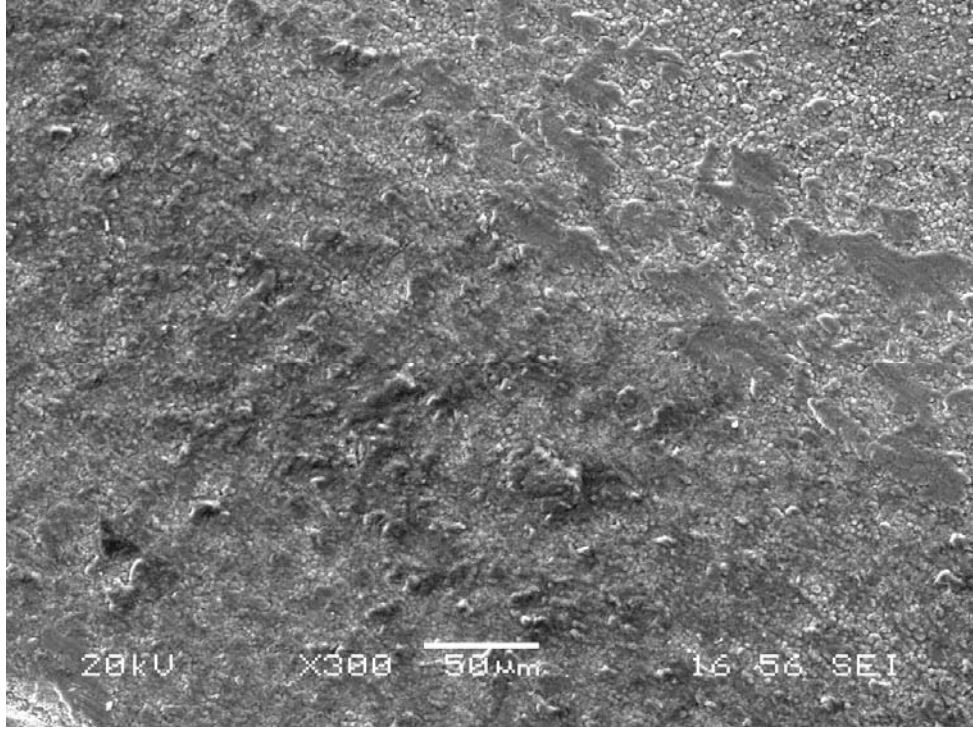


Şekil 6.46. 2N yük altında 0,5 m/s hızda 160 metre mesafede AISI 440 C bilye ile aşındırılan AISI 1040 çeliğinin SEM mikrografi

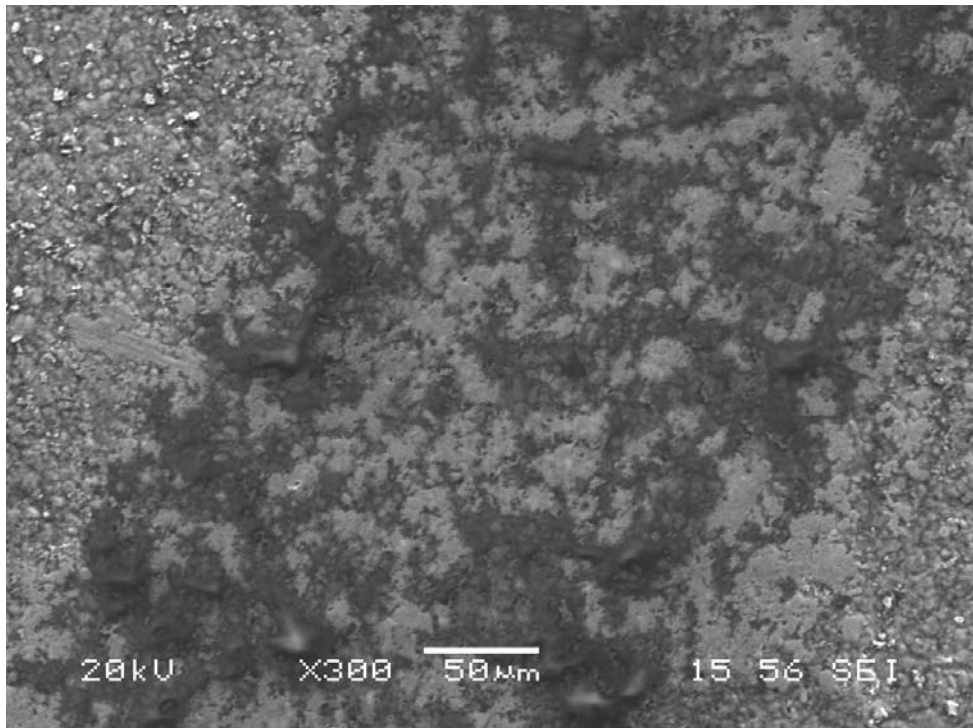


Şekil 6.47. 2N yük altında 0,5 m/s hızda 160 metre mesafede Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye ile aşındırılan AISI M2 çeliğinin SEM mikrografi

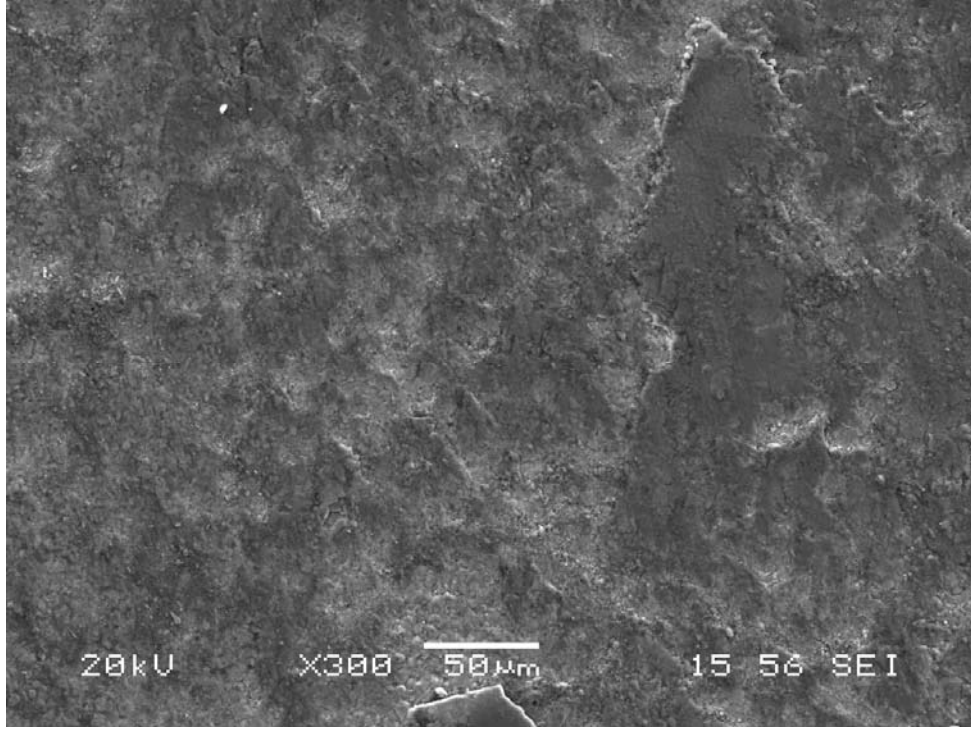




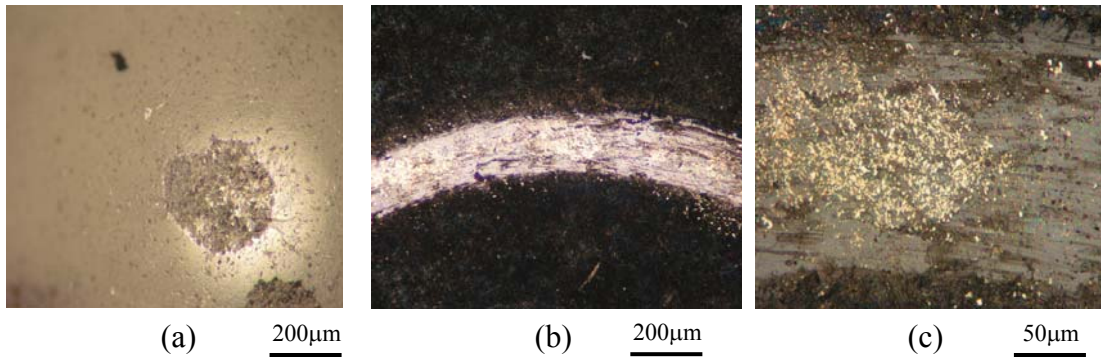
Şekil 6.48. 2N yük altında 0,5 m/s hızda 160 metre mesafede AISI 440 C bilye ile aşındırılan AISI M2 çeliğinin SEM mikrografi



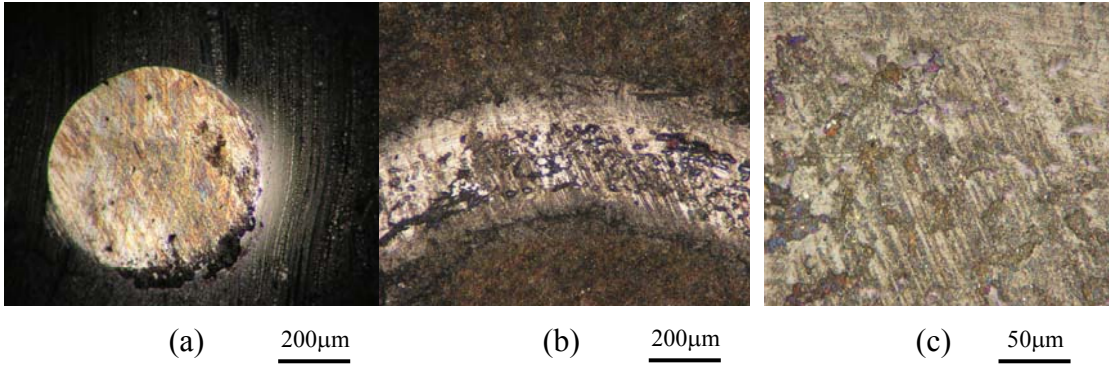
Şekil 6.49. 2N yük altında 0,5 m/s hızda 160 metre mesafede Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye ile aşındırılan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin SEM mikrografi



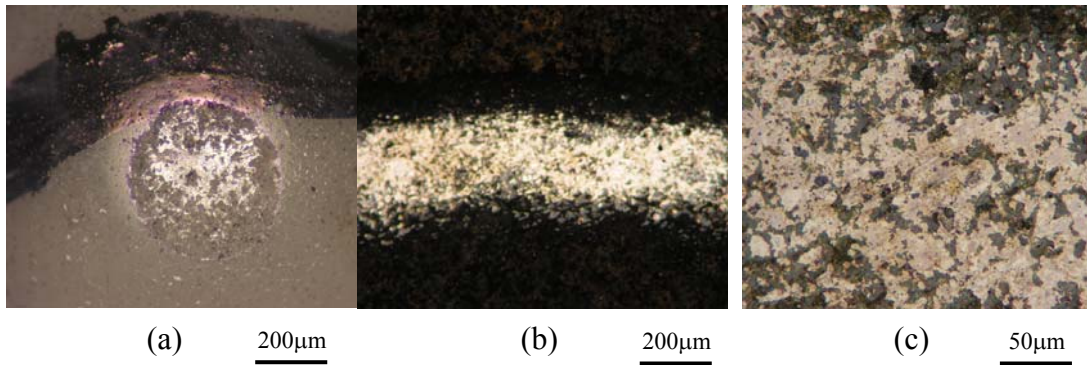
Şekil 6.50. 2N yük altında 0,5 m/s hızda 160 metre mesafede AISI 440 C bilye ile aşındırılan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin SEM mikrografı



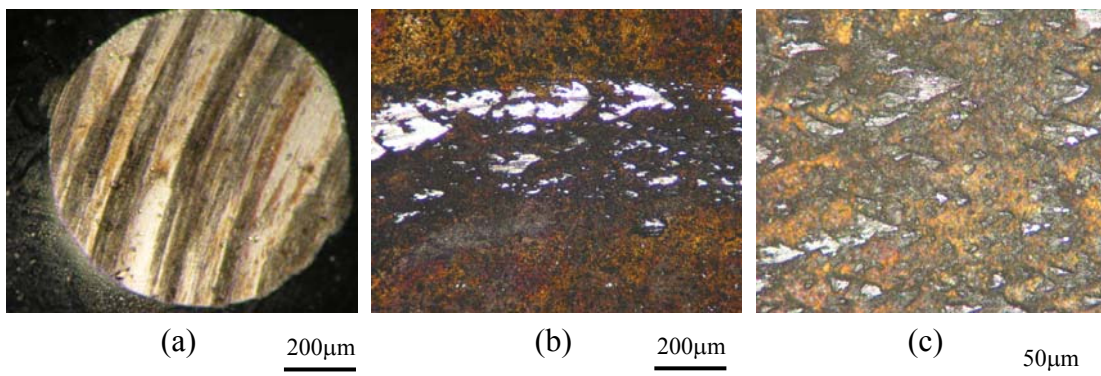
Şekil 6.51. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 1N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune



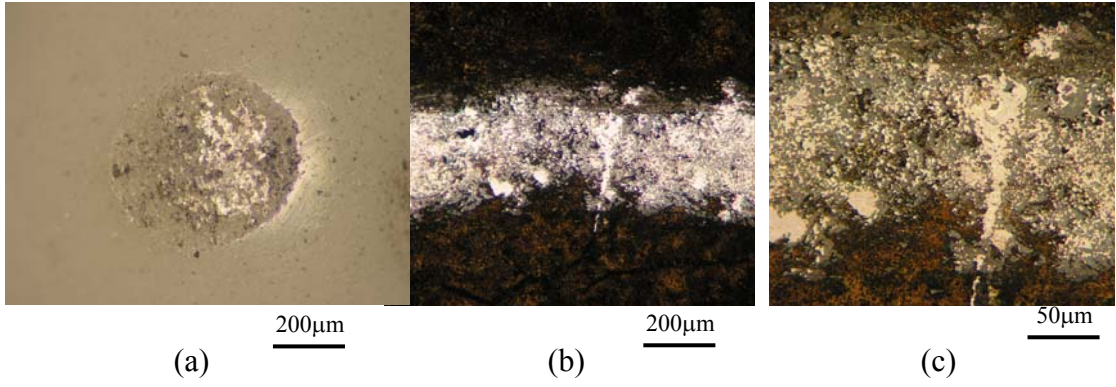
Şekil 6.52. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 1N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune



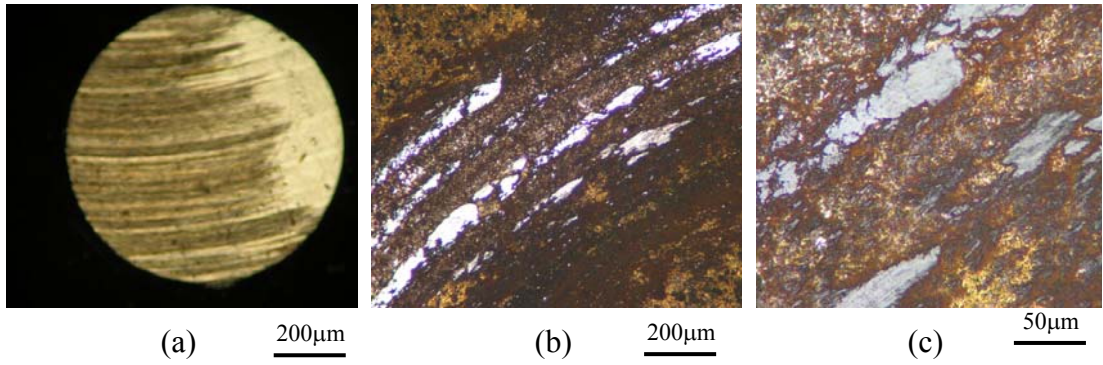
Şekil 6.53. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 2N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune



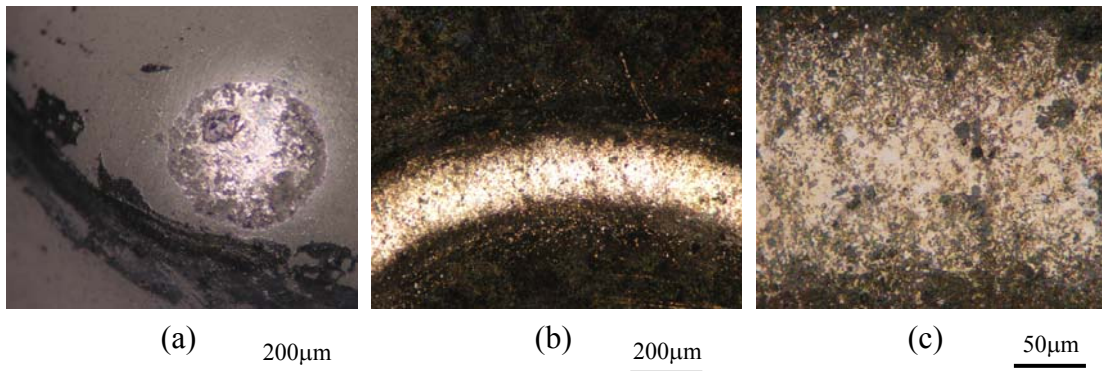
Şekil 6.54. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 2N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune



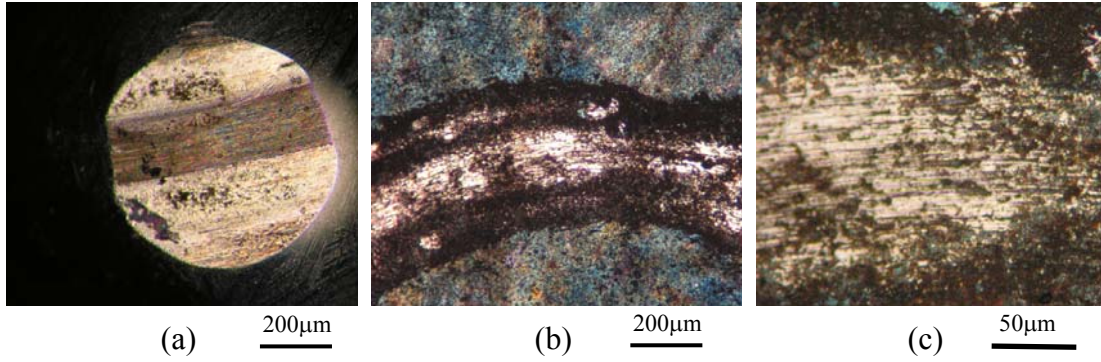
Şekil 6.55. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 5N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune



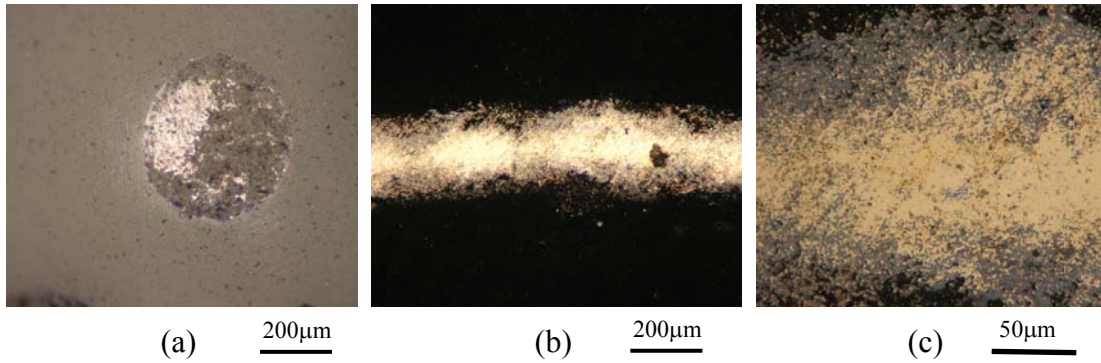
Şekil 6.56. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 5N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune



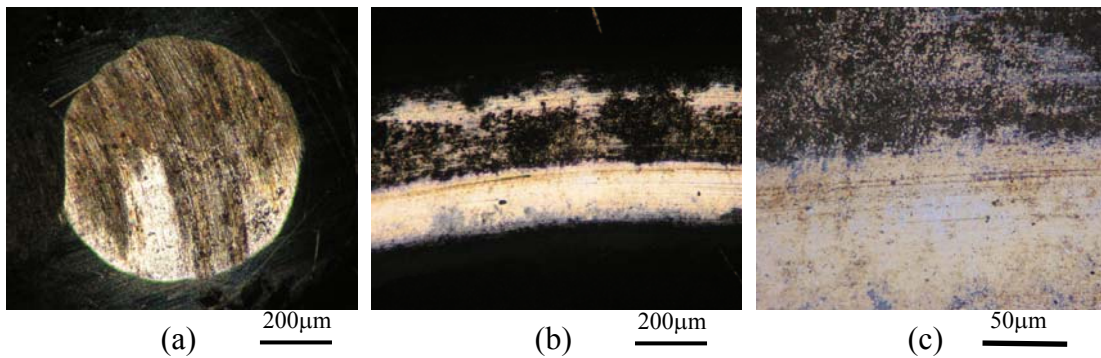
Şekil 6.57. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 1N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune



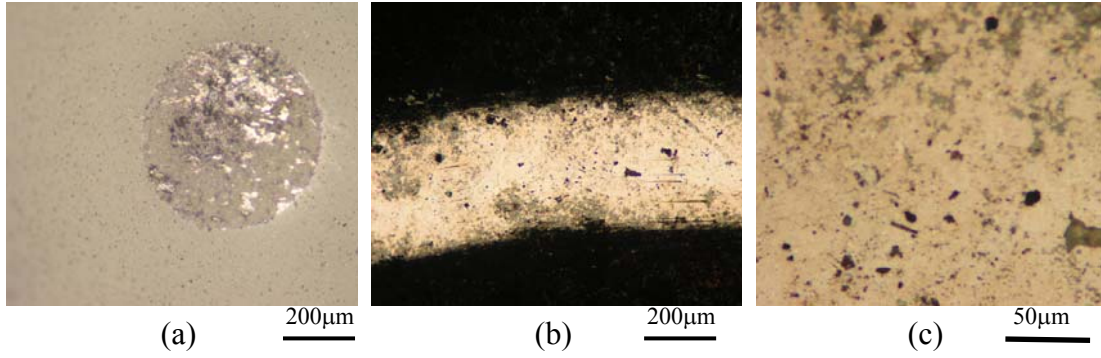
Şekil 6.58. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 1N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune



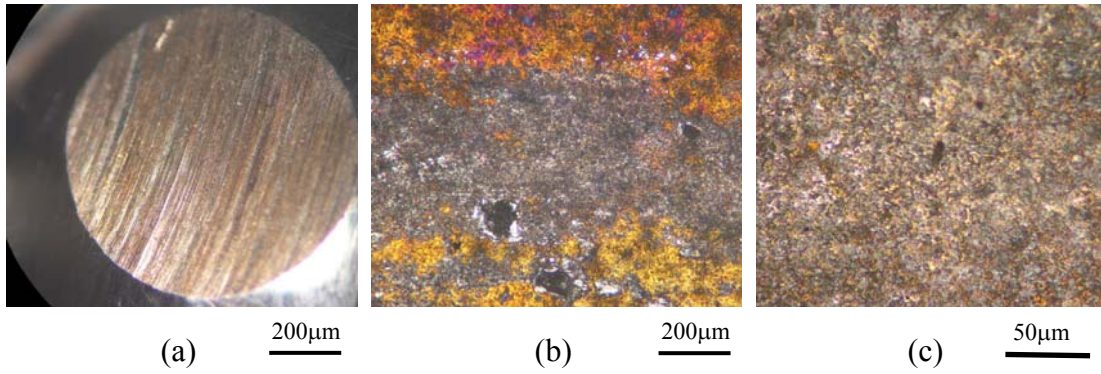
Şekil 6.59. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 2N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune



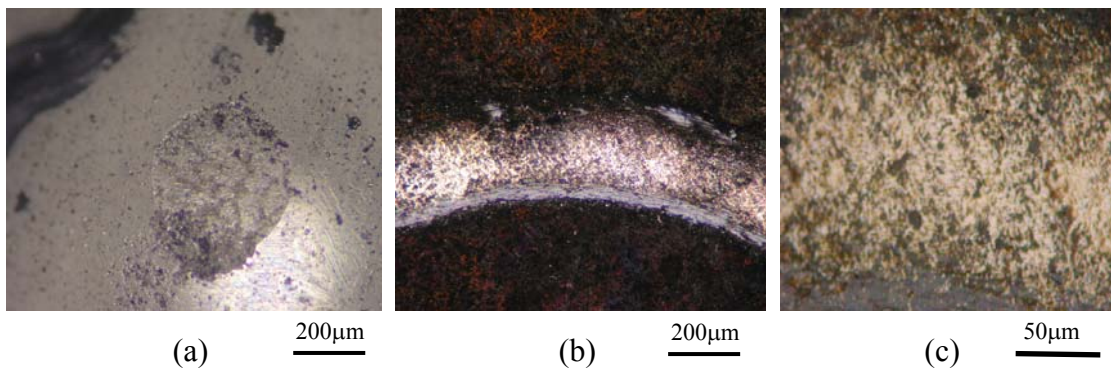
Şekil 6.60. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 2N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune



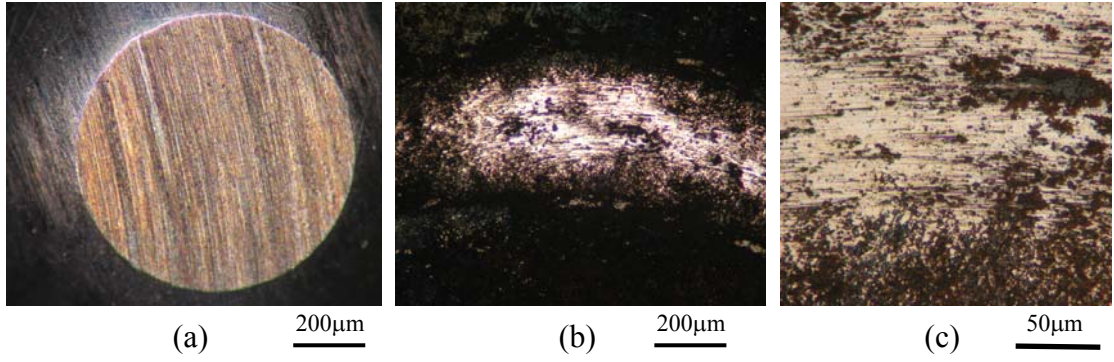
Şekil 6.61. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 5N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune



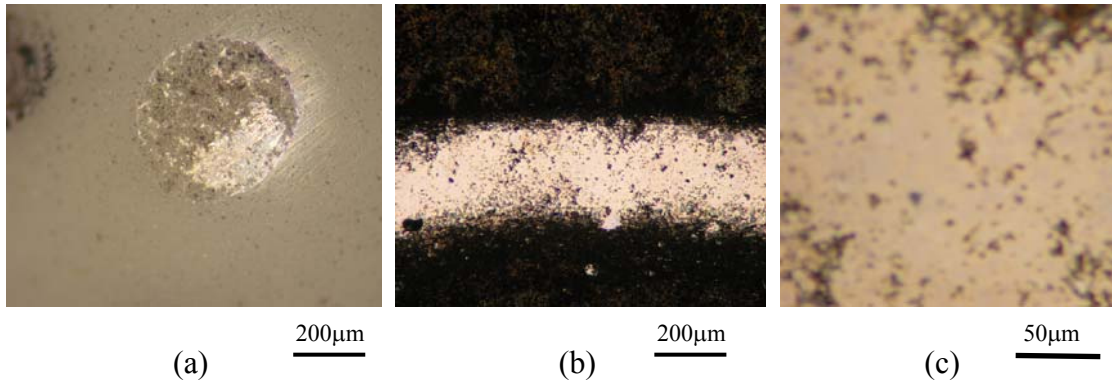
Şekil 6.62. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 5N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune



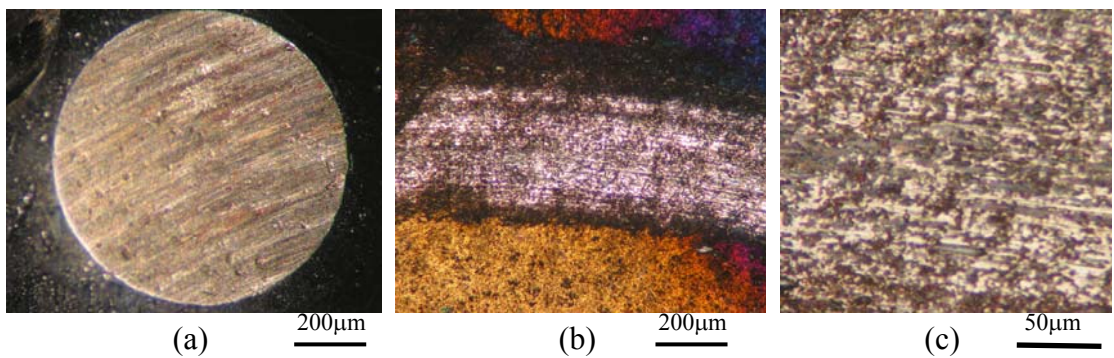
Şekil 6.63. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 1N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune



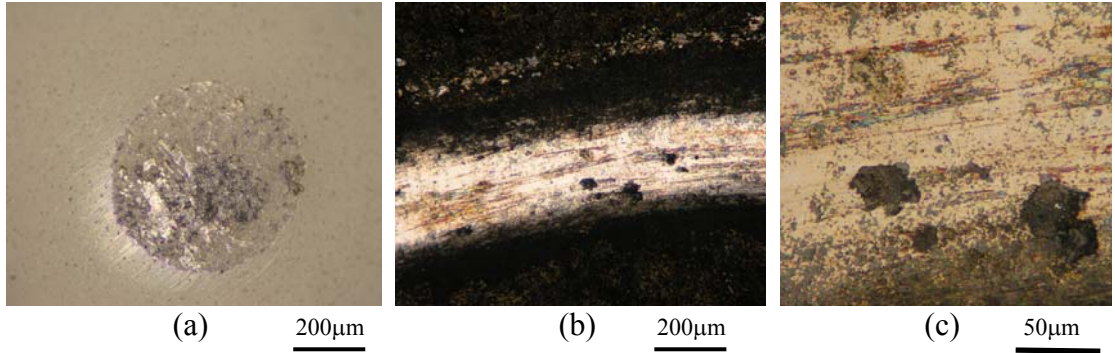
Şekil 6.64. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 1N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune



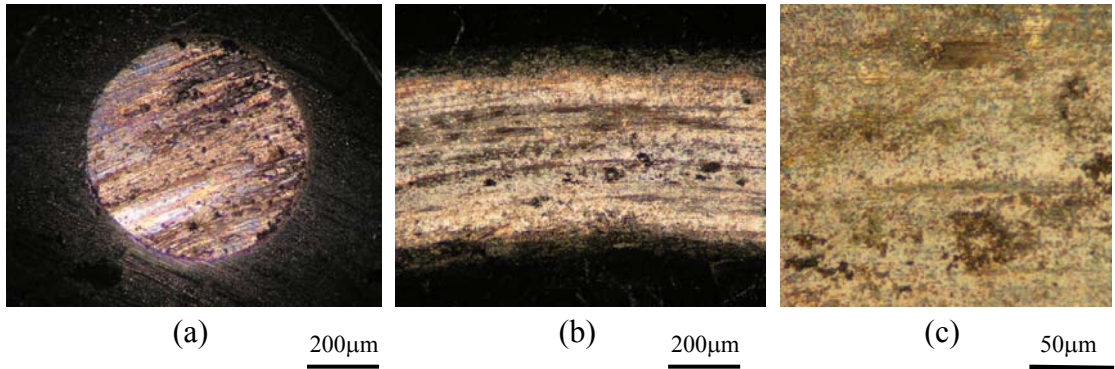
Şekil 6.65. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 2N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune



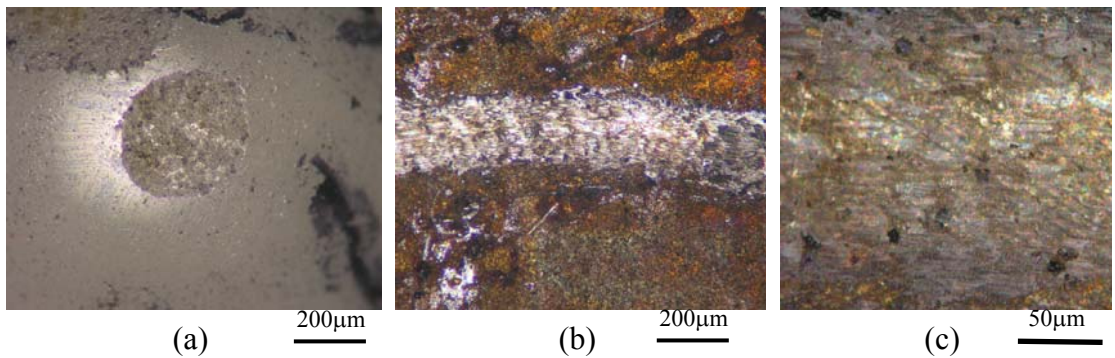
Şekil 6.66. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 2N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune



Şekil 6.67. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 5N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune

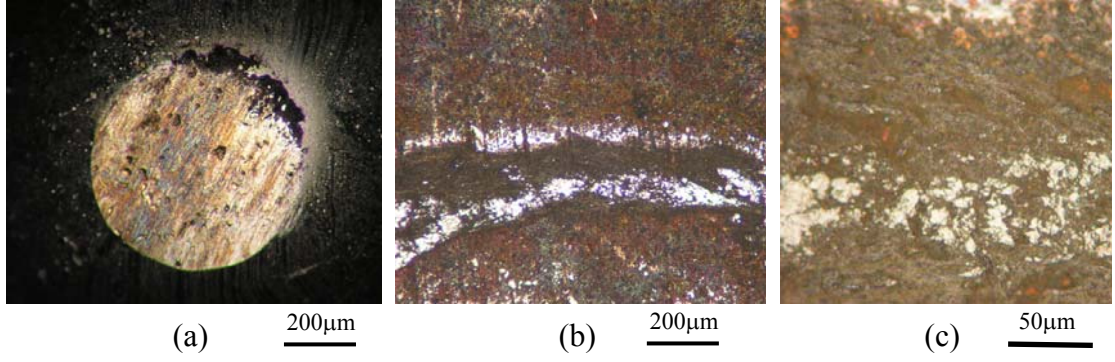


Şekil 6.68. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 5N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI 1040 çelik numune, (c) AISI 1040 çelik numune

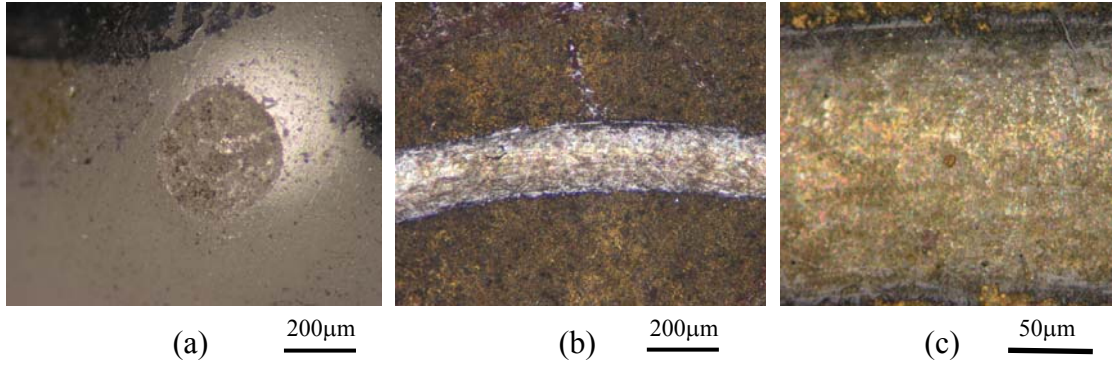


Şekil 6.69. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 1N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (c) AISI M2 çelik numune

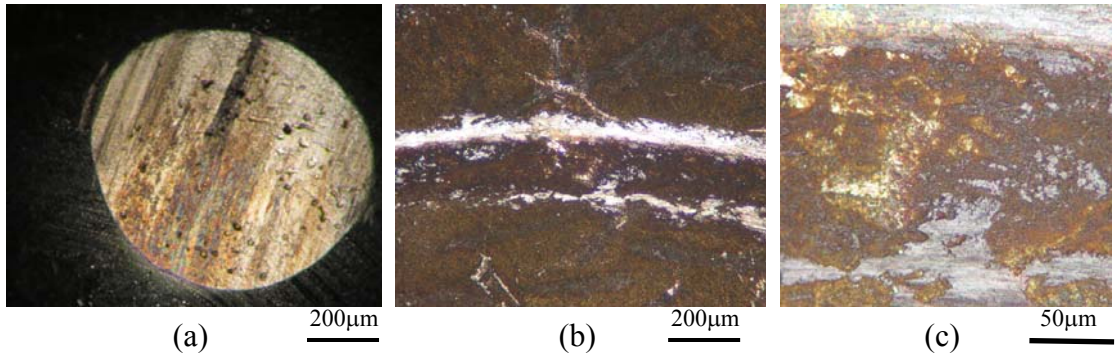




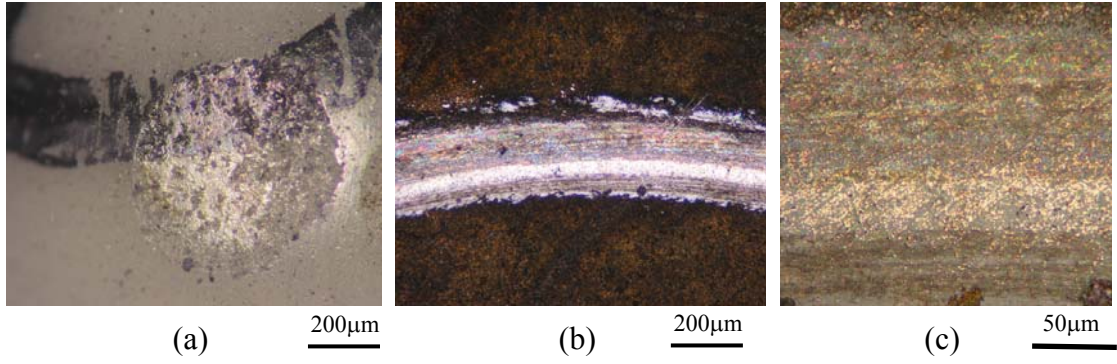
Şekil 6.70. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 1N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (c) AISI M2 çelik numune



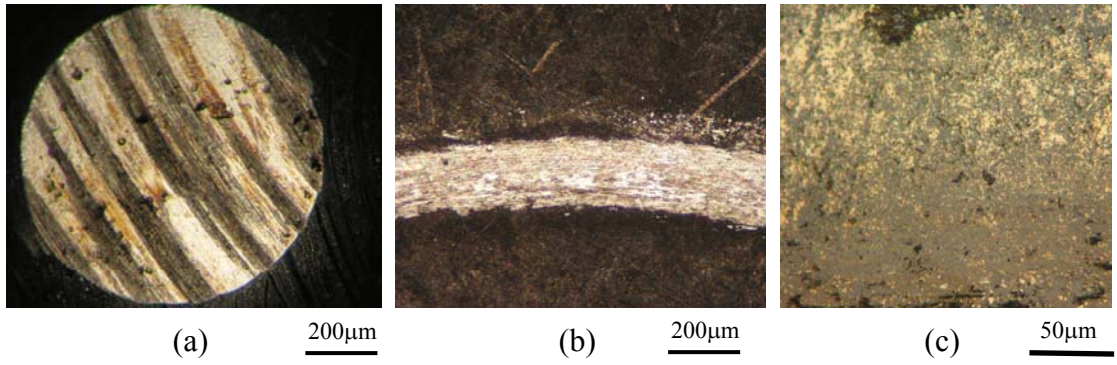
Şekil 6.71. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 2N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (c) AISI M2 çelik numune



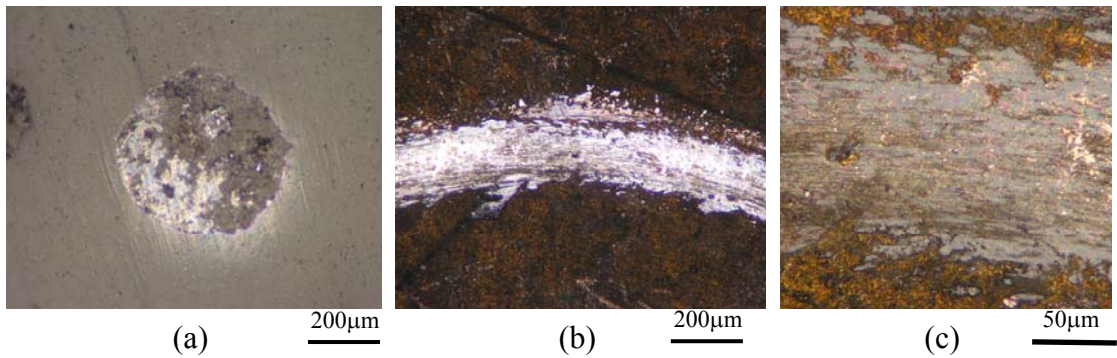
Şekil 6.72. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 2N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (b) AISI M2 çelik numune



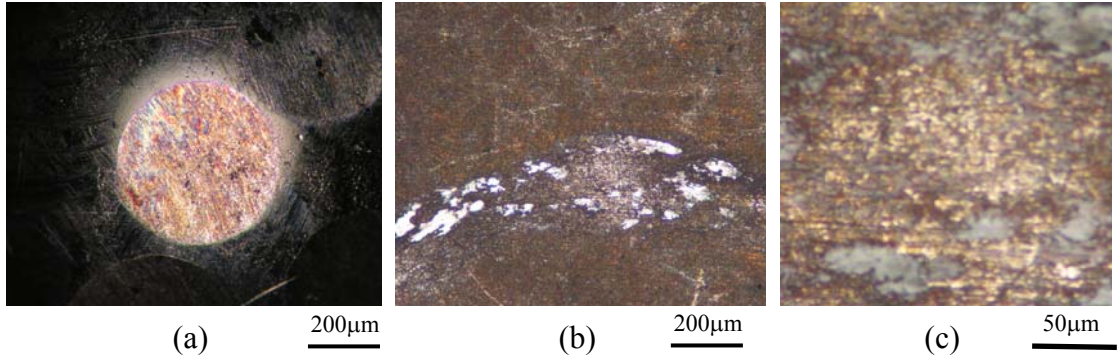
Şekil 6.73. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 5N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (c) AISI M2 çelik numune



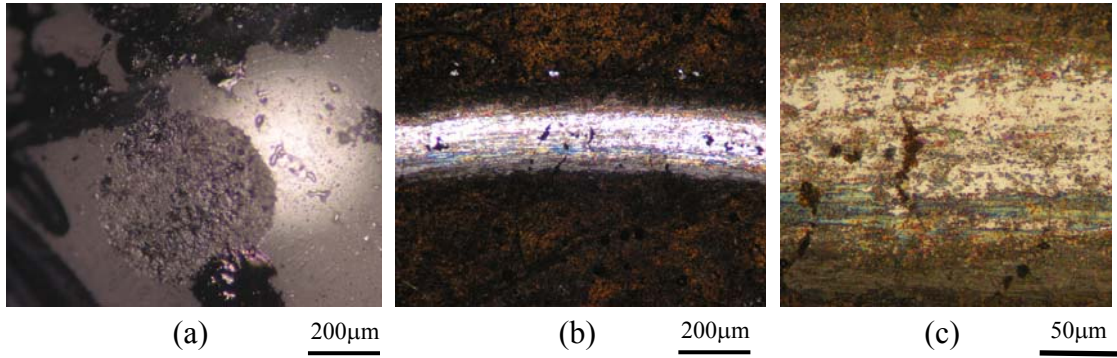
Şekil 6.74. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 5N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (c) AISI M2 çelik numune



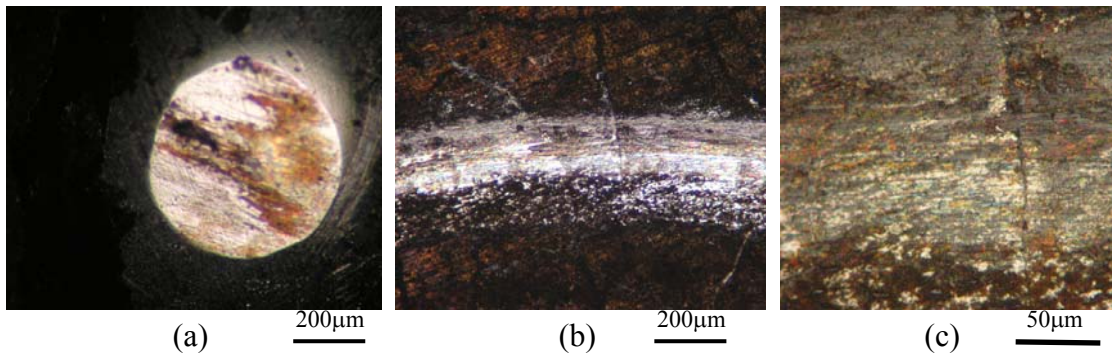
Şekil 6.75. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 1N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (b) AISI M2 çelik numune



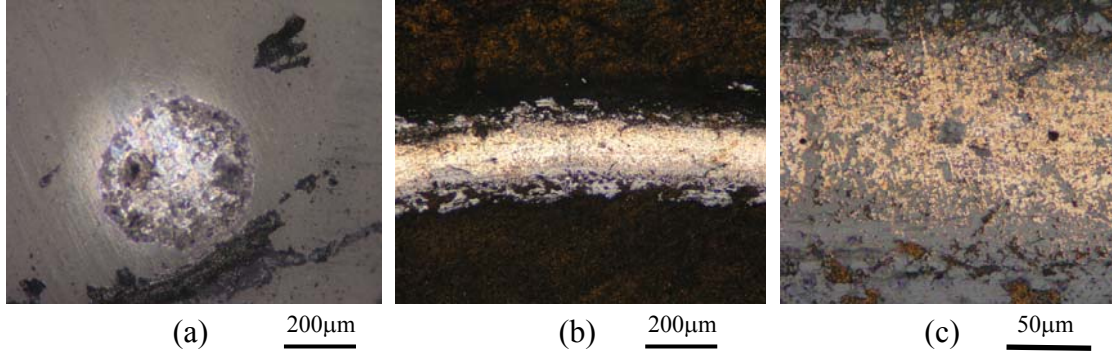
Şekil 6.76. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 1N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (c) AISI M2 çelik numune



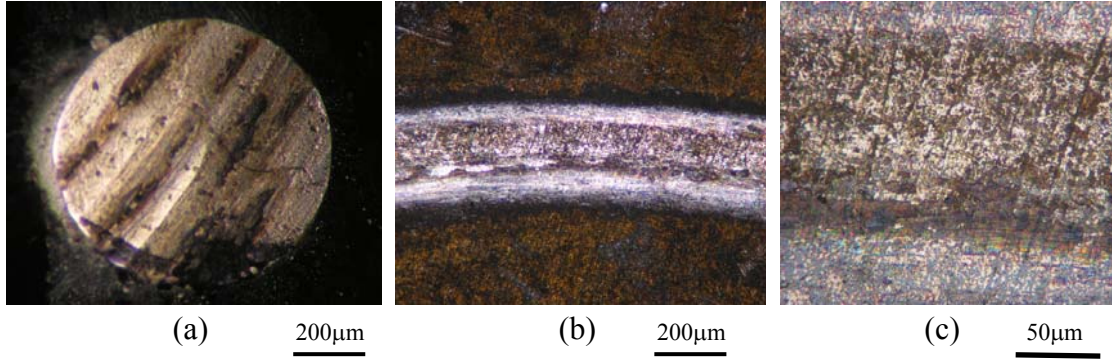
Şekil 6.77. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 2N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (c) AISI M2 çelik numune



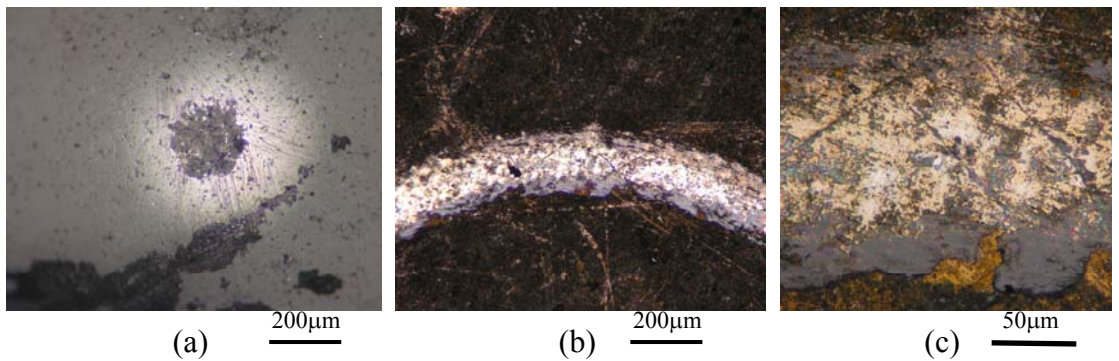
Şekil 6.78. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 2N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (c) AISI M2 çelik numune



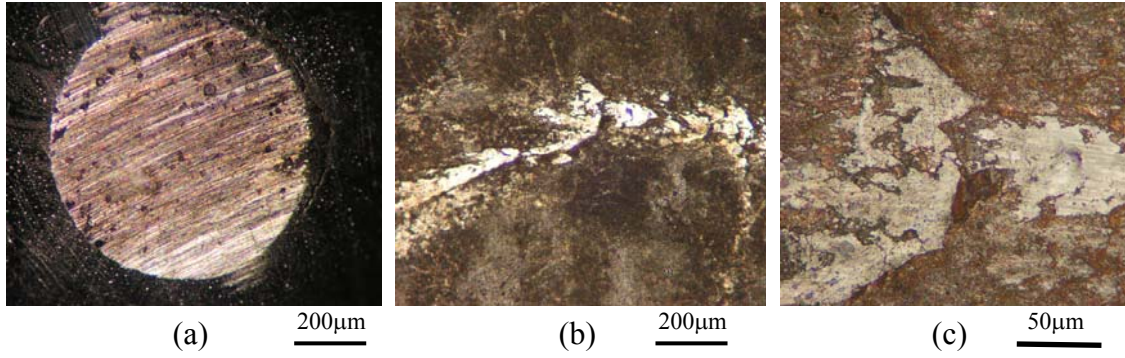
Şekil 6.79. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 5N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (c) AISI M2 çelik numune



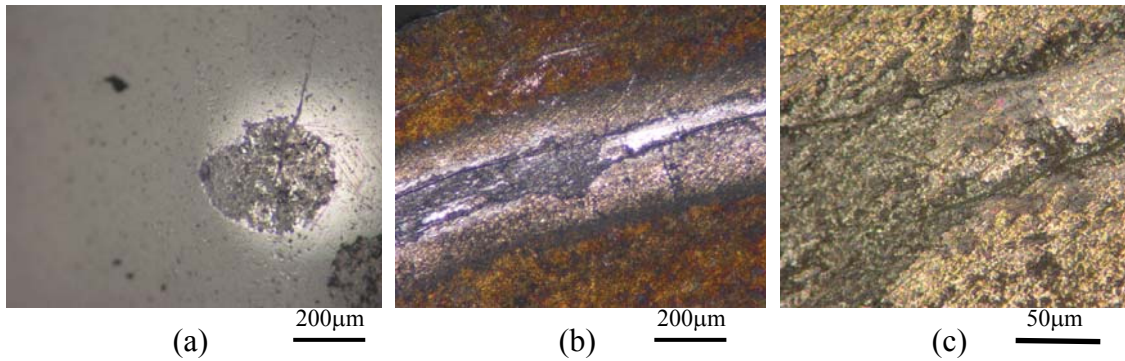
Şekil 6.80. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 5N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (c) AISI M2 çelik numune



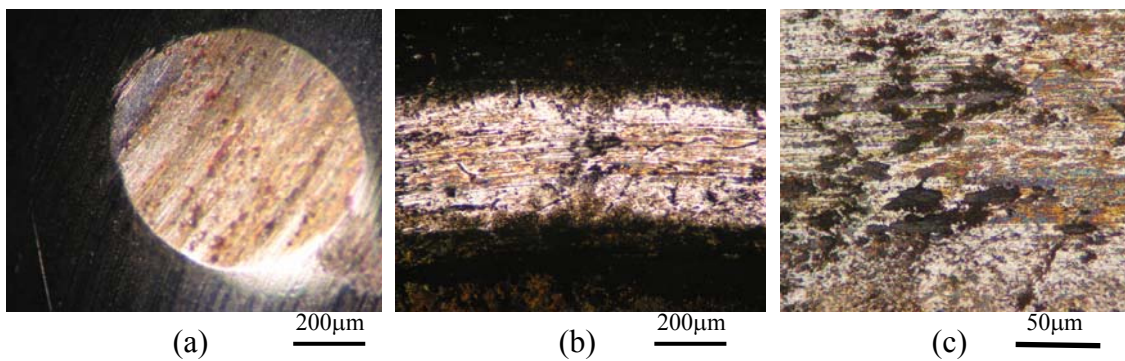
Şekil 6.81. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 1N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (c) AISI M2 çelik numune



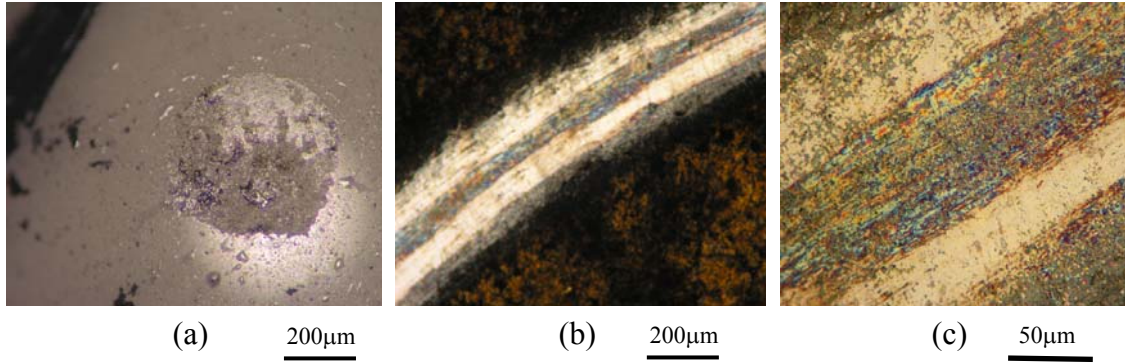
Şekil 6.82. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 1N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (c) AISI M2 çelik numune



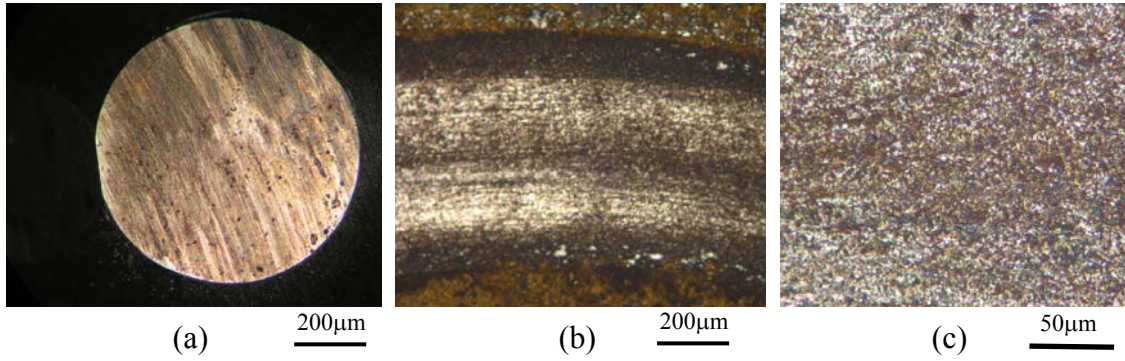
Şekil 6.83. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 2N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (c) AISI M2 çelik numune



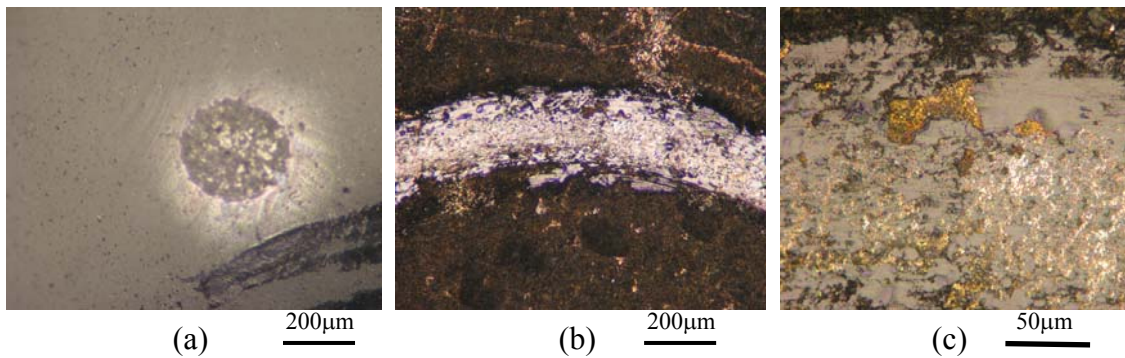
Şekil 6.84. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 2N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (c) AISI M2 çelik numune



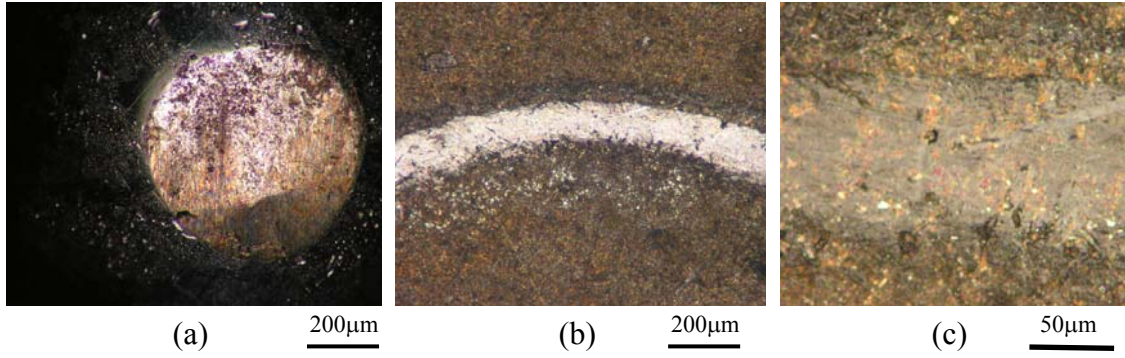
Şekil 6.85. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 5N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (c) AISI M2 çelik numune



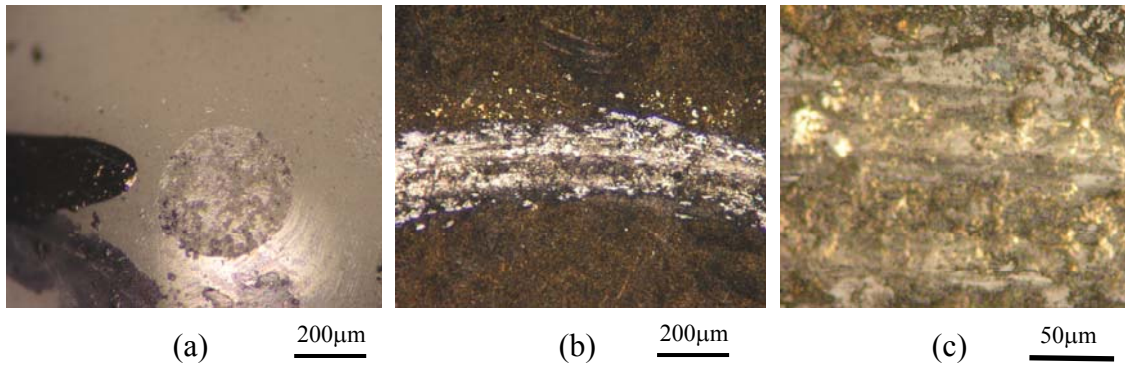
Şekil 6.86. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki 5N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) AISI M2 çelik numune, (c) AISI M2 çelik numune



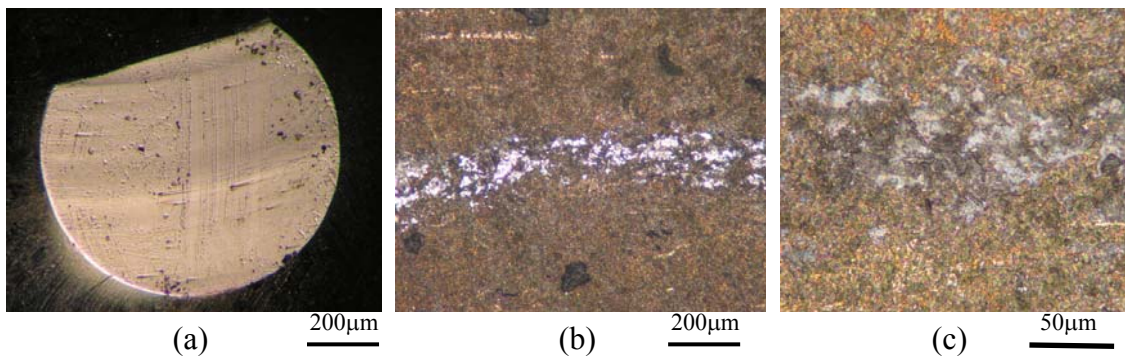
Şekil 6.87. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 1N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune



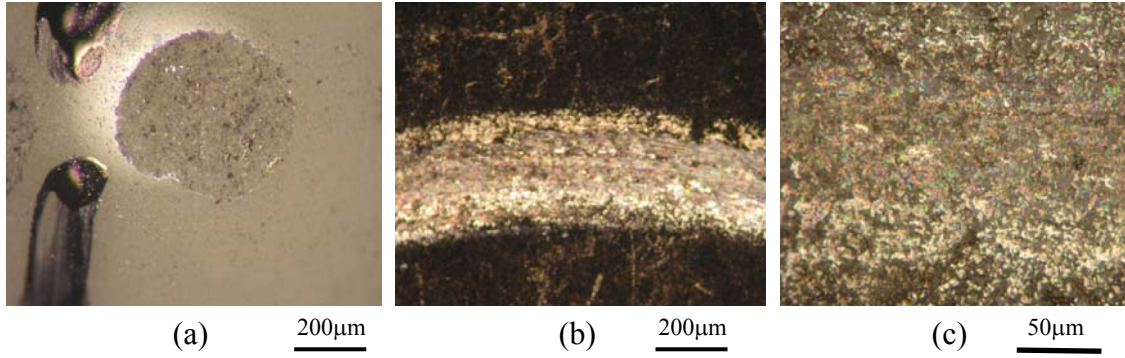
Şekil 6.88. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile AISI 440 C bilye arasındaki 1N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune



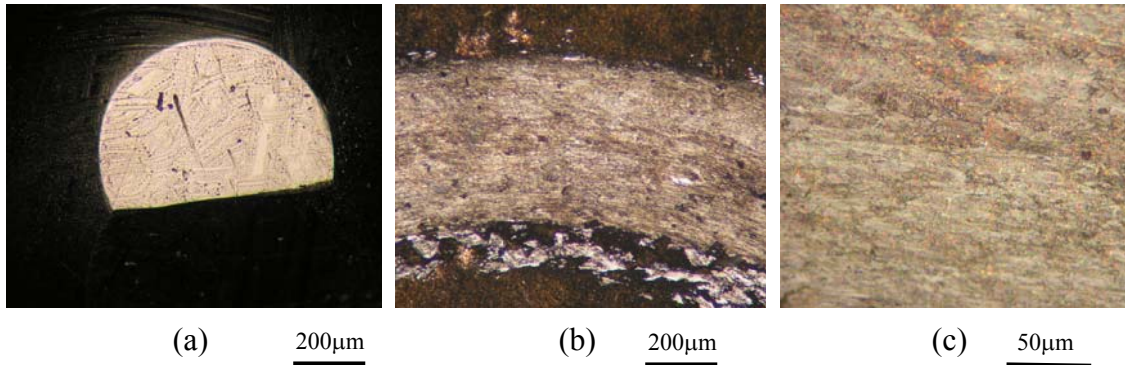
Şekil 6.89. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 2N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune



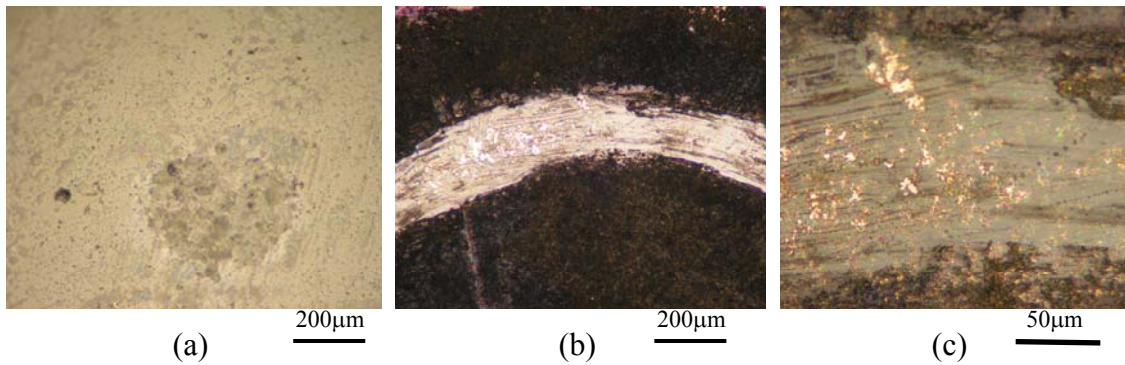
Şekil 6.90. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile AISI 440 C bilye arasındaki 2N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune



Şekil 6.91. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 5N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune

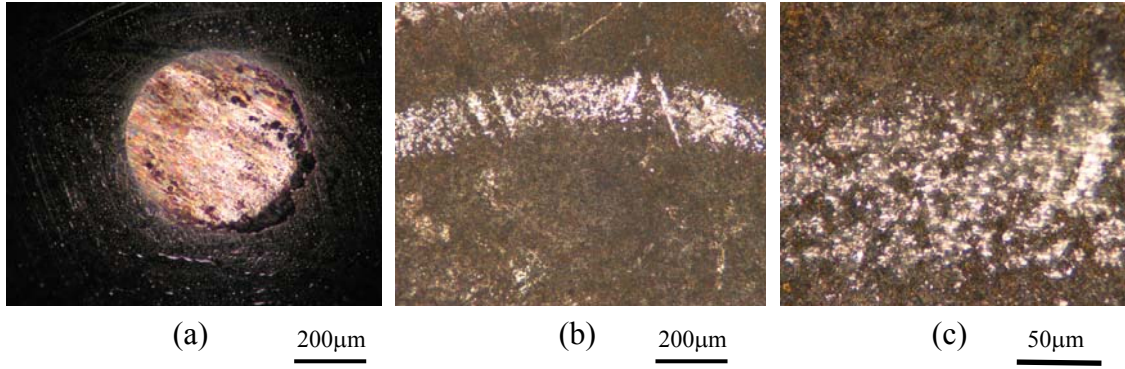


Şekil 6.92. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile AISI 440 C bilye arasındaki 5N yük altında 0,1 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune

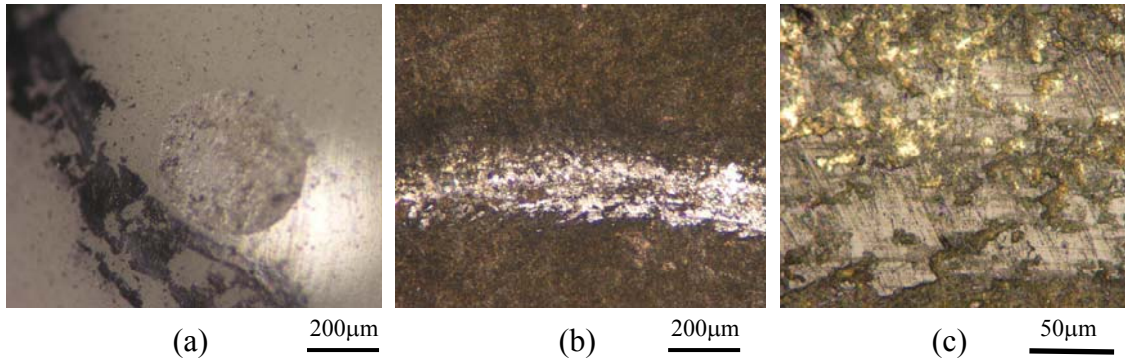


Şekil 6.93. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 1N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune

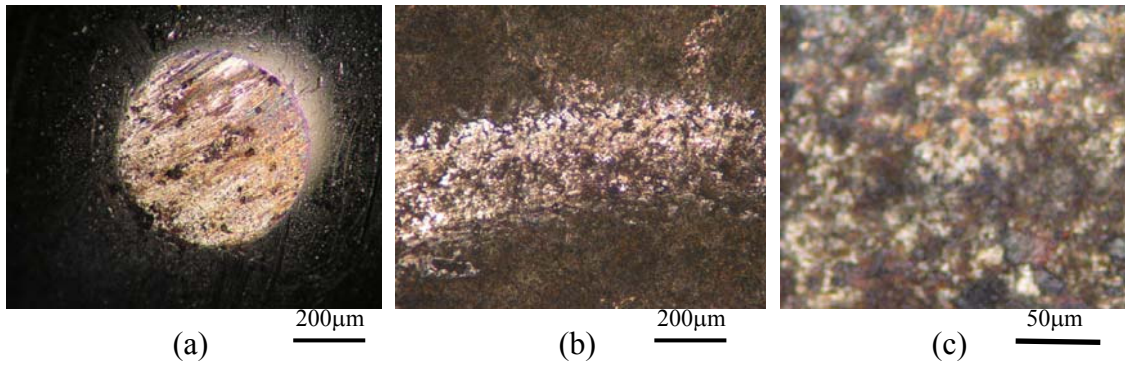




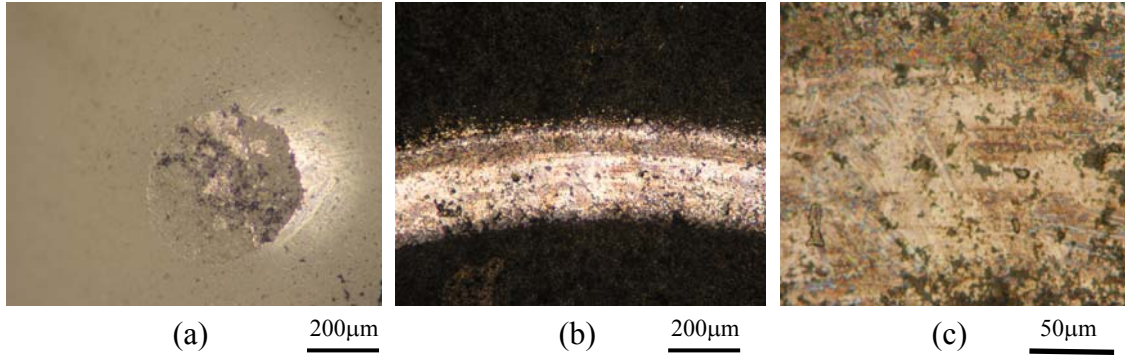
Şekil 6.94. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile AISI 440 C bilye arasındaki 1N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune



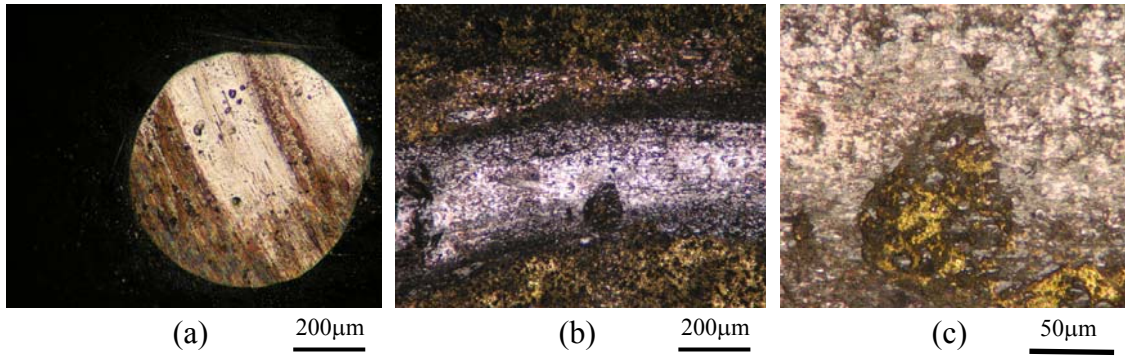
Şekil 6.95. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 2N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune



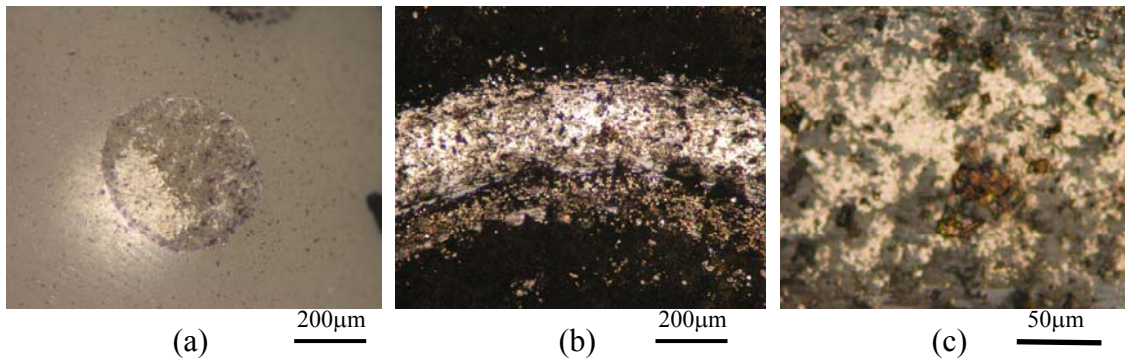
Şekil 6.96. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile AISI 440 C bilye arasındaki 2N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune



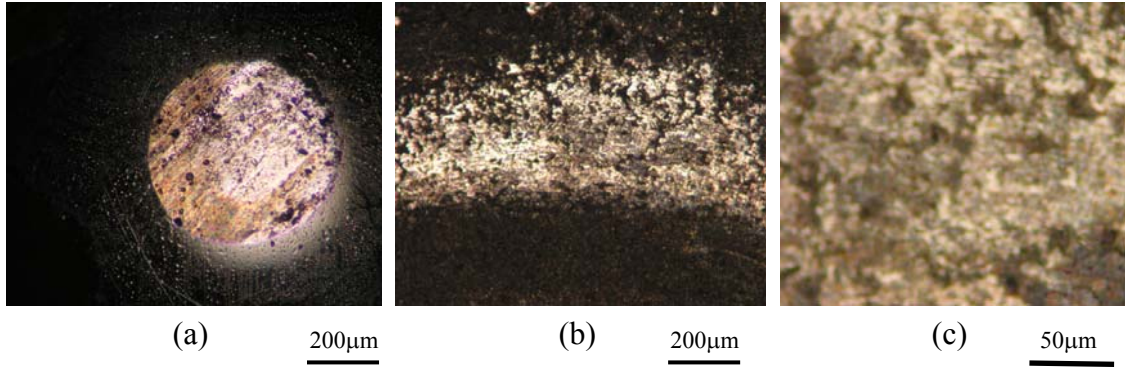
Şekil 6.97. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 5N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune



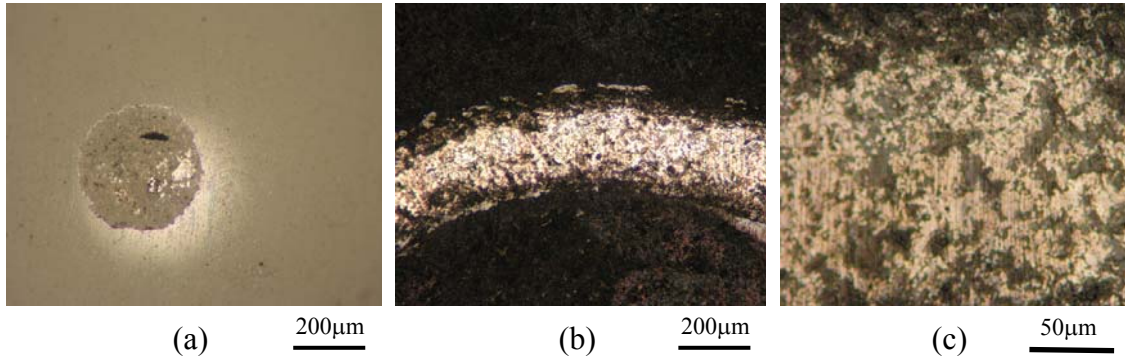
Şekil 6.98. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile AISI 440 C bilye arasındaki 5N yük altında 0,3 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune



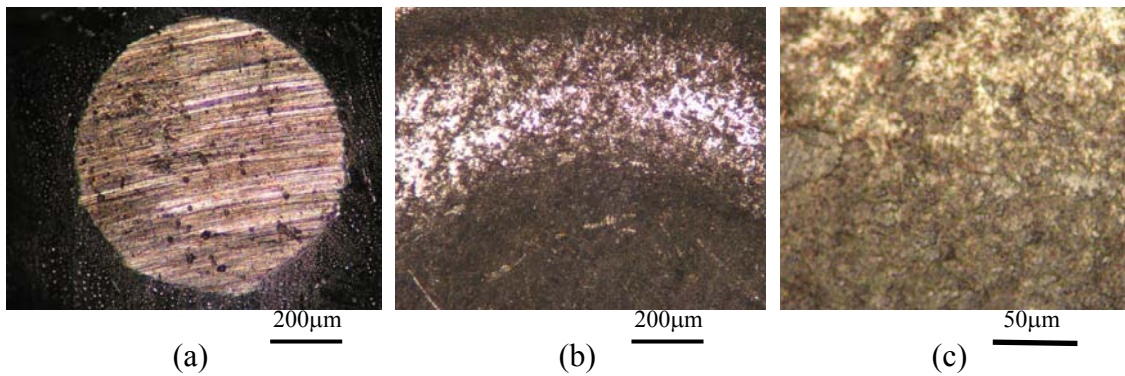
Şekil 6.99. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 1N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune



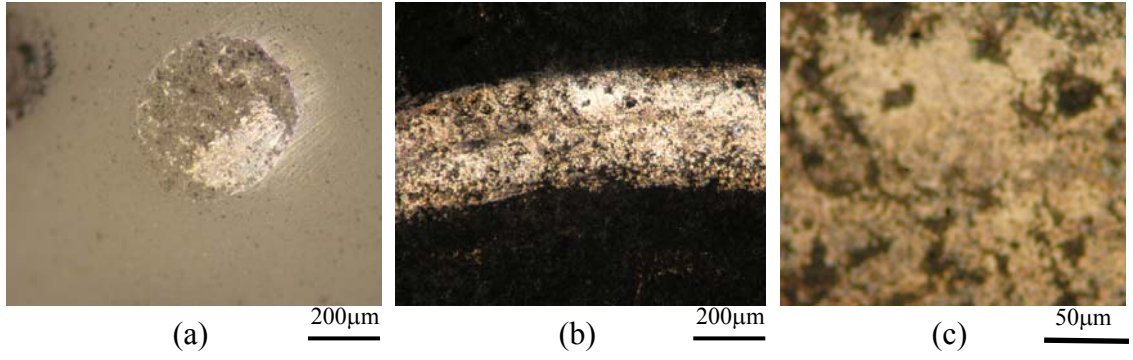
Şekil 6.100. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile AISI 440 C bilye arasındaki 1N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune



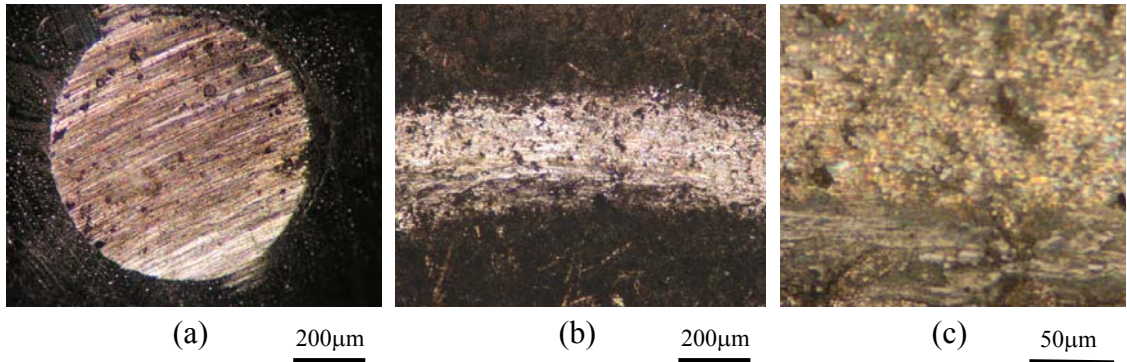
Şekil 6.101. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 2N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune



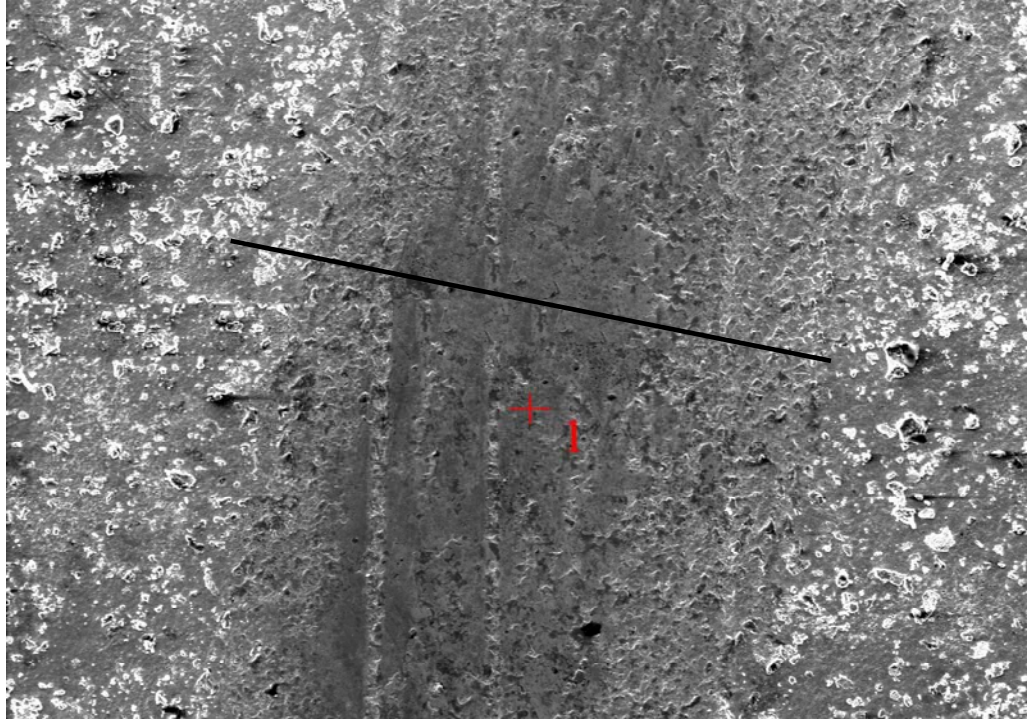
Şekil 6.102. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile AISI 440 C bilye arasındaki 2N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune



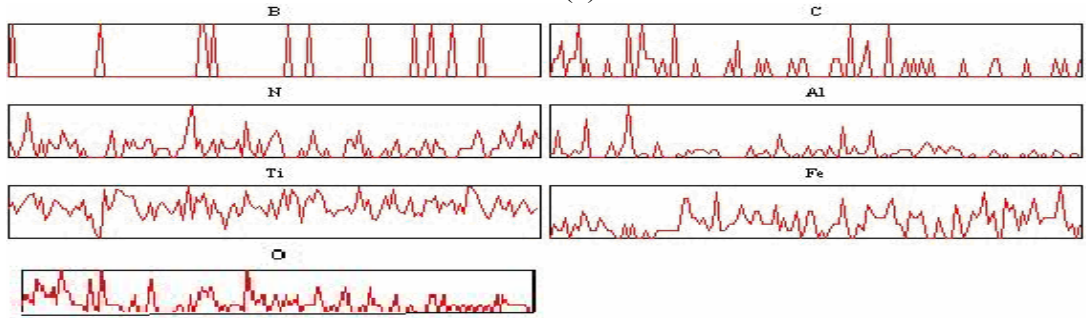
Şekil 6.103. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 5N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a)  $Al_2O_3$  bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune



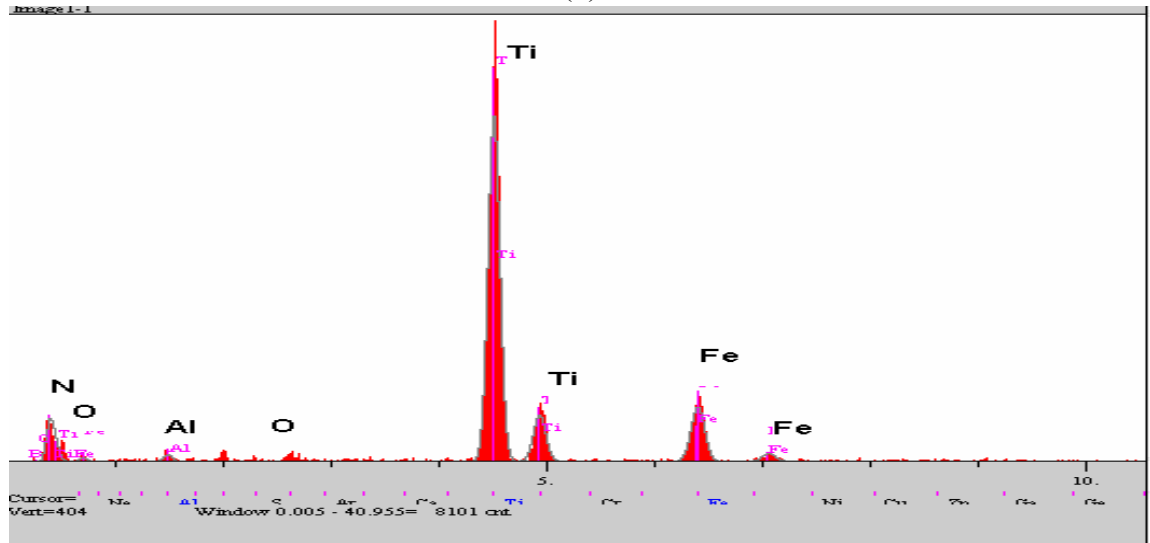
Şekil 6.104. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile AISI 440 C bilye arasındaki 5N yük altında 0,5 m/s hızda ve 320 metre mesafede aşınma deneyi sonucu oluşan mikro yapı görüntüleri (a) AISI 440 C bilye, (b) ISO P 15-20 numune, (c) ISO P 15-20 numune



(a)

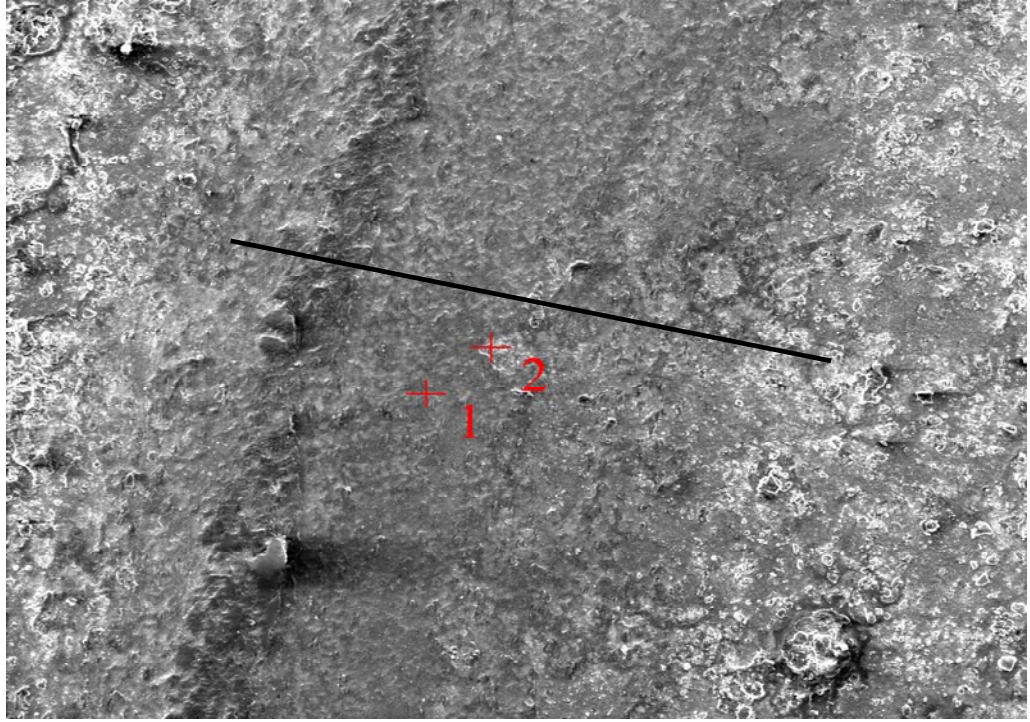


(b)

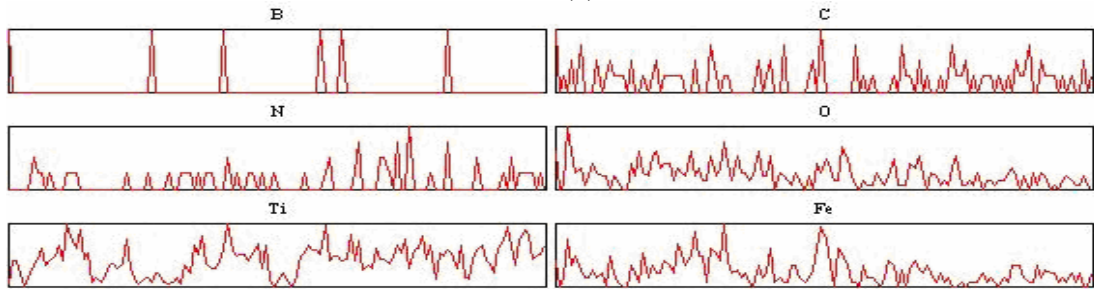


(c)

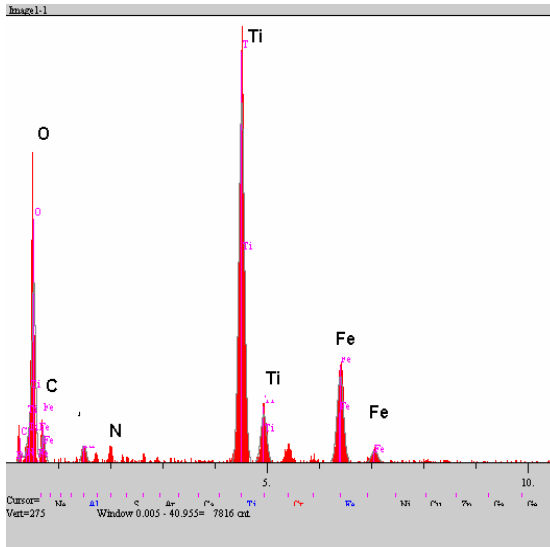
Şekil 6.105. 2N yük altında ve 0,1 m/s hızda  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılan AISI 1040 çeliğinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı



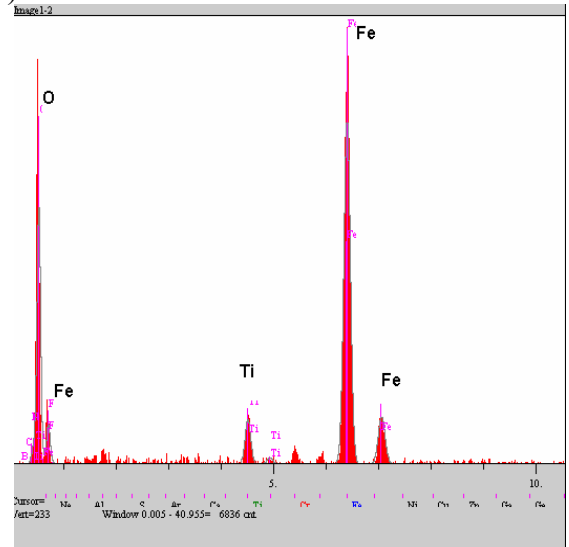
(a)



(b)

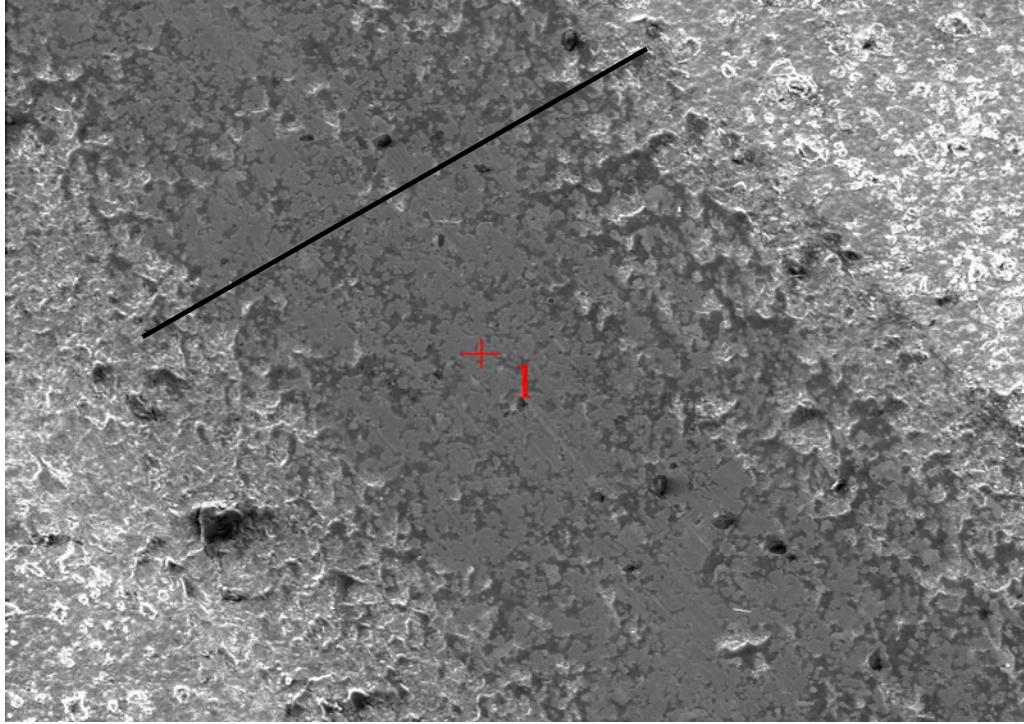


(c)

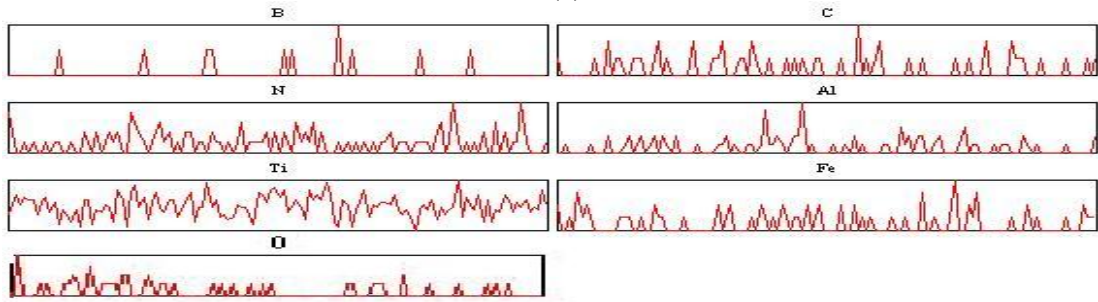


(d)

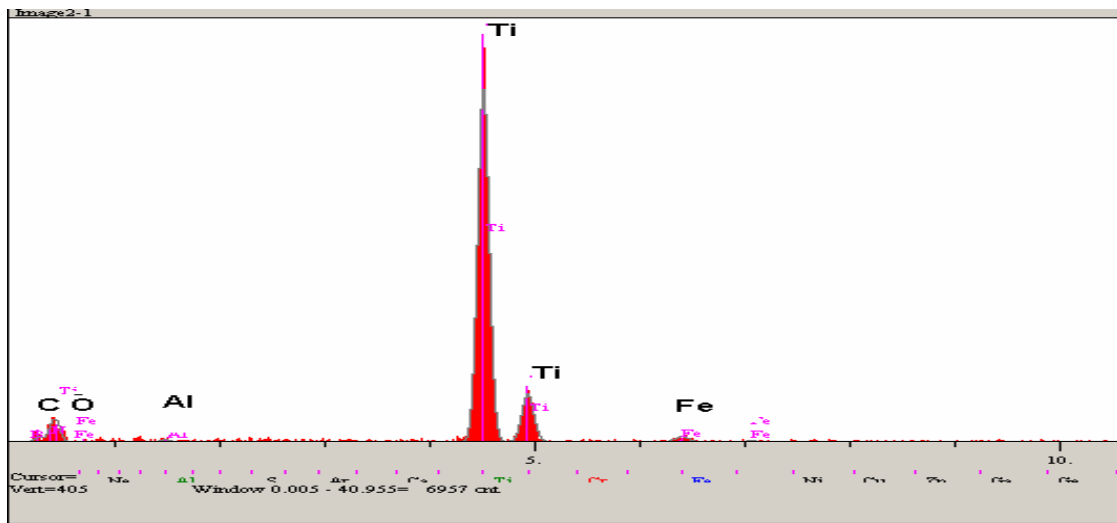
Şekil 6.106. 2N yük altında ve 0,1 m/s hızda AISI 440 C bilye ile aşındırılan AISI 1040 çeliğinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı (d) aşınan bölgedeki katmanın noktasal analiz diyagramı



(a)

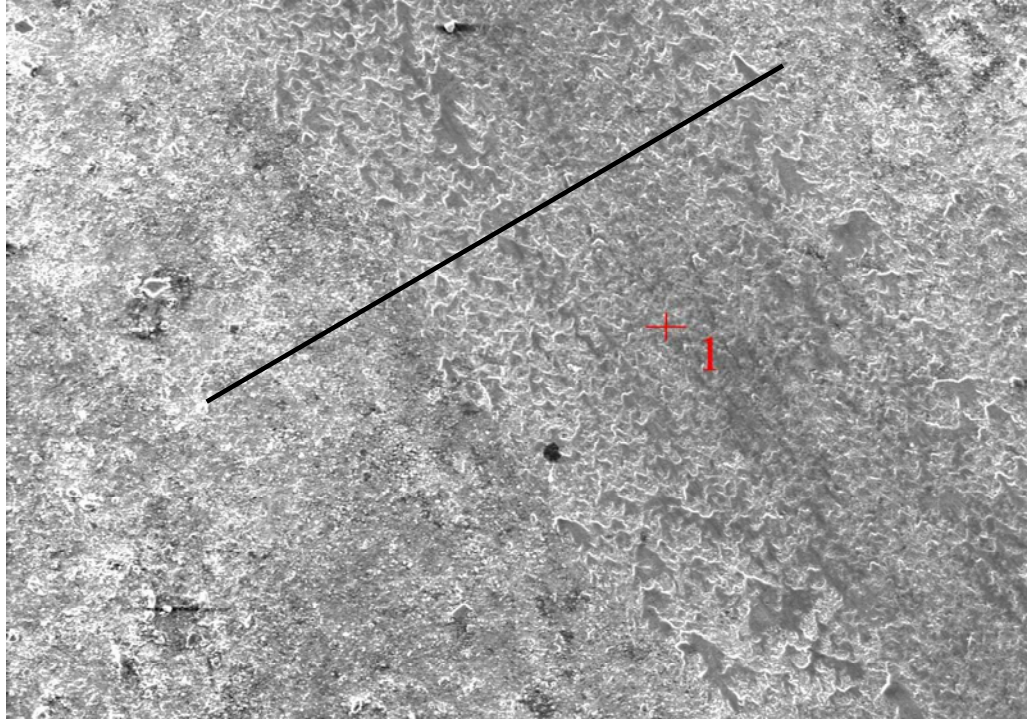


(b)

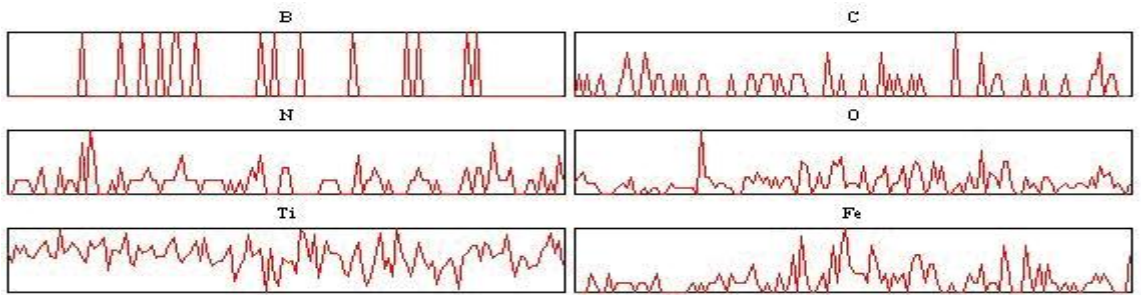


(c)

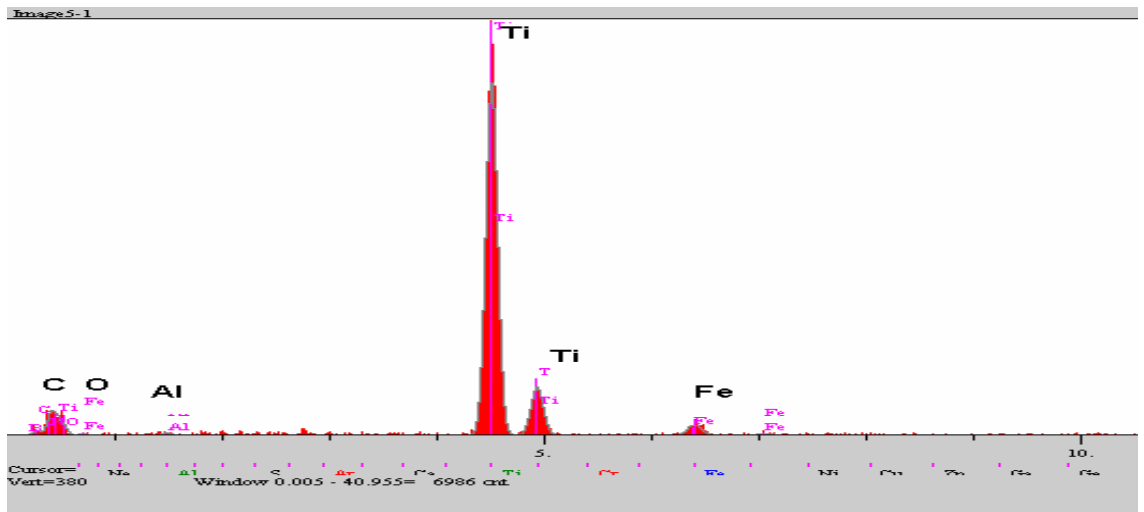
Şekil 6.107. 2N yük altında ve 0,3 m/s hızda  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılan AISI 1040 çeliğinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı



(a)



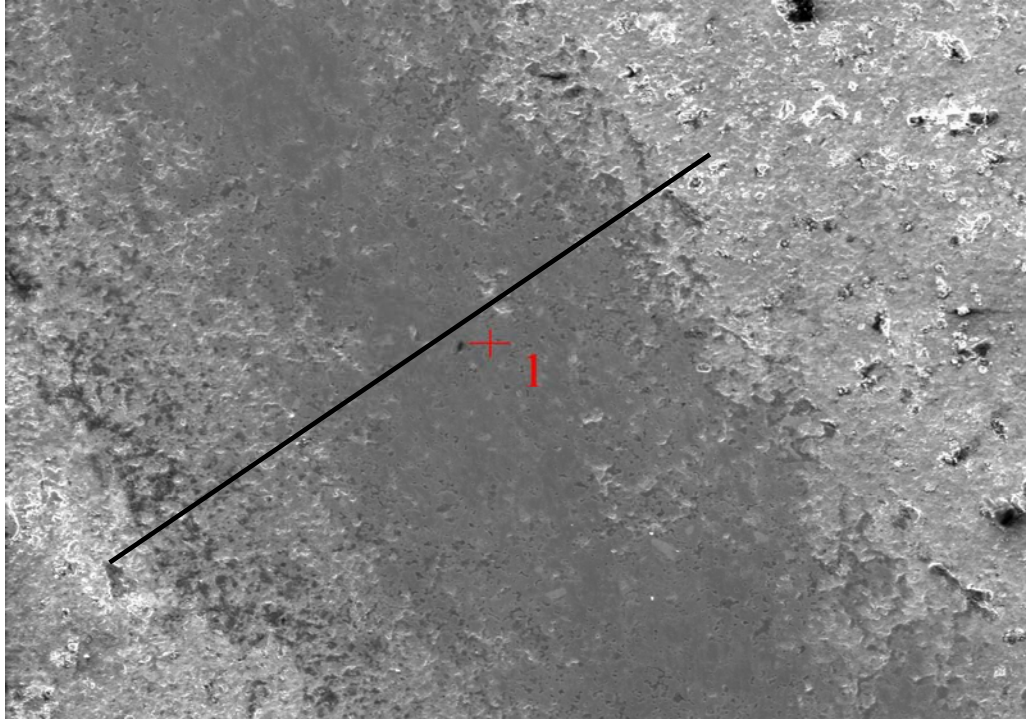
(b)



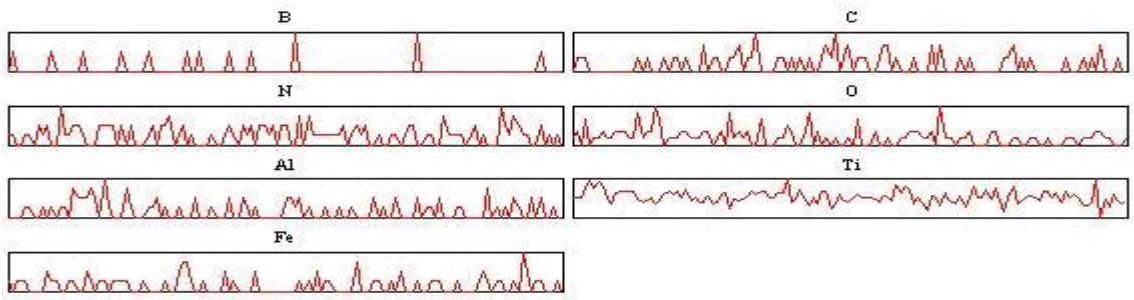
(c)

Şekil 6.108. 2N yük altında ve 0,3 m/s hızda AISI 440 C bilye ile aşındırılan AISI 1040 çeliğinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı.

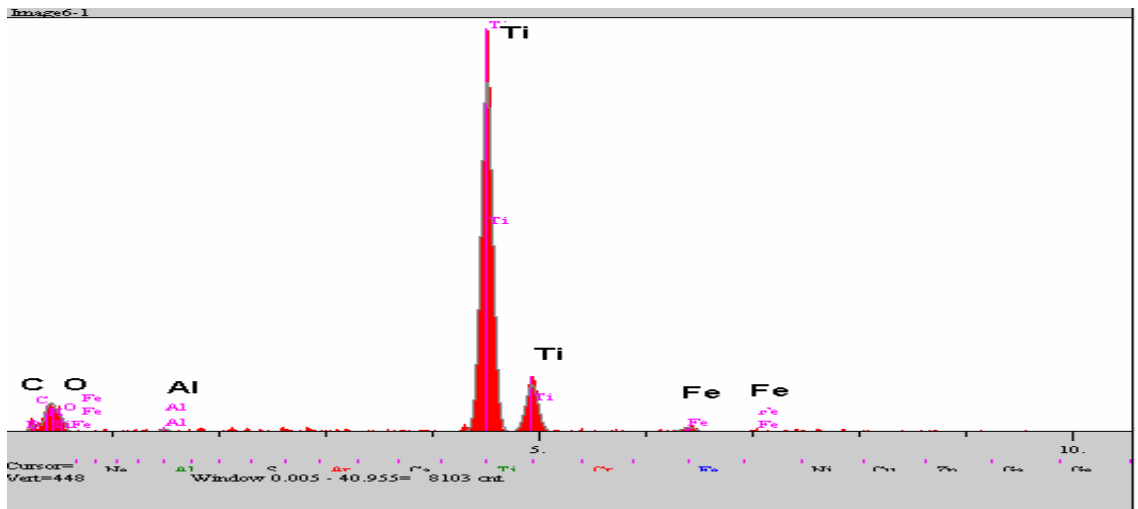




(a)



(b)

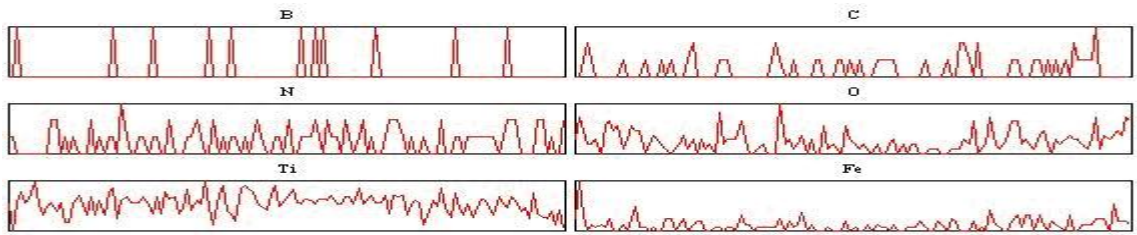


(c)

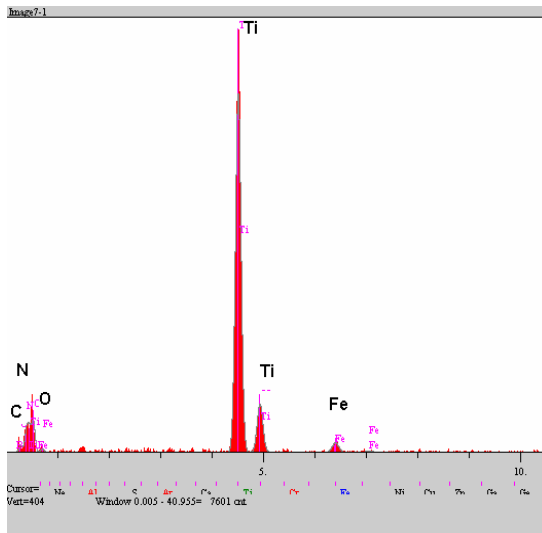
Şekil 6.109. 2N yük altında ve 0,5 m/s hızda  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılan AISI 1040 çeliğinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı



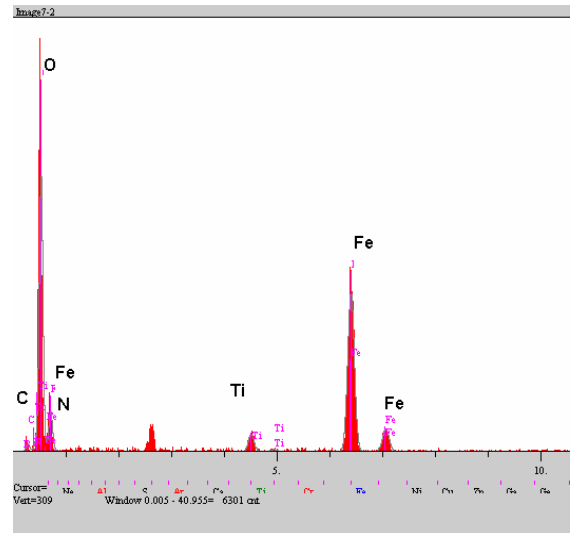
(a)



(b)

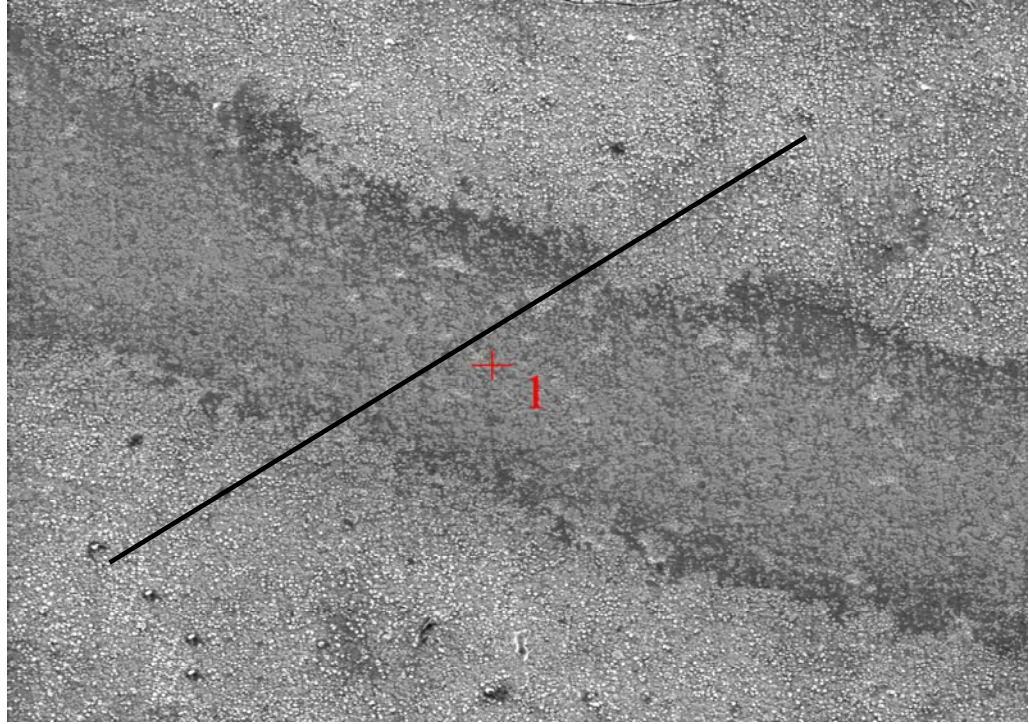


(c)

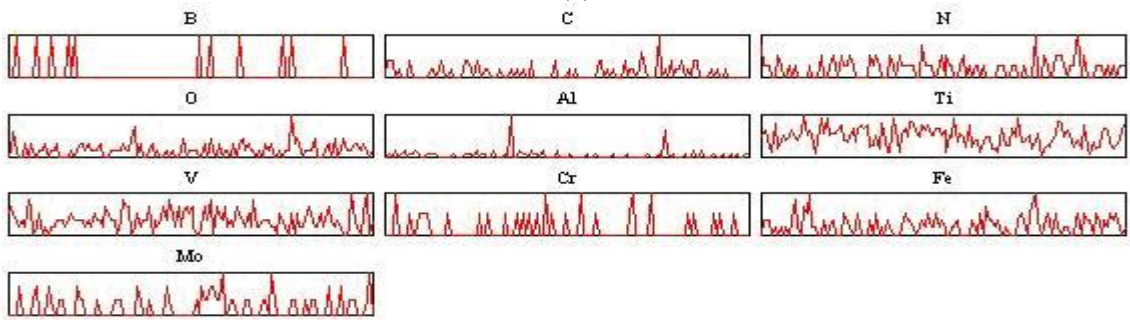


(d)

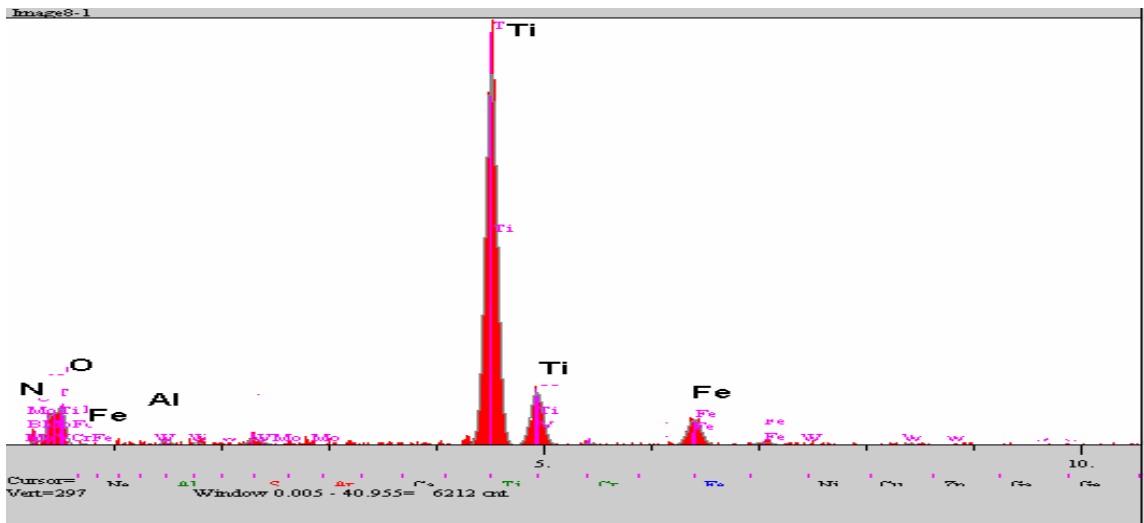
Şekil 6.110. 2N yük altında ve 0,5 m/s hızda AISI 440 C bilye ile aşındırılan AISI 1040 çeliğinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı (d) aşınan bölgedeki katmanın noktasal analiz diyagramı



(a)

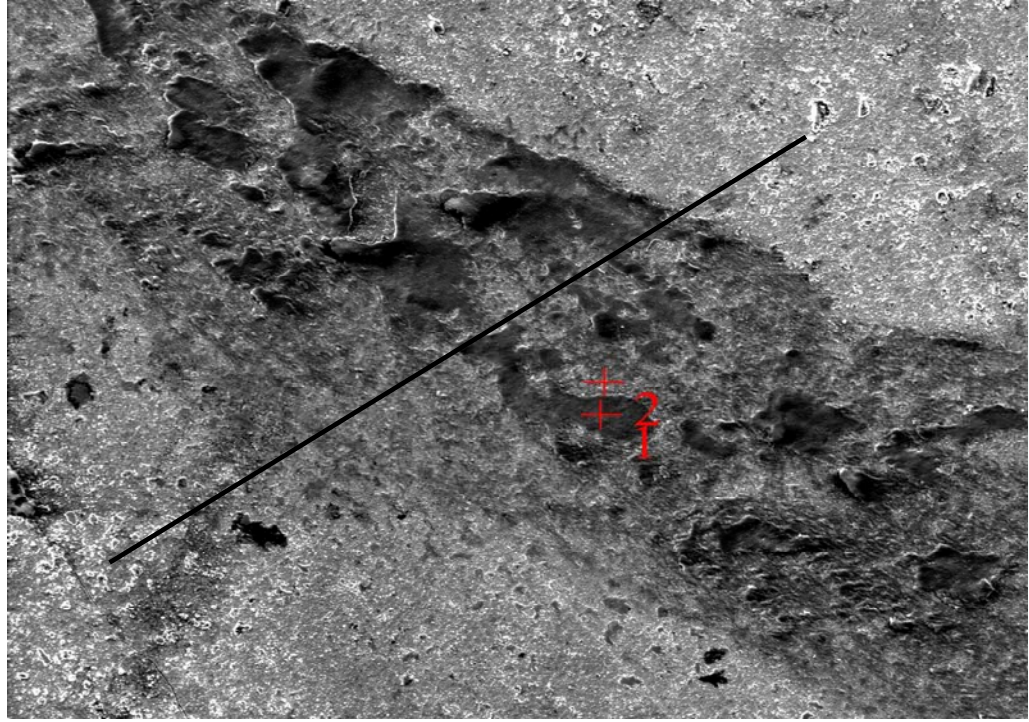


(b)

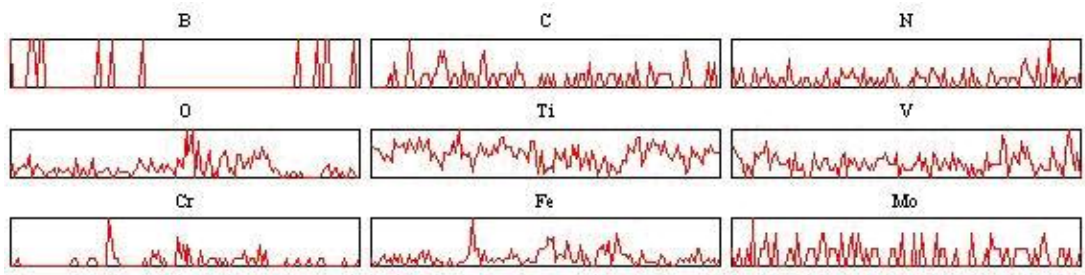


(c)

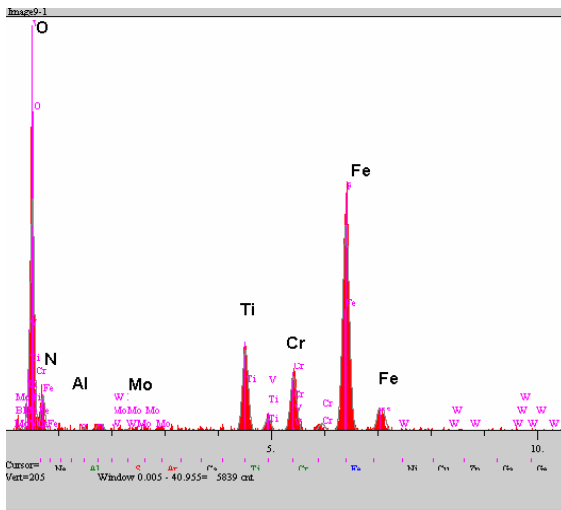
Şekil 6.111. 2N yük altında ve 0,1 m/s hızda  $Al_2O_3$  bilye ile aşındırılan AISI M2 çeliğinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı



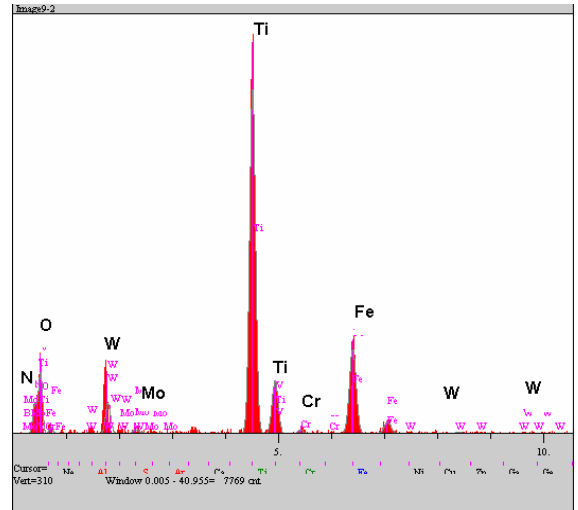
(a)



(b)

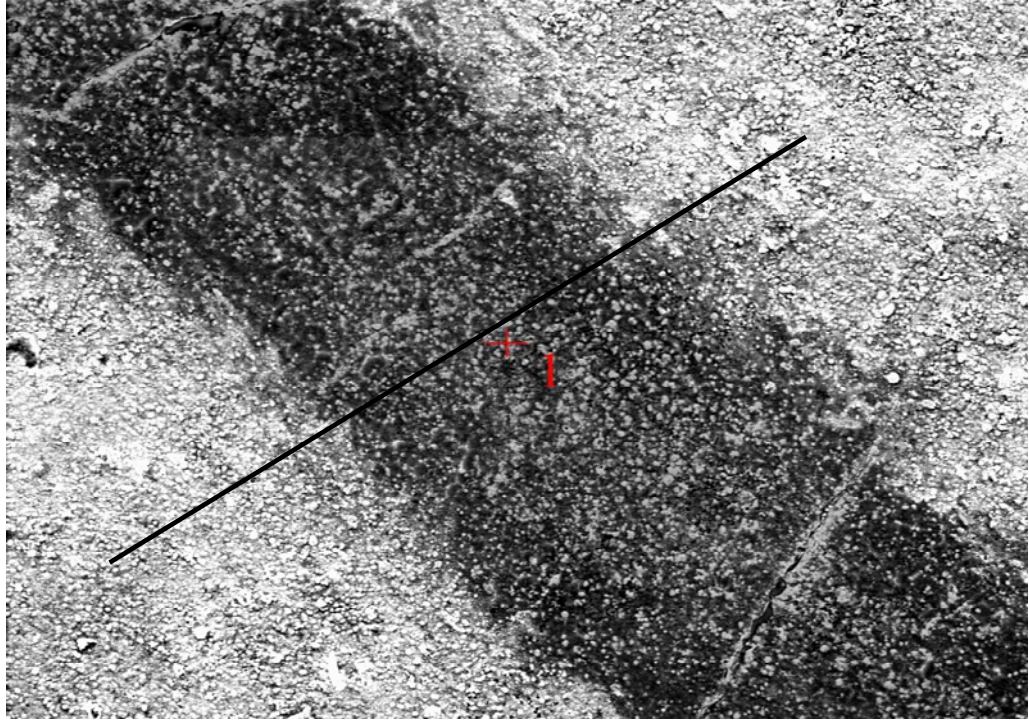


(c)

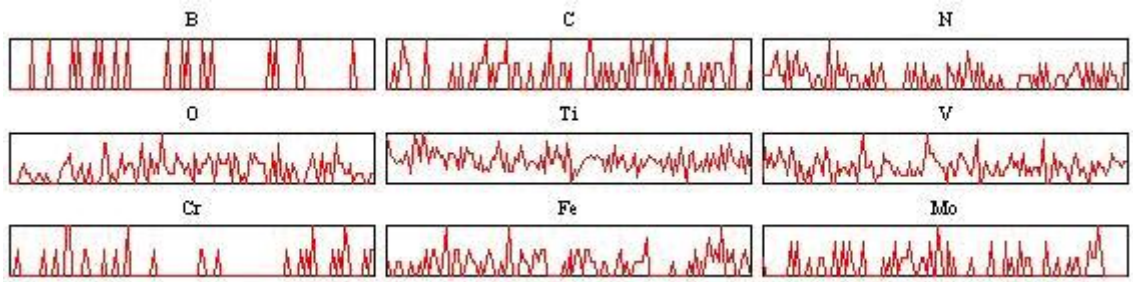


(d)

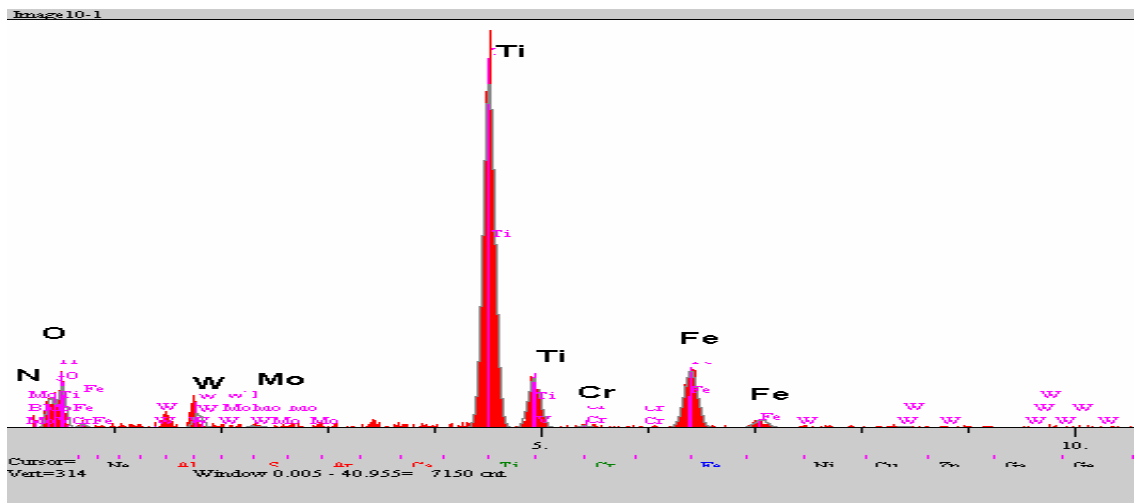
Şekil 6.112. 2N yük altında ve 0,1 m/s hızda AISI 440 C bilye ile aşındırılan AISI M2 çeliğinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı (d) katmanlaşmış bölgenin noktasal analiz diyagramı



(a)

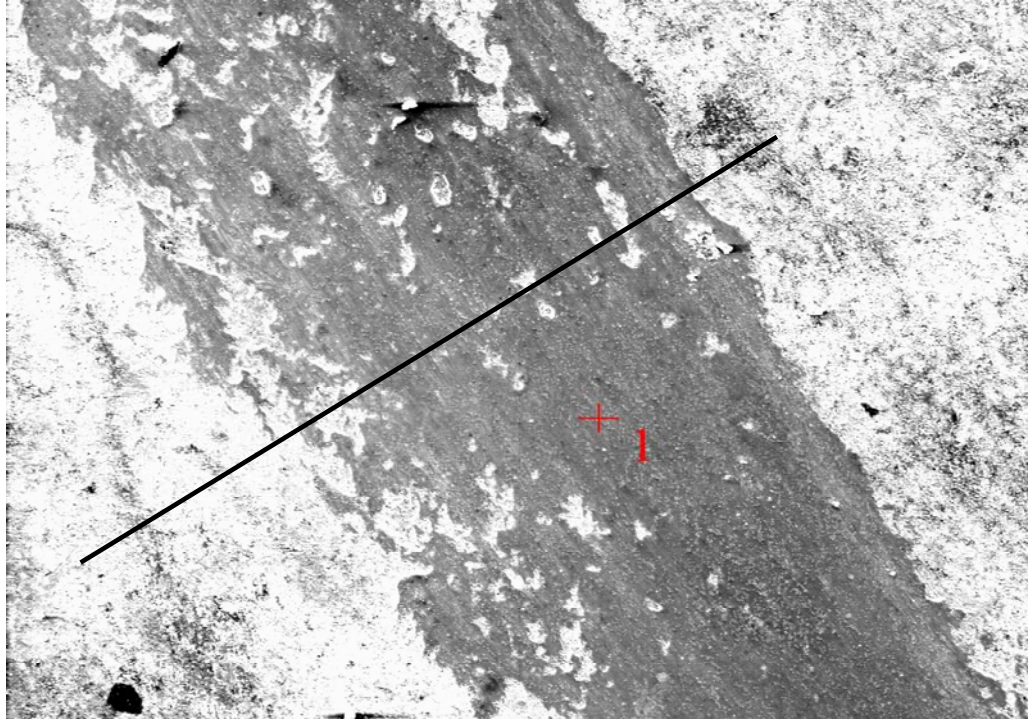


(b)

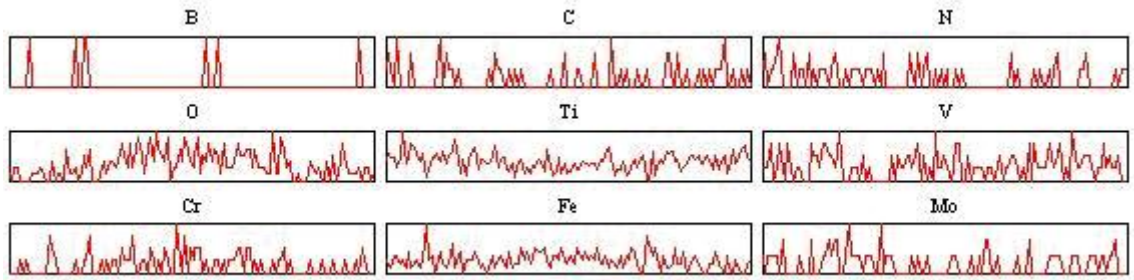


(c)

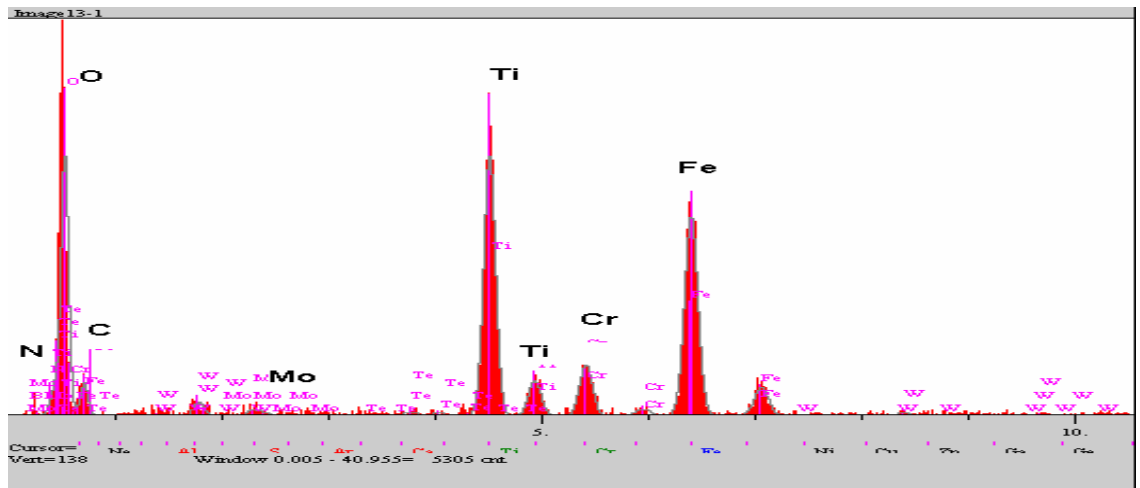
Şekil 6.113. 2N yük altında ve 0,3 m/s hızda  $Al_2O_3$  bilye ile aşındırılan AISI M2 çeliğinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı



(a)

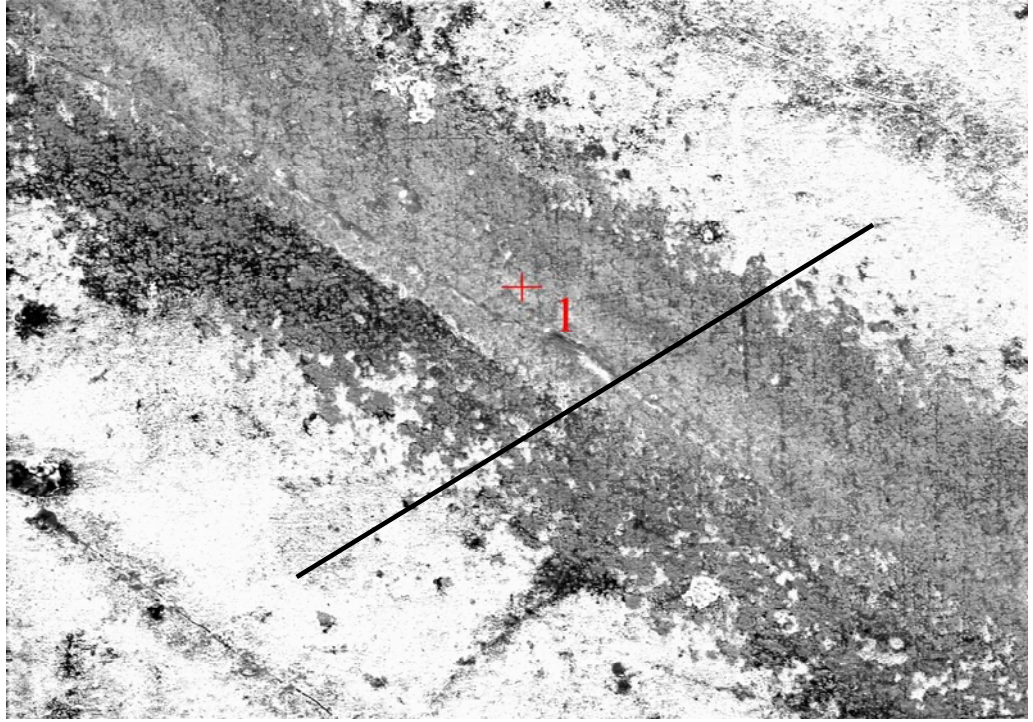


(b)

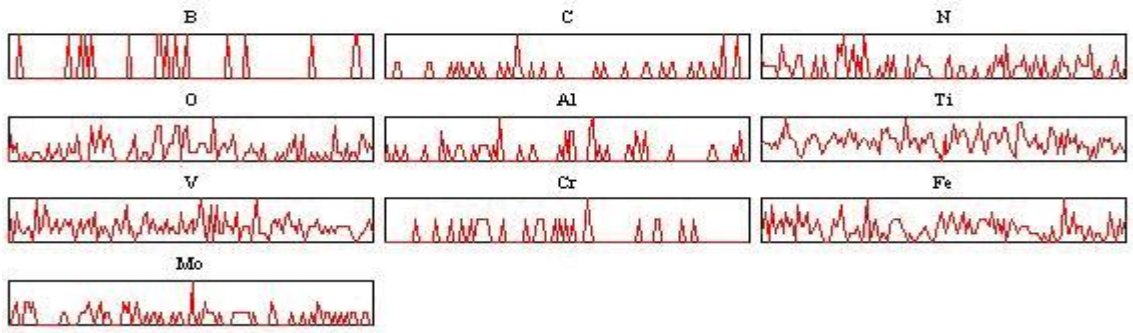


(c)

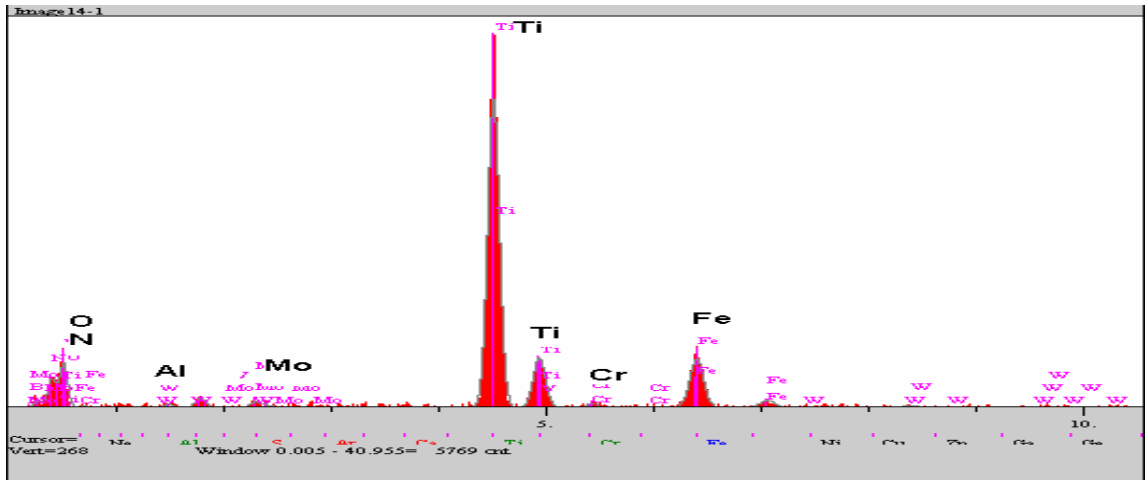
Şekil 6.114. 2N yük altında ve 0,3 m/s hızda AISI 440 C bilye ile aşındırılan AISI M2 çeliğinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı



(a)

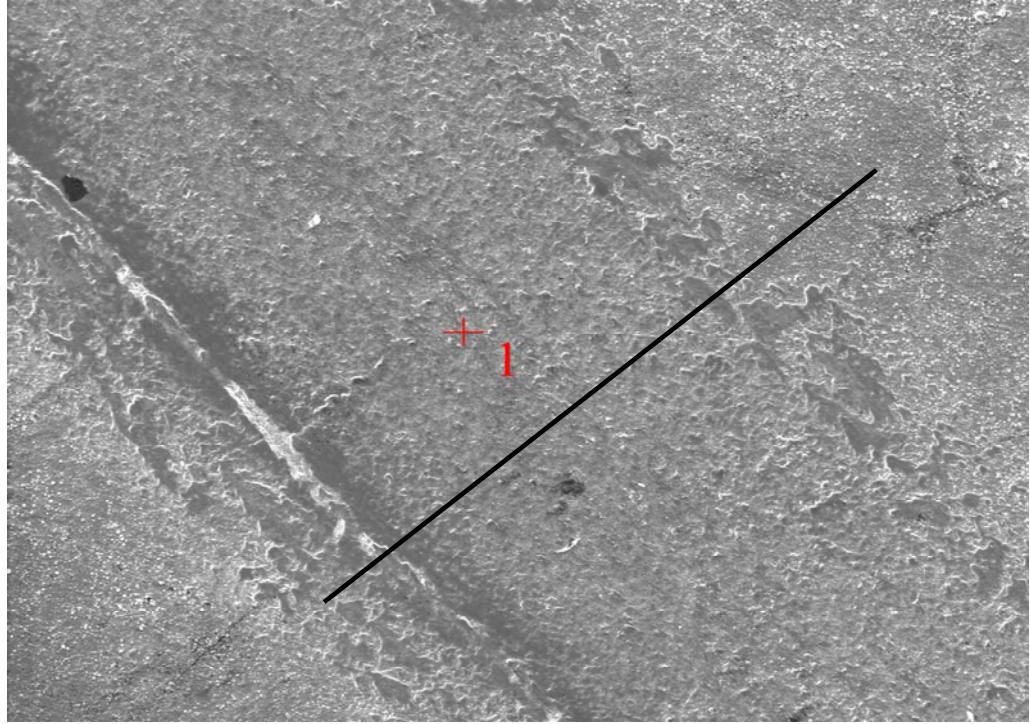


(b)

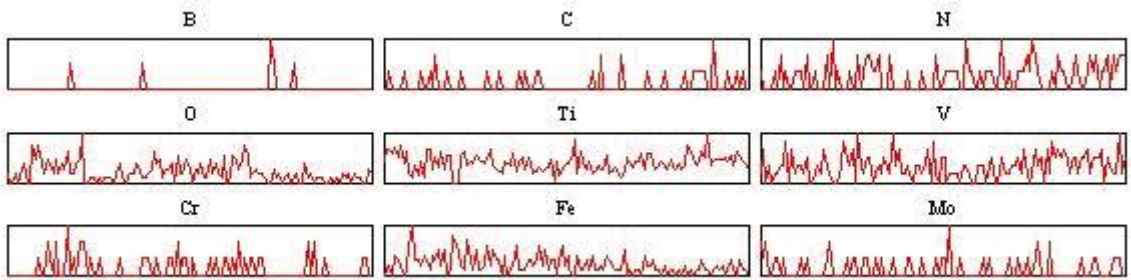


(c)

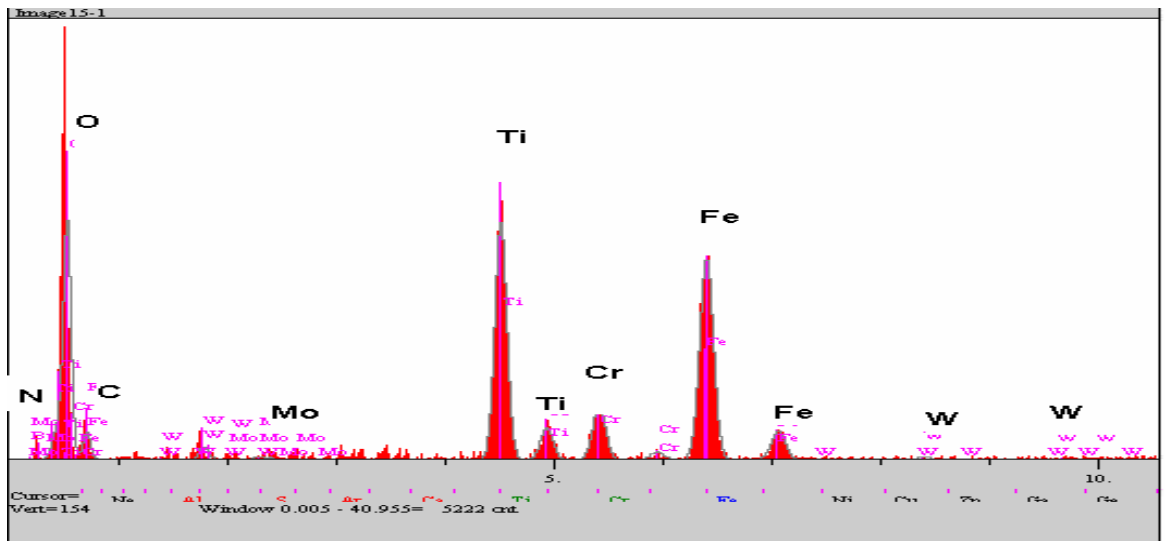
Şekil 6.115. 2N yük altında ve 0,5 m/s hızda  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılan AISI M2 çeliğinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde linear analiz alınan bölge (b) elementlerin linear analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı



(a)



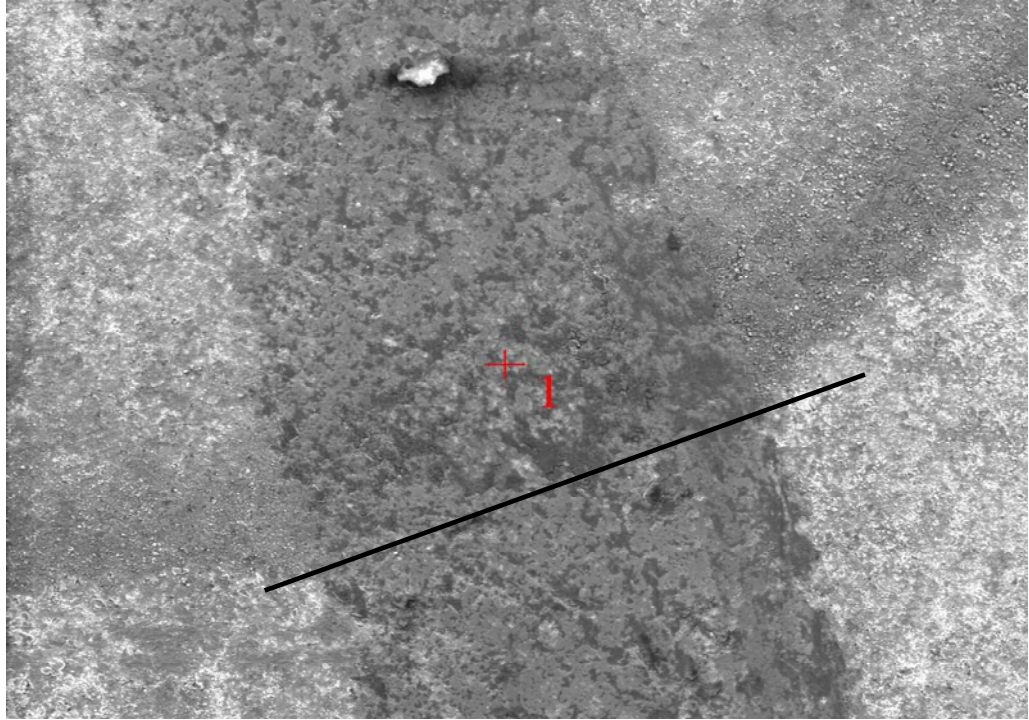
(b)



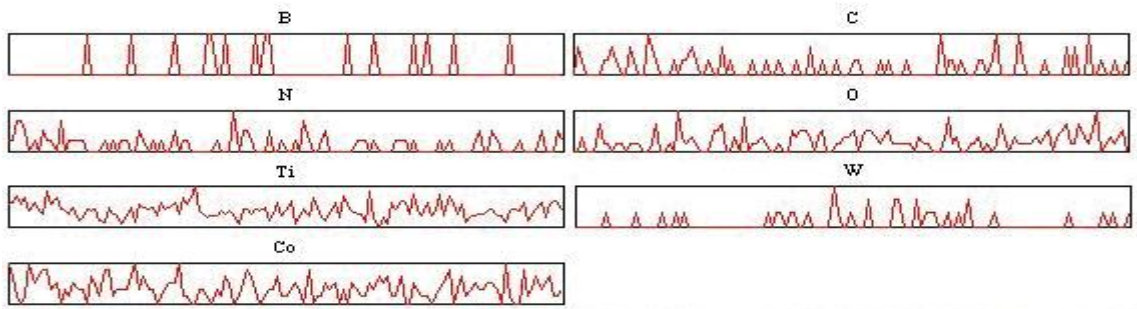
(c)

Şekil 6.116. 2N yük altında ve 0,5 m/s hızda AISI 440 C bilye ile aşındırılan AISI M2 çeliğinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı

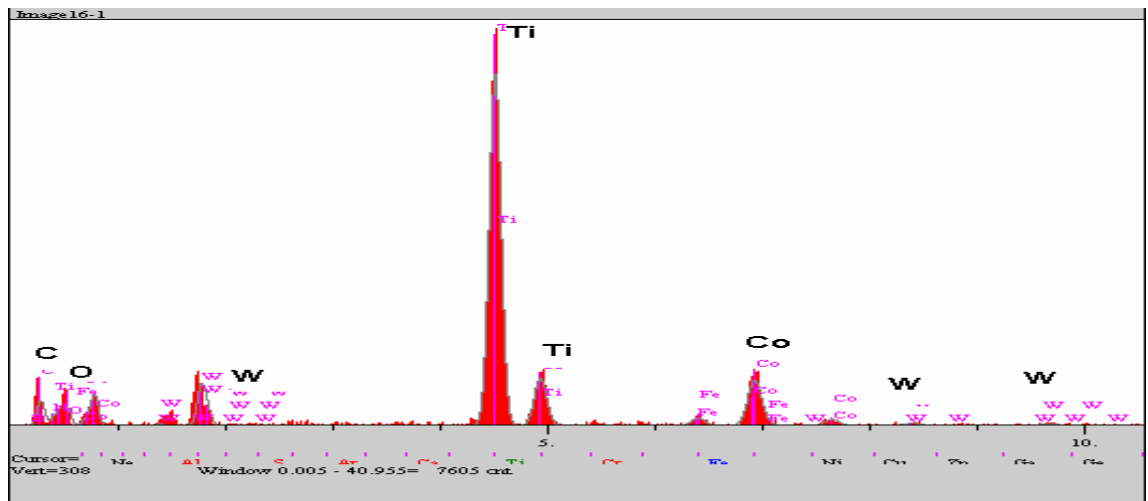




(a)

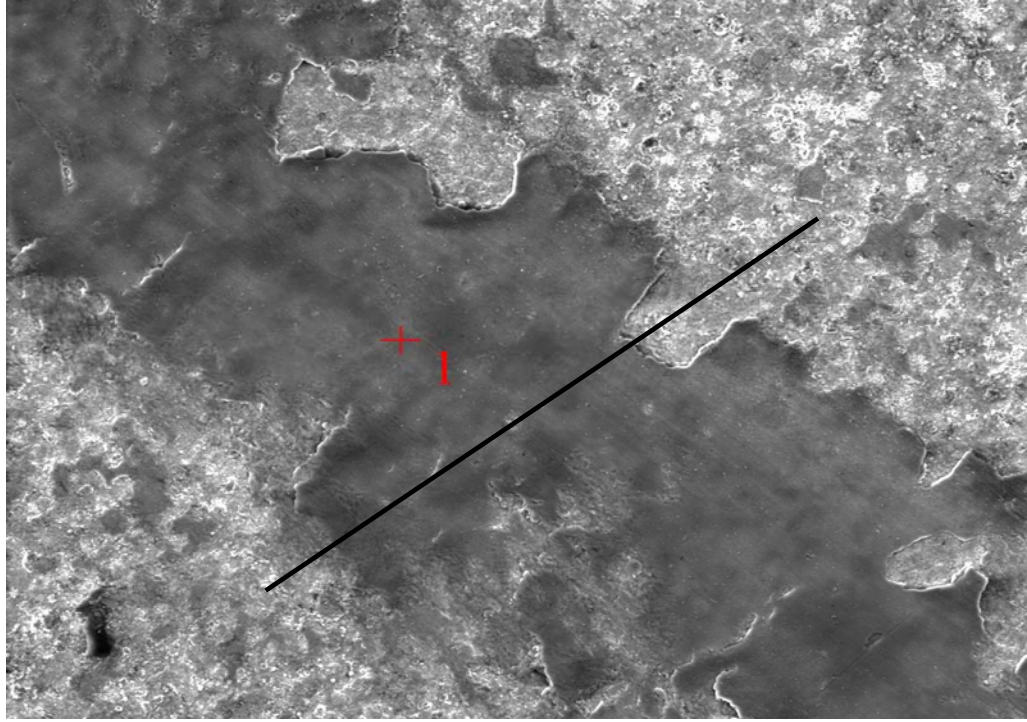


(b)

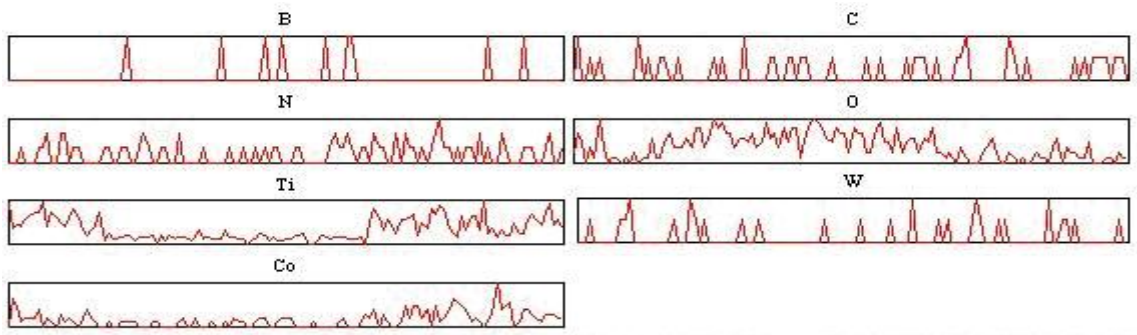


(c)

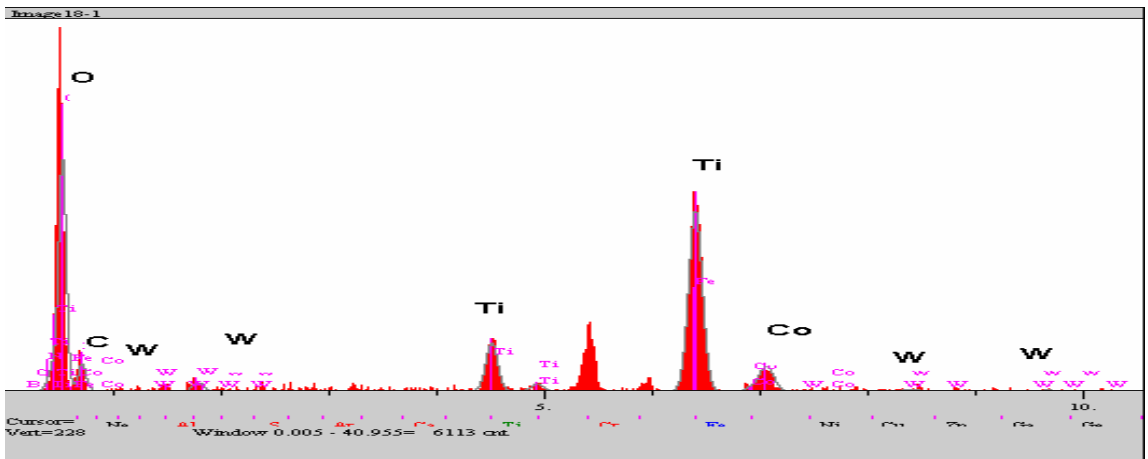
Şekil 6.117. 2N yük altında ve 0,1 m/s hızda  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı



(a)

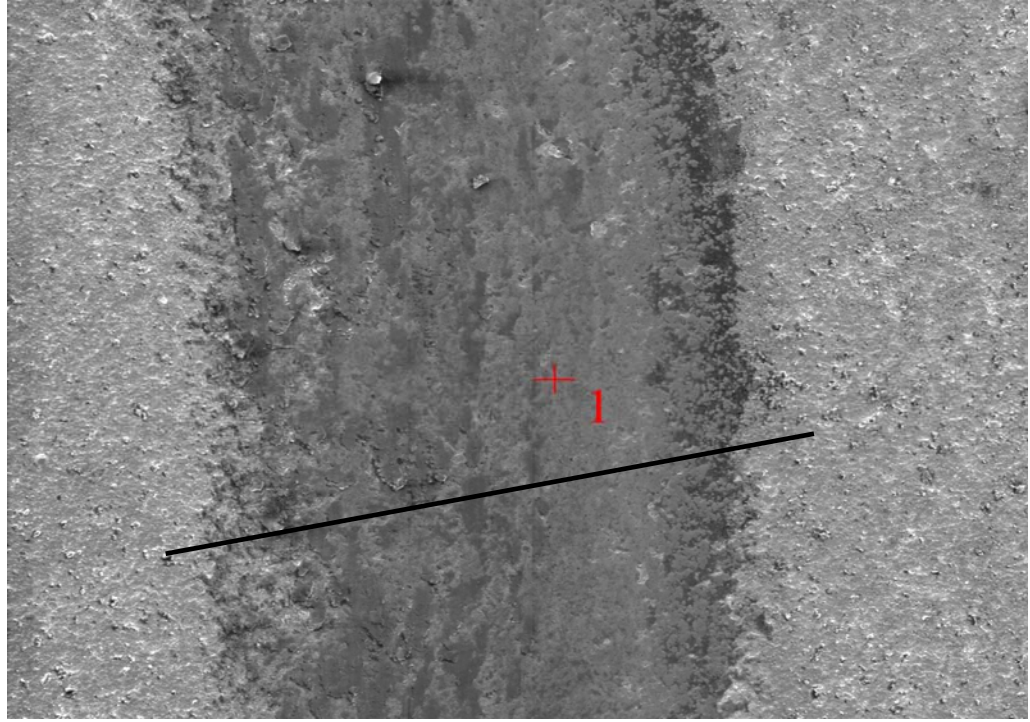


(b)

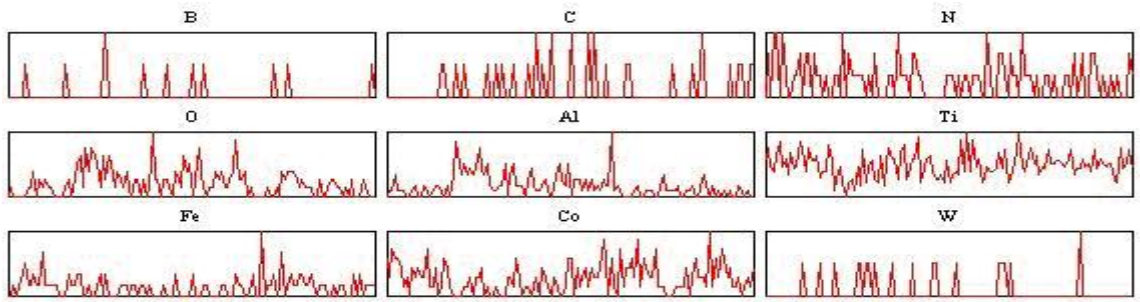


(c)

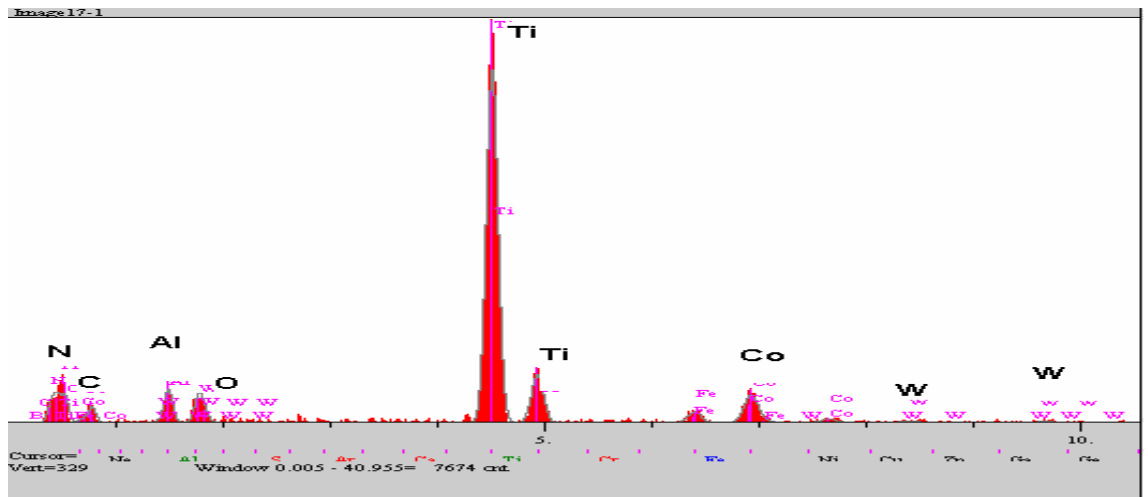
Şekil 6.118. 2N yük altında ve 0,1 m/s hızda AISI 440 C bılye ile aşındırılan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde linear analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı



(a)

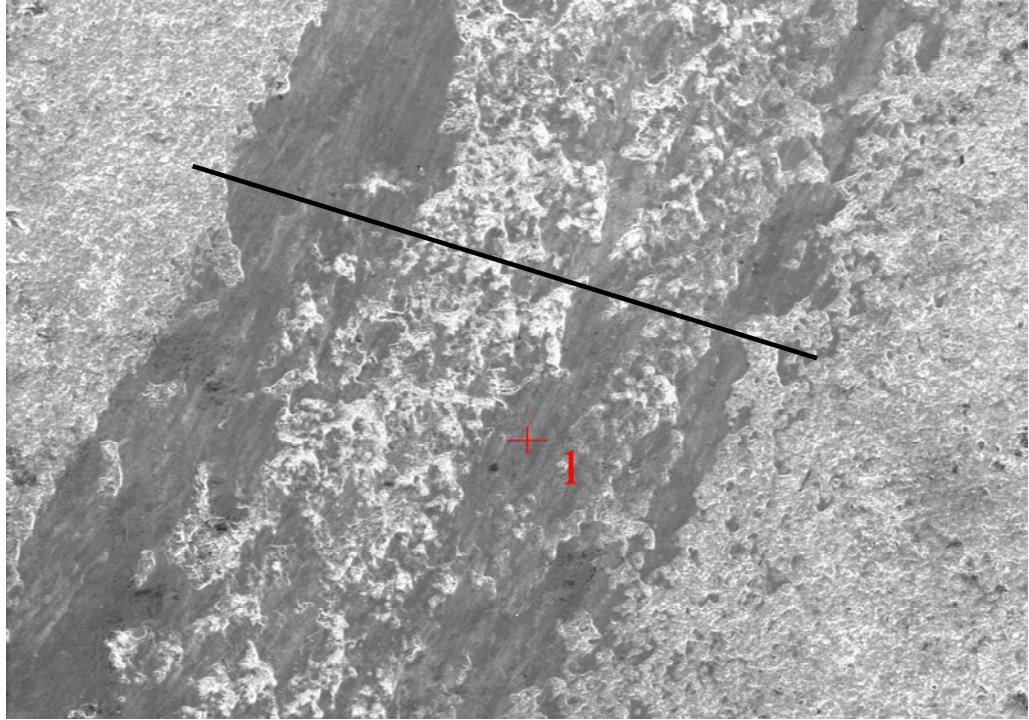


(b)

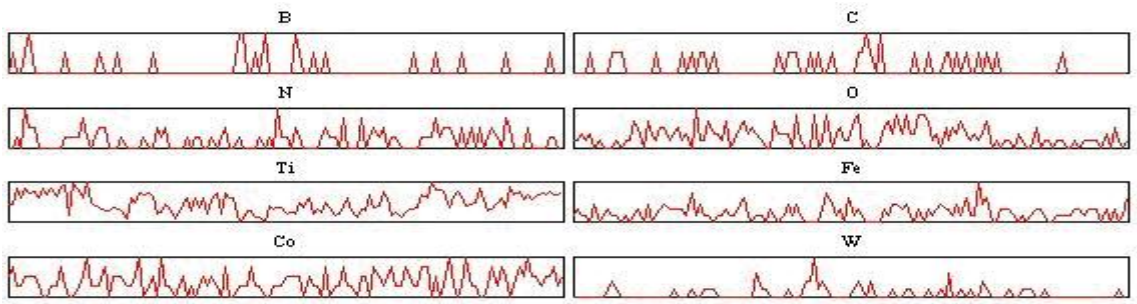


(c)

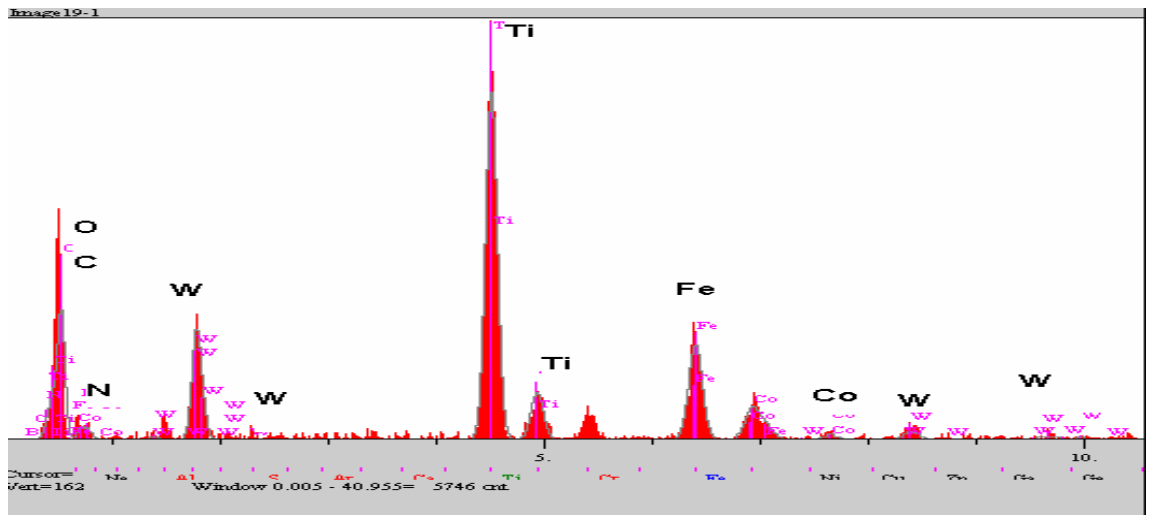
Şekil 6.119. 2N yük altında ve 0,3 m/s hızda  $Al_2O_3$  bilye ile aşındırılan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı



(a)

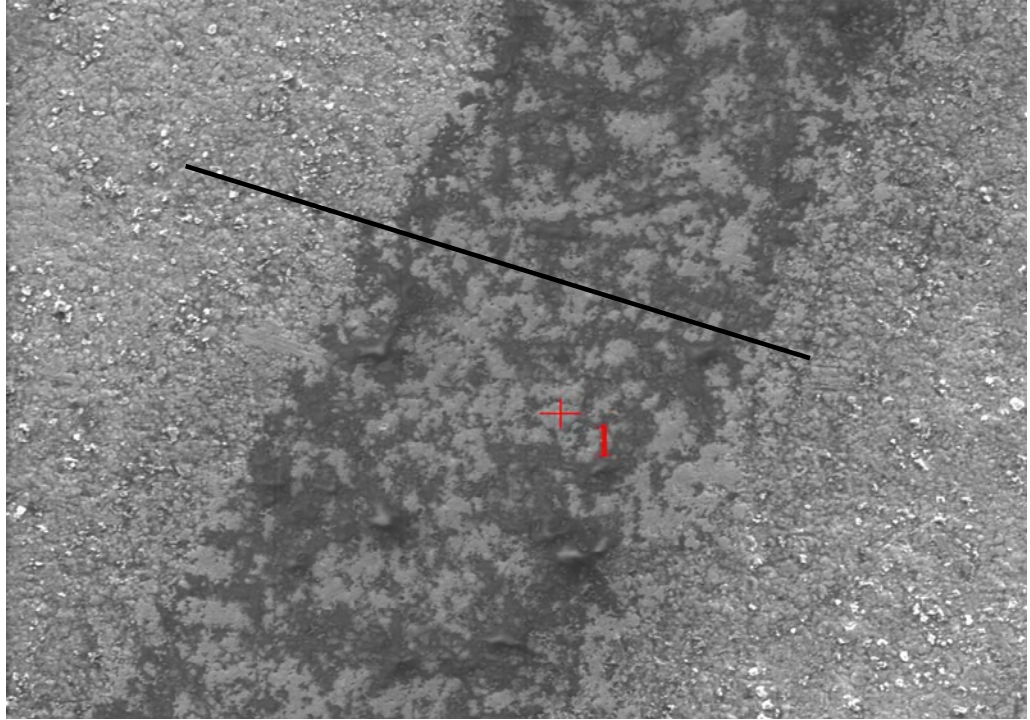


(b)

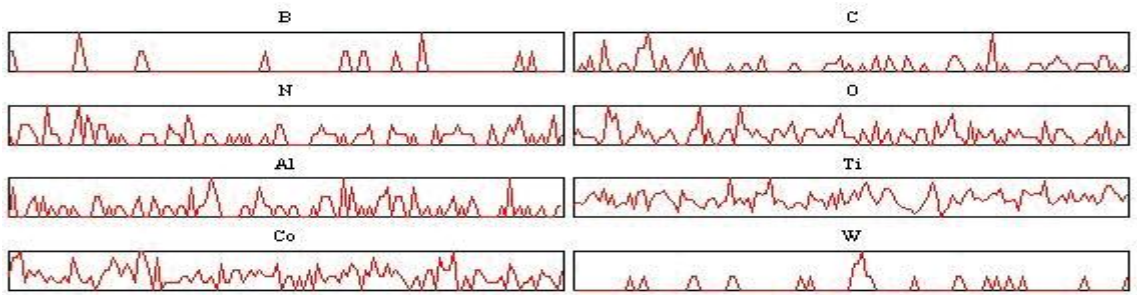


(c)

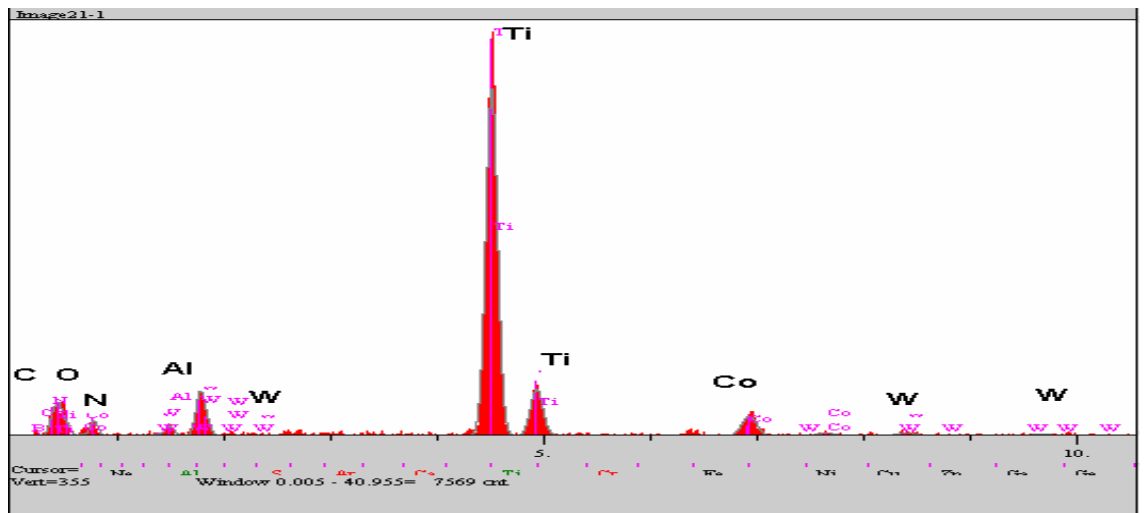
Şekil 6.120. 2N yük altında ve 0,3 m/s hızda AISI 440 C bilye ile aşındırılan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı



(a)

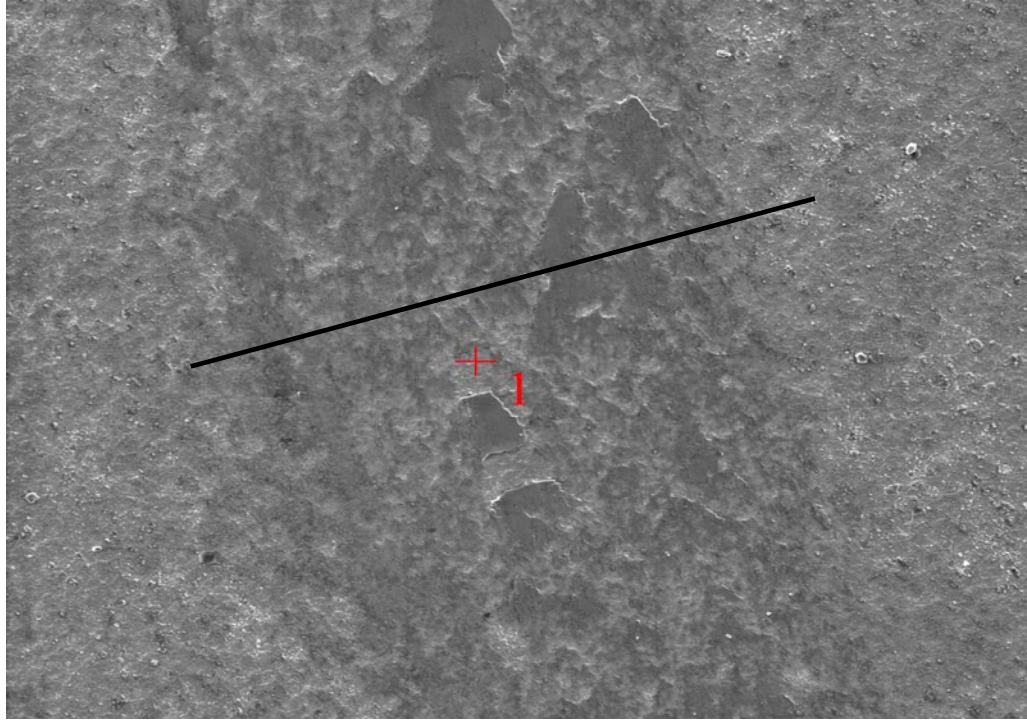


(b)

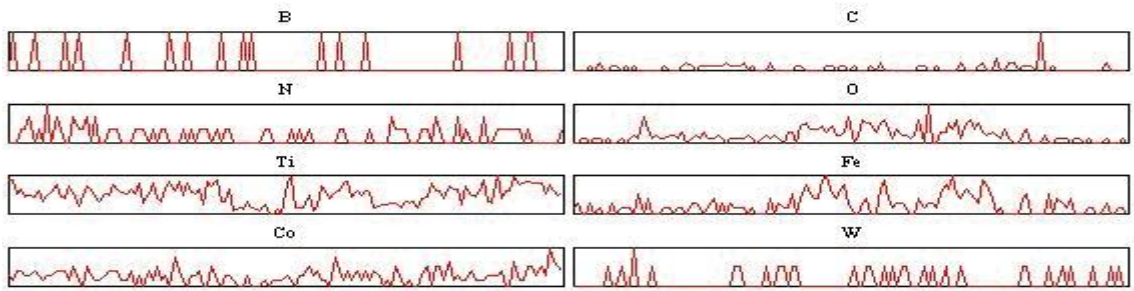


(c)

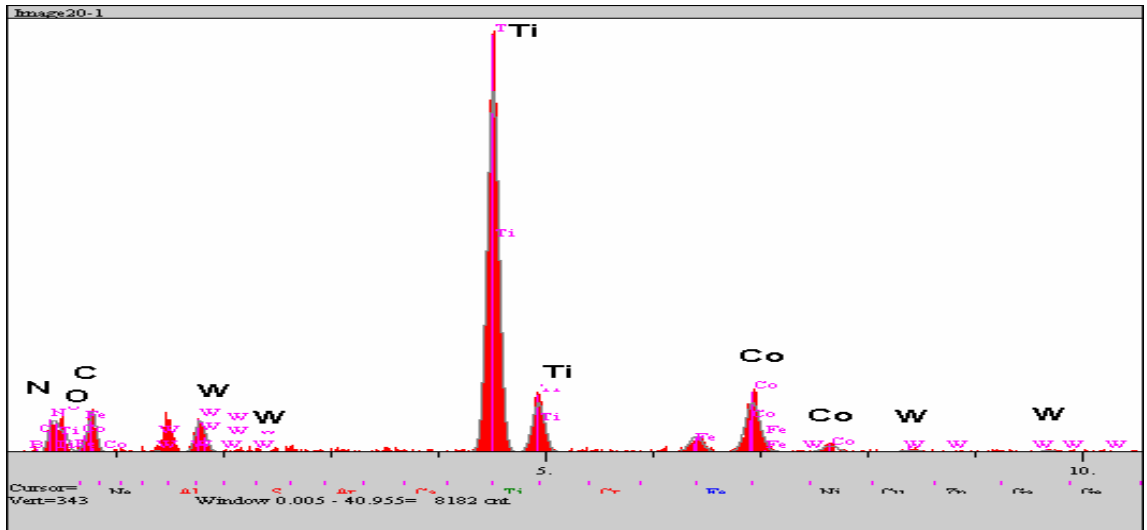
Şekil 6.121. 2N yük altında ve 0,5 m/s hızda  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı



(a)



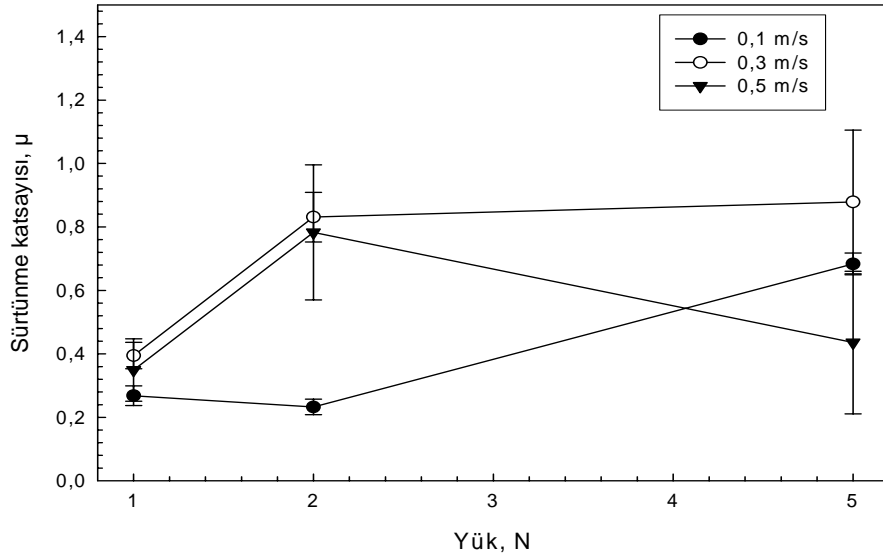
(b)



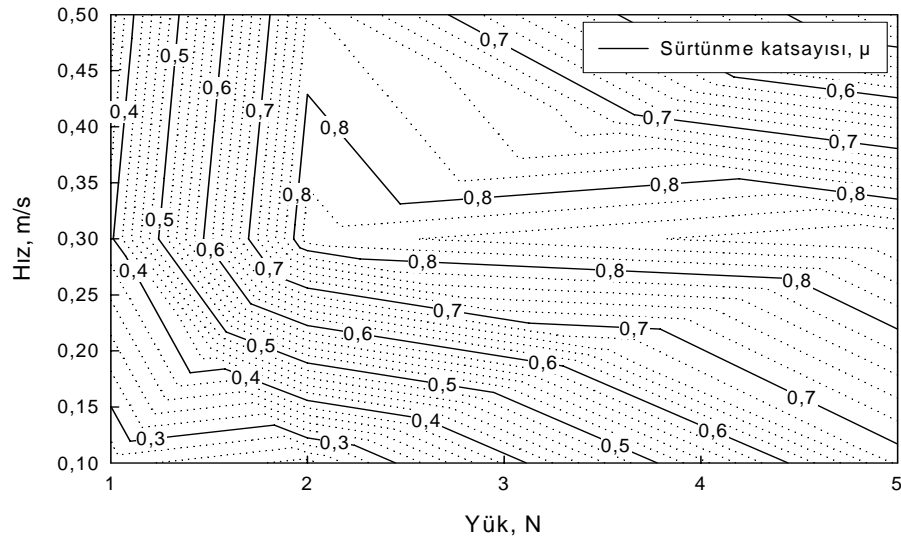
(c)

Şekil 6.122. 2N yük altında ve 0,5 m/s hızda AISI 440 C bilye ile aşındırılan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesinin aşınma yüzeyinin SEM mikro yapısı. (a) SEM mikro yapısı üzerinde lineer analiz alınan bölge (b) elementlerin lineer analiz dağılımları (c) aşınan bölgenin noktasal analiz diyagramı

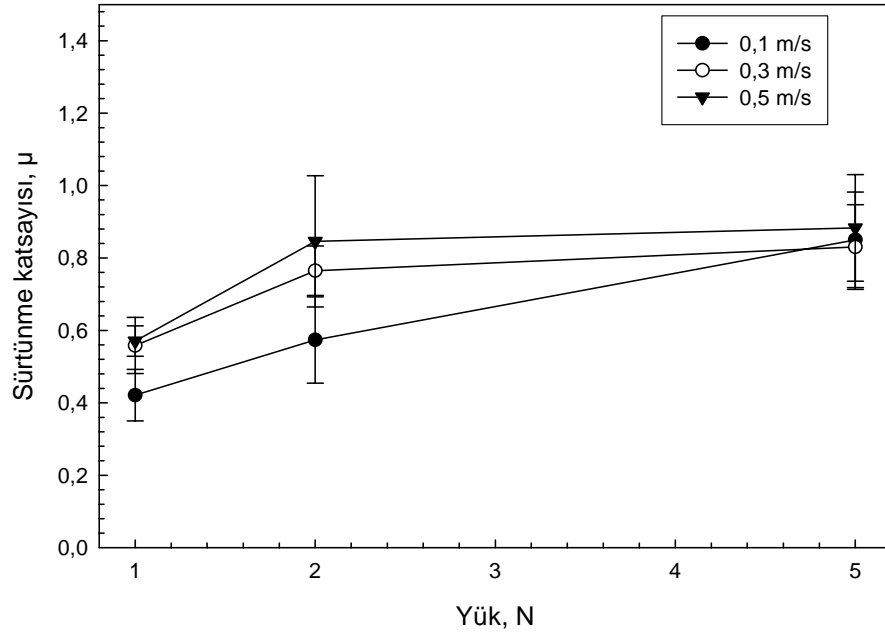
TiBCN kaplanmış AISI 1040, AISI M2 ve ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numuneler ile  $Al_2O_3$  ve AISI 440 C aşındırıcı bilyeler arasındaki sürtünme katsayıları uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak Şekil 6.123.-6.134.'de verilmiştir.



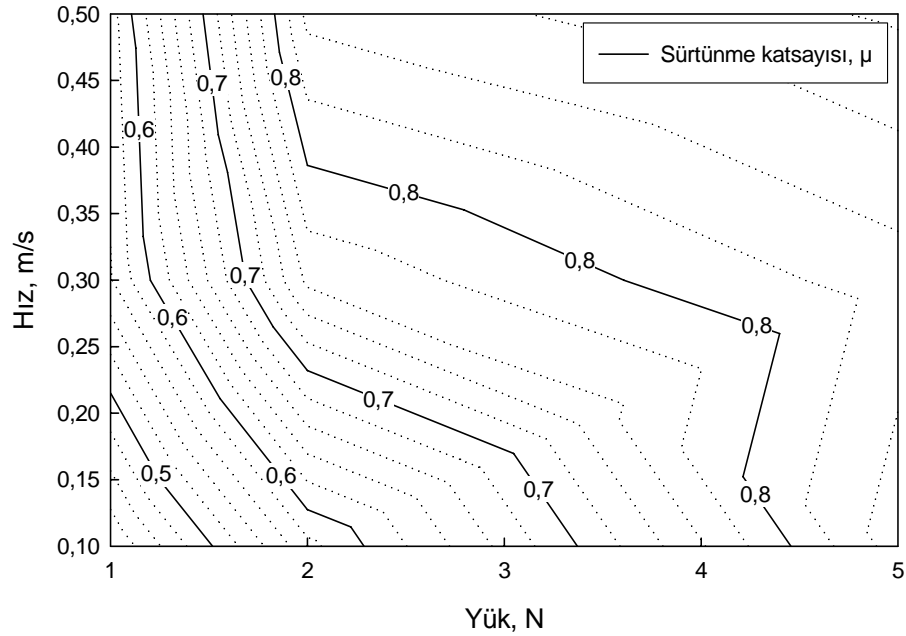
Şekil 6.123. TiBCN kaplanan AISI 1040 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimi.



Şekil 6.124. TiBCN kaplanan AISI 1040 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimini gösteren kontur diyagramı.

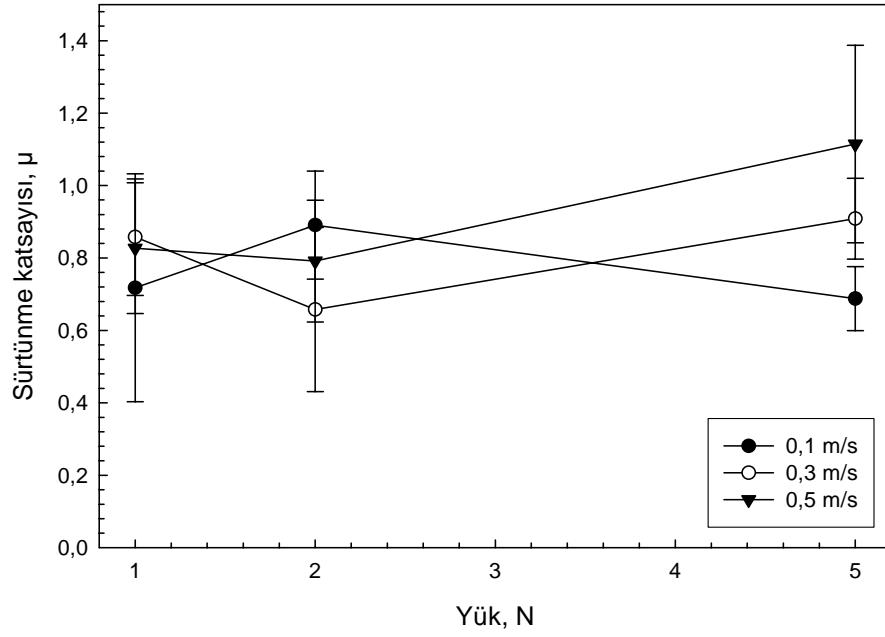


Şekil 6.125. TiBCN kaplanan AISI 1040 çelik numune ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimi.

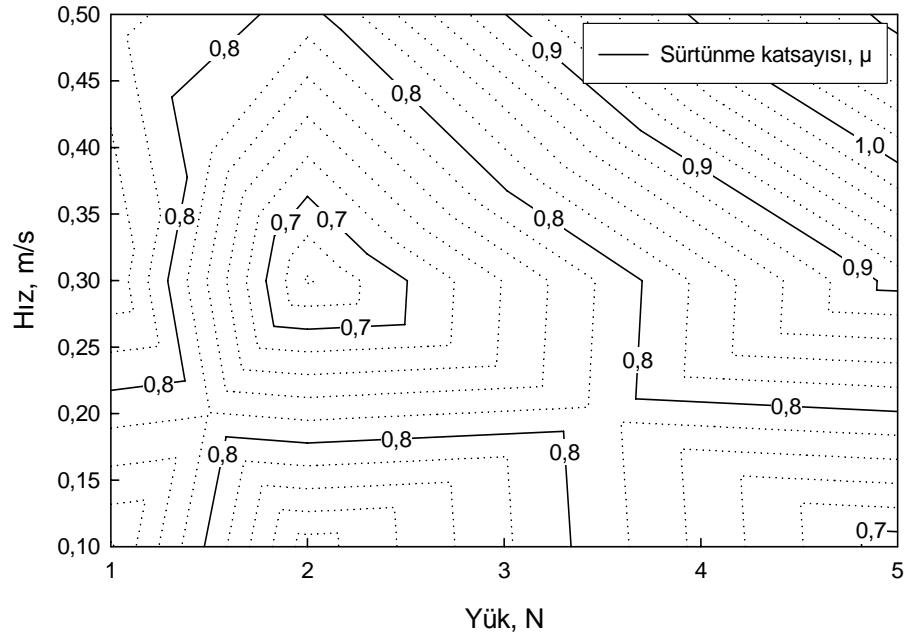


Şekil 6.126. TiBCN kaplanan AISI 1040 çelik numune ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimini gösteren kontur diyagramı.

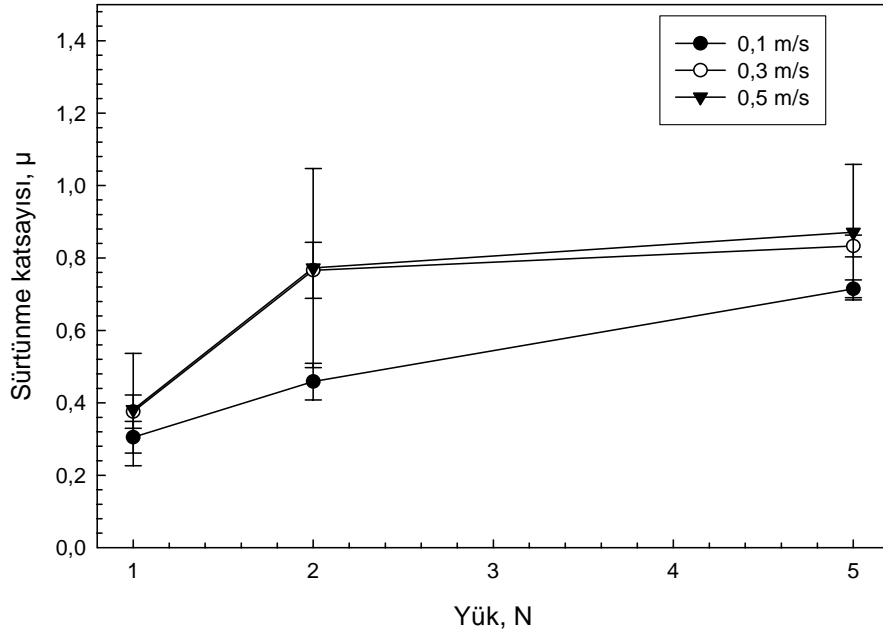




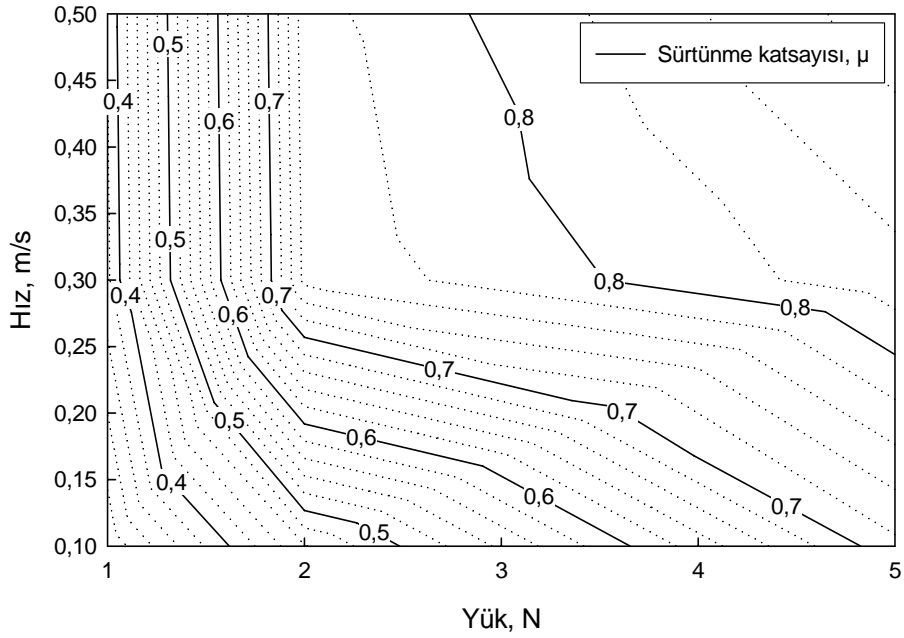
Şekil 6.127. TiBCN kaplanan AISI M2 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimi.



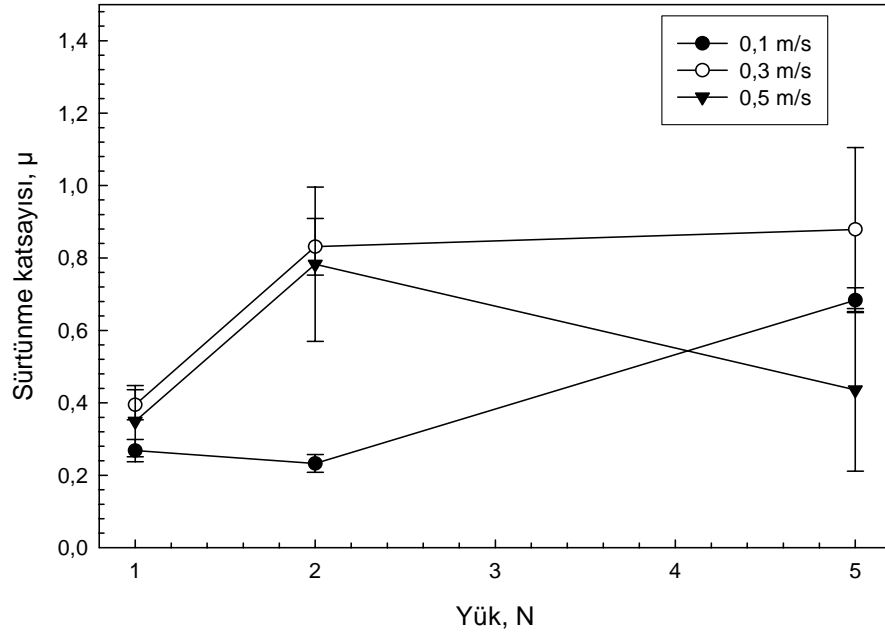
Şekil 6.128. TiBCN kaplanan AISI M2 çelik numune ile AISI 440 C bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimini gösteren kontur diyagramı



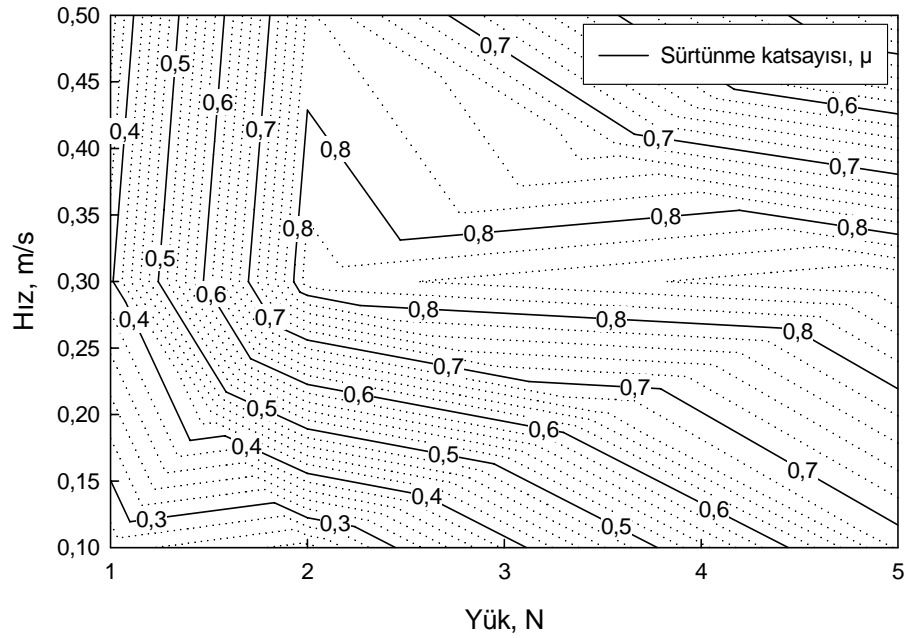
Şekil 6.129. TiBCN kaplanan AISI M2 çelik numune ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimi.



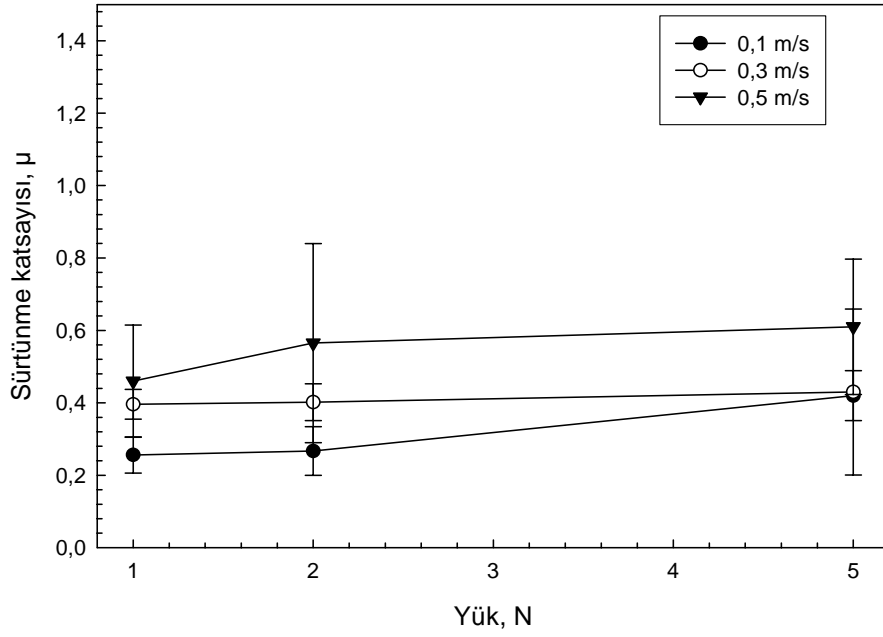
Şekil 6.130. TiBCN kaplanan AISI M2 çelik numune ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimini gösteren kontur diyagramı.



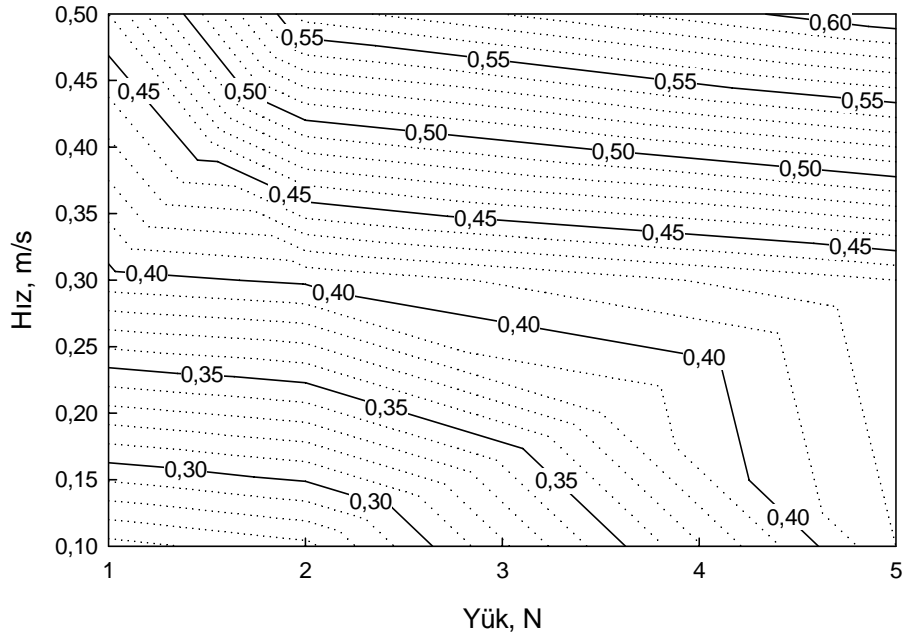
Şekil 6.131. TiBCN kaplanan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile AISI 440 C bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimi.



Şekil 6.132. TiBCN kaplanan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile AISI 440 C bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimini gösteren kontur diyagramı.

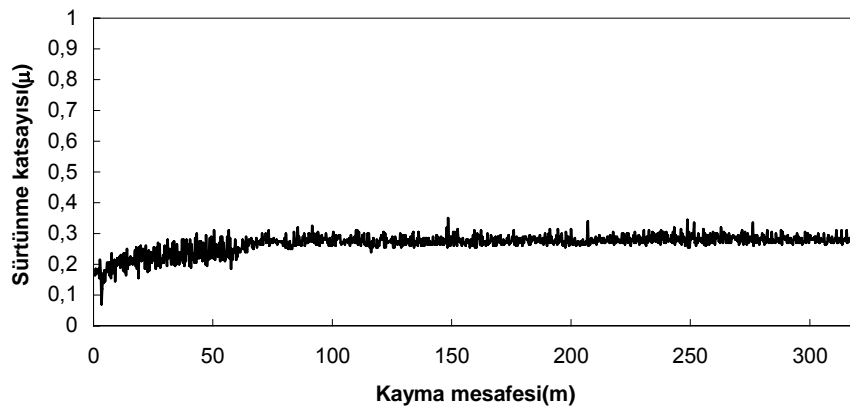


Şekil 6.133. TiBCN kaplanan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimi.

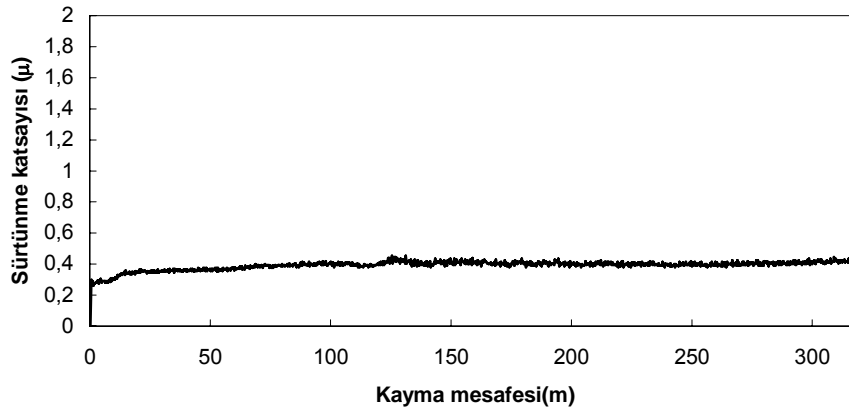


Şekil 6.134. TiBCN kaplanan ISO P 15-20 WC-Co kesici takım numunesi ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimini gösteren kontur diyagramı.

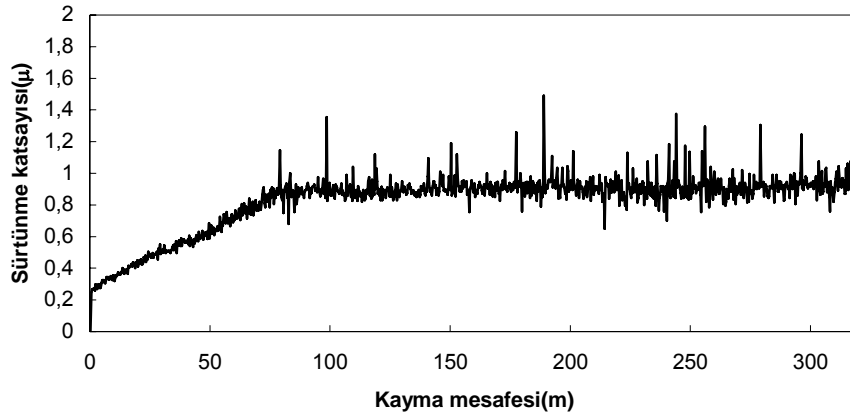
TiBCN kaplanmış her üç numune türünün  $Al_2O_3$  ve AISI 440 C bilyelere karşı sürtünme katsayılarının hızla ters orantılı olduğu görülmektedir.  $Al_2O_3$  bilye ile yapılan aşınma deneyleri sonrasında kaplanmış her üç numune içinde dar bir aralıkta seyrederken, AISI 440 C bilye ile yapılan aşınma deneyleri sonrasında kaplanmış üç numune için elde edilen sürtünme katsayısı değerleri daha geniş bir aralıkta seyretmektedir.



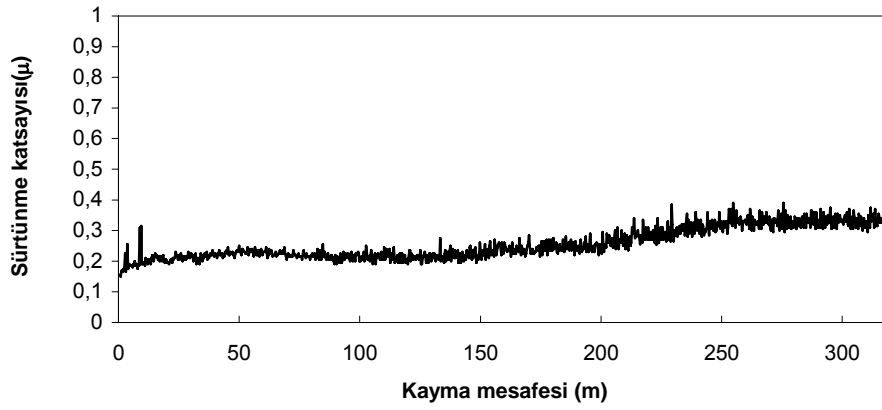
Şekil 6.135. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20WC-Co numunesi ile AISI 440 C bilye arasındaki 1N yük ve 0,1 m/s hızdaki sürtünme katsayısının değişimi.



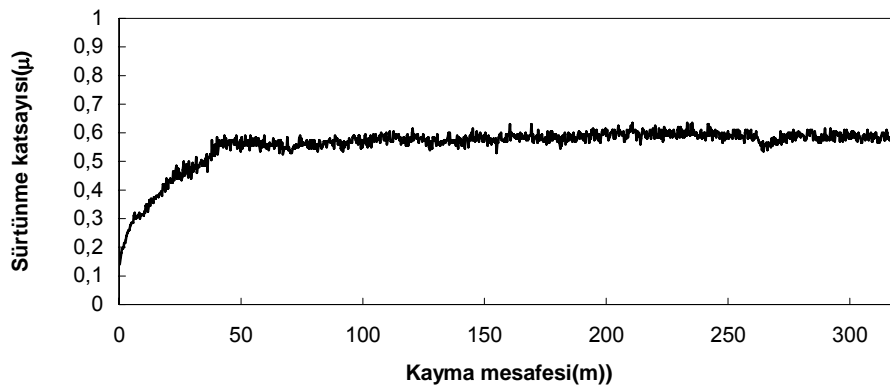
Şekil 6.136. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numunesi ile AISI 440 C bilye arasındaki 1N yük ve 0,1 m/s hızdaki sürtünme katsayısının değişimi



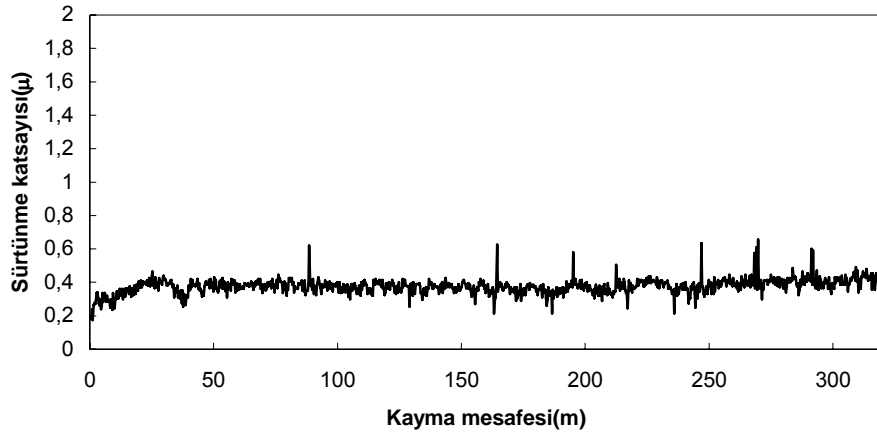
Şekil 6.137. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numunesi ile AISI 440 C bilye arasındaki 1N yük ve 0,5 m/s hızdaki sürtünme katsayısının değişimi.



Şekil 6.138. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20WC-Co numunesi ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 1N yük ve 0,1 m/s hızdaki sürtünme katsayısının değişimi.



Şekil 6.139. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numunesi ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 1N yük ve 0,1 m/s hızdaki sürtünme katsayısının değişimi.



Şekil 6.140. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numunesi ile  $Al_2O_3$  bilye arasındaki 1N yük ve 0,3 m/s hızdaki sürtünme katsayısının değişimi

TiBCN kaplanmış AISI 1010, AISI M2 çelik numuneleri ile ISO P 15-20 WC-Co kesici takımının  $Al_2O_3$  bilyeye karşı oluşan hacimlerdeki değişim uygulanan yüklere bağlı olarak Tablo 6.2.-6.4.’ de ve Şekil 6.141.-6.149 ‘de gösterilmiştir. Aynı şekilde AISI 1010, AISI M2 çelik numuneleri ile ISO P 15-20 WC-Co kesici takımının  $Al_2O_3$  bilyeye karşı oluşan aşınma hızlarındaki değişim Tablo 6.5.-6.7.’de ve Şekil 6.150-152’ de gösterilmiştir.

Tablo 6.2.  $Al_2O_3$  bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış AISI 1040 çeliğinin aşınma hacmi değişimi.

TiBCN kaplanmış AISI 1040 çeliğinin aşınma hacimleri ( $mm^3$ )									
Hız	0,1 m/s			0,3 m/s			0,5m/s		
Yük	1N	2N	5N	1N	2N	5N	1N	2N	5N
80	$5,74e^{-5}$	$5,70e^{-4}$	$8,55e^{-4}$	$2,66e^{-4}$	$4,71e^{-4}$	$2,01e^{-3}$	$4,09e^{-4}$	$8,09e^{-4}$	$1,36e^{-3}$
160	$3,27e^{-4}$	$1,02e^{-3}$	$1,66e^{-3}$	$5,65e^{-4}$	$9,94e^{-4}$	$3,39e^{-3}$	$7,41e^{-4}$	$1,51e^{-3}$	$3,39e^{-3}$
240	$8,01e^{-4}$	$1,32e^{-3}$	$2,65e^{-3}$	$8,28e^{-4}$	$1,69e^{-3}$	$6,01e^{-3}$	$8,68e^{-4}$	$2,71e^{-3}$	$4,70e^{-3}$
320	$9,42e^{-4}$	$1,58e^{-3}$	$2,96e^{-3}$	$1,02e^{-4}$	$2,10e^{-3}$	$7,27e^{-3}$	$9,55e^{-4}$	$2,99e^{-3}$	$6,09e^{-3}$

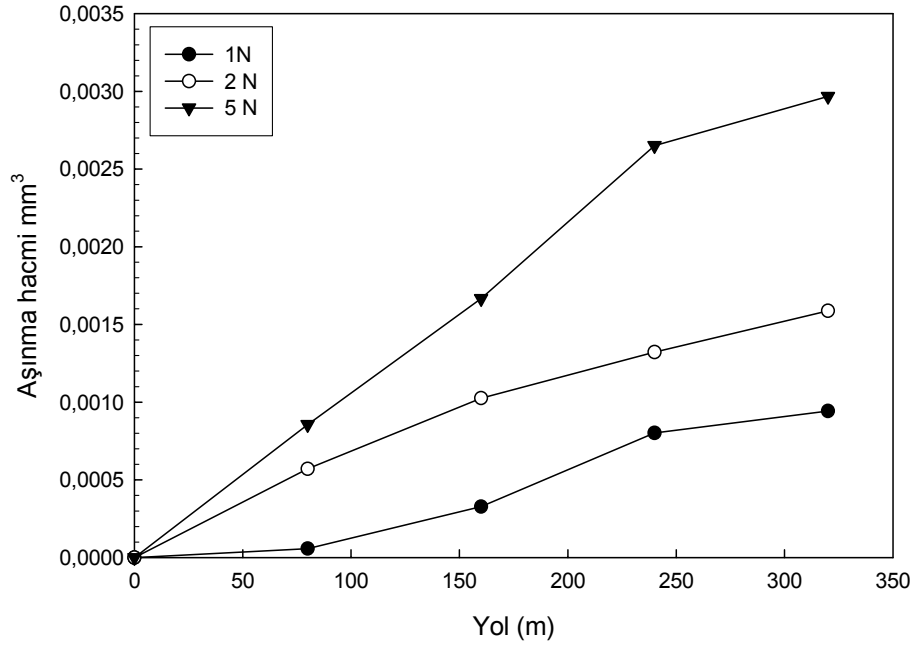
Tablo 6.3. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış AISI M2 çeliğinin aşınma hacmi değişimi.

TiBCN kaplanmış AISI M2 çeliğinin aşınma hacimleri (mm <sup>3</sup> )									
Hız	0,1 m/s			0,3 m/s			0,5m/s		
Yük	1N	2N	5N	1N	2N	5N	1N	2N	5N
80	1,11x10 <sup>-4</sup>	1,71x10 <sup>-4</sup>	2,30x10 <sup>-4</sup>	1,29x10 <sup>-4</sup>	2,079x10 <sup>-4</sup>	3,09x10 <sup>-4</sup>	2,04x10 <sup>-4</sup>	2,04x10 <sup>-4</sup>	8,49x10 <sup>-4</sup>
160	2,07x10 <sup>-4</sup>	2,99x10 <sup>-4</sup>	5,51x10 <sup>-4</sup>	2,39x10 <sup>-4</sup>	3,45x10 <sup>-4</sup>	6,22x10 <sup>-4</sup>	3,43x10 <sup>-4</sup>	3,43x10 <sup>-4</sup>	1,65x10 <sup>-3</sup>
240	3,66x10 <sup>-4</sup>	5,28x10 <sup>-4</sup>	8,04x10 <sup>-4</sup>	4,58x10 <sup>-4</sup>	6,10x10 <sup>-4</sup>	9,06x10 <sup>-4</sup>	5,16x10 <sup>-4</sup>	5,16x10 <sup>-4</sup>	2,25x10 <sup>-3</sup>
320	5,07x10 <sup>-4</sup>	5,62x10 <sup>-4</sup>	1,30x10 <sup>-3</sup>	6,21x10 <sup>-4</sup>	7,18x10 <sup>-4</sup>	1,32x10 <sup>-4</sup>	6,88x10 <sup>-4</sup>	6,88x10 <sup>-4</sup>	2,61x10 <sup>-3</sup>

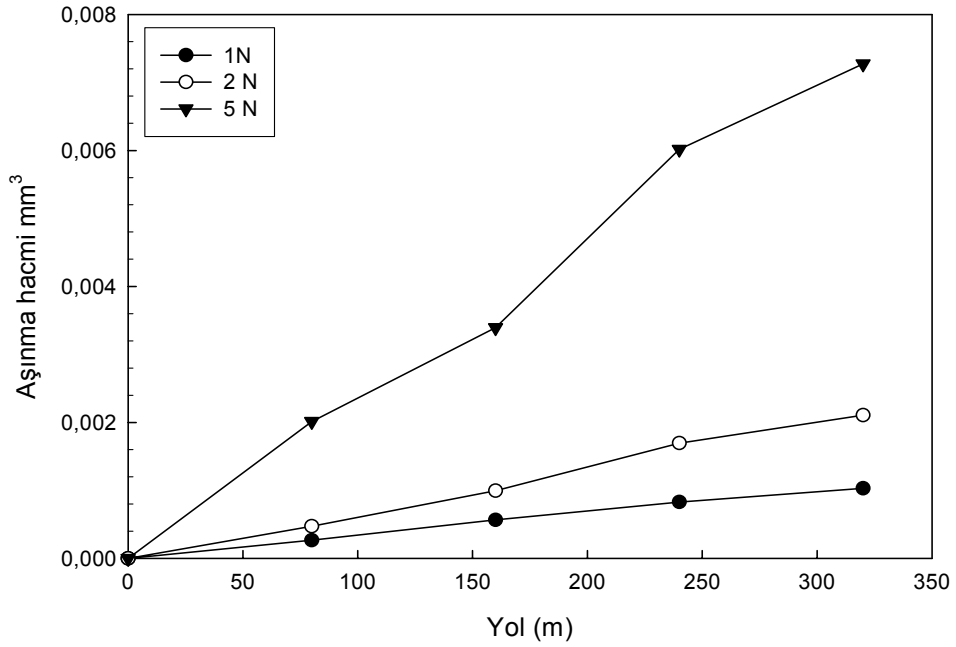
Tablo 6.4. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımının aşınma hacmi değişimi.

TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımının aşınma hacimleri (mm <sup>3</sup> )									
Hız	0,1 m/s			0,3 m/s			0,5m/s		
Yük	1N	2N	5N	1N	2N	5N	1N	2N	5N
80	3,07x10 <sup>-4</sup>	5,26x10 <sup>-4</sup>	1,29x10 <sup>-3</sup>	2,56x10 <sup>-4</sup>	4,42x10 <sup>-4</sup>	9,77x10 <sup>-4</sup>	6,19x10 <sup>-4</sup>	7,79x10 <sup>-4</sup>	7,79x10 <sup>-4</sup>
160	4,80x10 <sup>-4</sup>	6,88x10 <sup>-4</sup>	2,04x10 <sup>-3</sup>	6,85x10 <sup>-4</sup>	1,09x10 <sup>-3</sup>	1,93x10 <sup>-3</sup>	1,04x10 <sup>-3</sup>	1,42x10 <sup>-3</sup>	1,42x10 <sup>-3</sup>
240	6,73x10 <sup>-4</sup>	8,14x10 <sup>-4</sup>	2,81x10 <sup>-3</sup>	1,13x10 <sup>-3</sup>	1,77x10 <sup>-3</sup>	2,95x10 <sup>-3</sup>	1,43x10 <sup>-3</sup>	1,94x10 <sup>-3</sup>	1,94x10 <sup>-3</sup>
320	7,26x10 <sup>-4</sup>	8,44x10 <sup>-4</sup>	3,30x10 <sup>-3</sup>	1,26x10 <sup>-3</sup>	2,17x10 <sup>-3</sup>	3,79x10 <sup>-3</sup>	1,65x10 <sup>-3</sup>	2,10x10 <sup>-3</sup>	2,10x10 <sup>-3</sup>

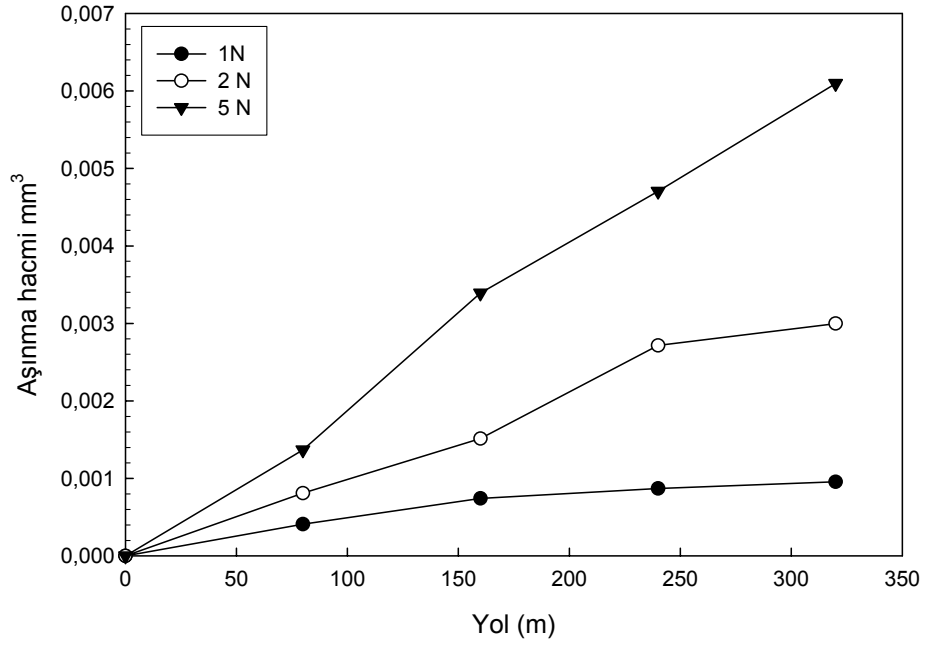




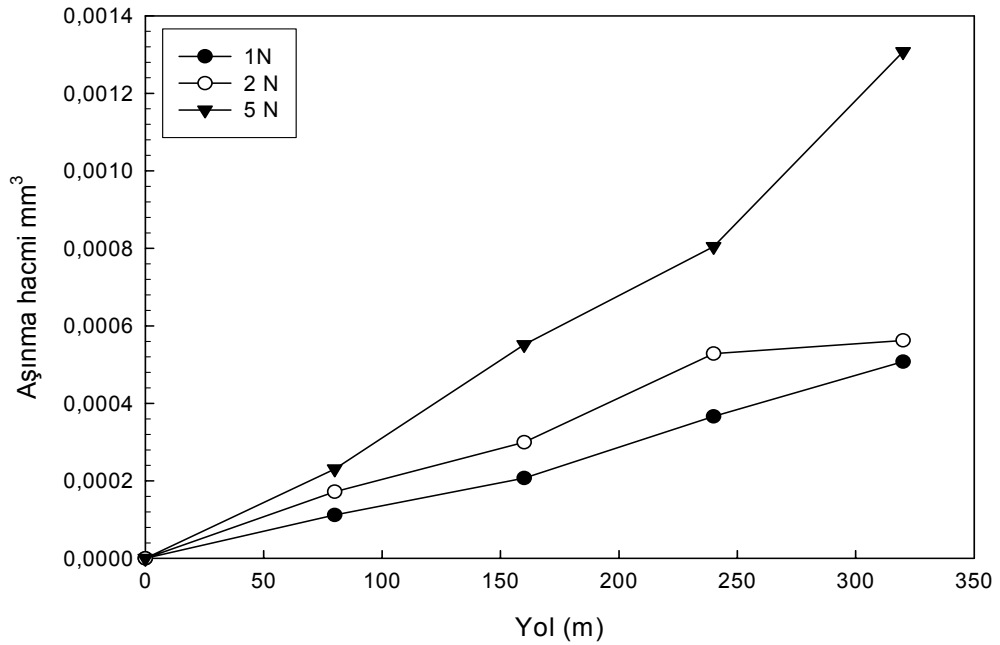
Şekil 6. 141.  $Al_2O_3$  bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış AISI 1040 çeliğinin 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,1 m/s hızındaki aşınma hacmi değişimi.



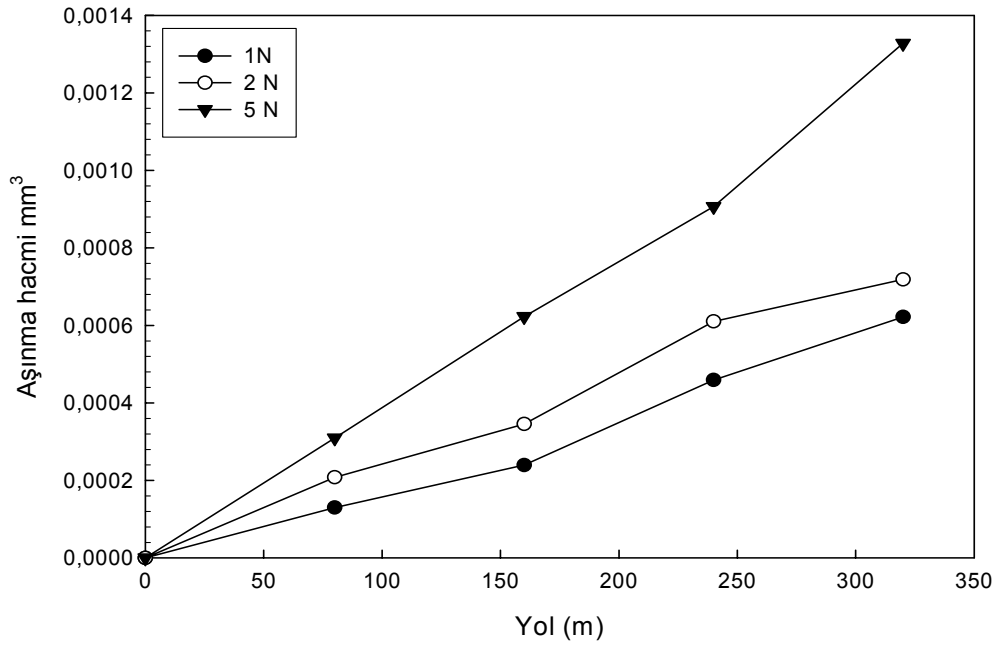
Şekil 6. 142.  $Al_2O_3$  bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış AISI 1040 çeliğinin 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,3 m/s hızındaki aşınma hacmi değişimi.



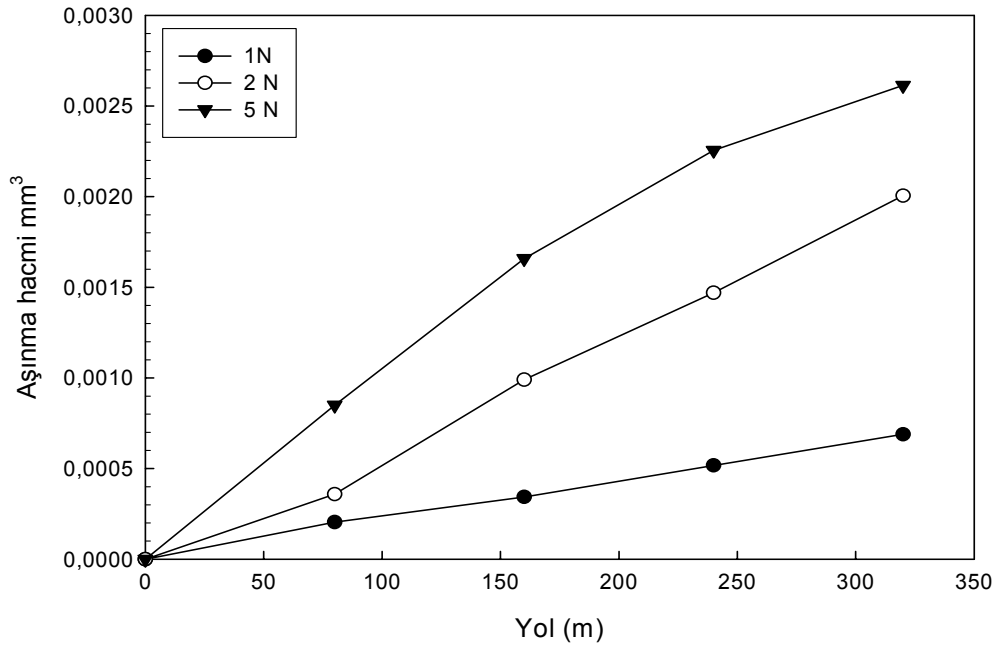
Şekil 6. 143.  $Al_2O_3$  bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış AISI 1040 çeliğinin 1N, 2N ve 5N yük altında , 0,5 m/s hızındaki aşınma hacmi değişimi.



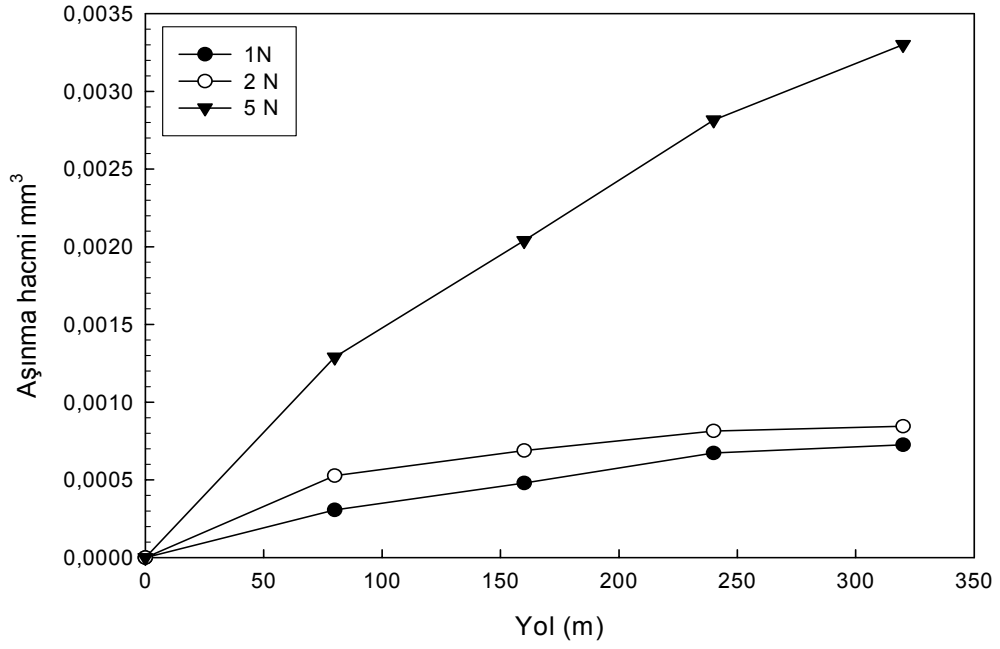
Şekil 6. 144.  $Al_2O_3$  bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış AISI M2 çeliğinin 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,1 m/s hızındaki aşınma hacmi değişimi.



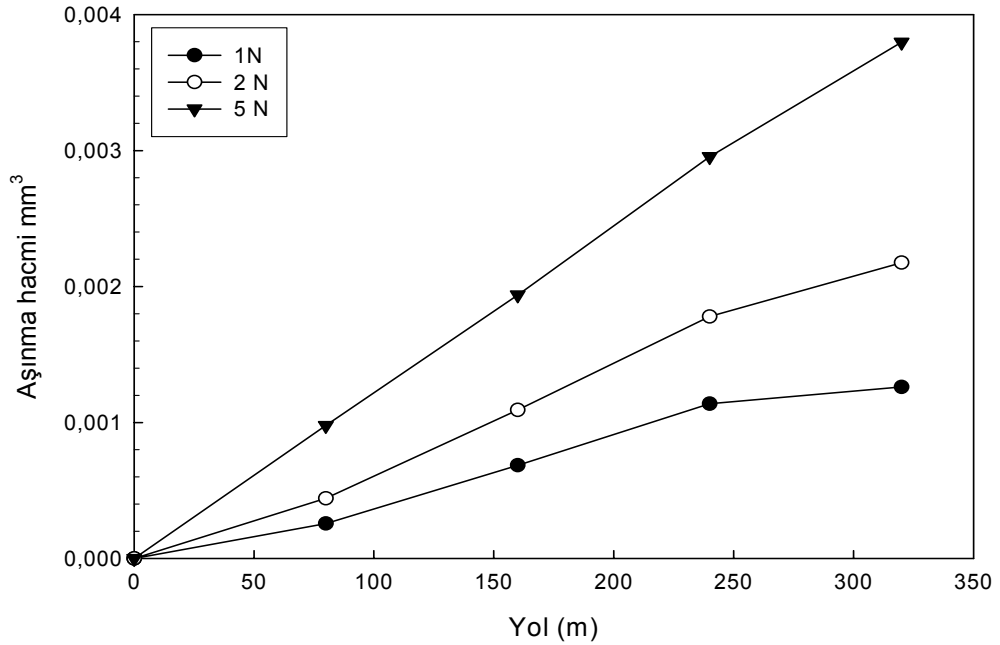
Şekil 6. 145. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış AISI M2 çeliğinin 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,3 m/s hızındaki aşınma hacmi değişimi.



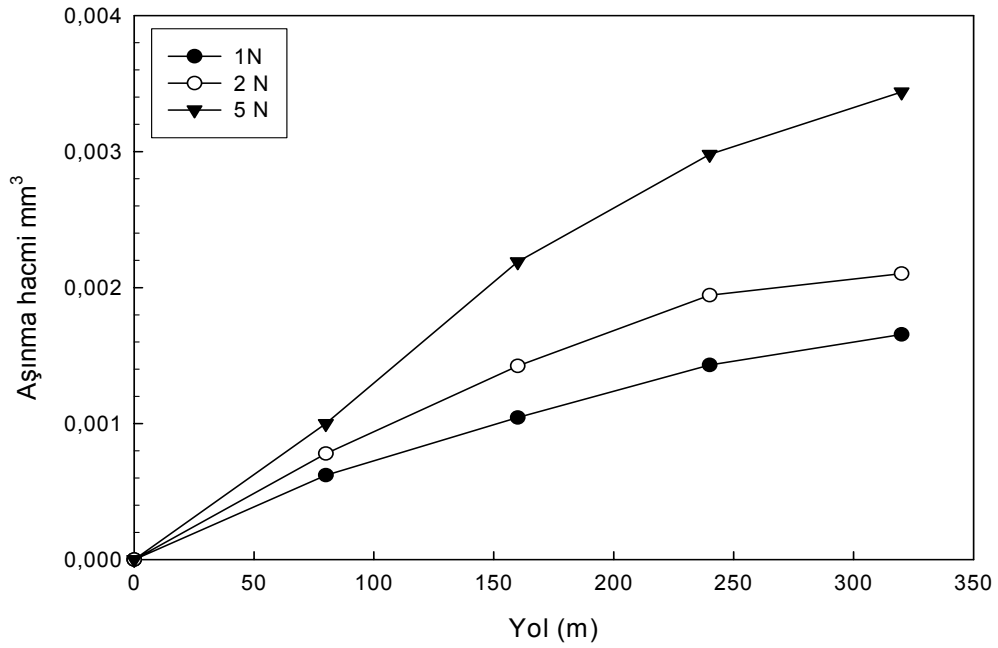
Şekil 6. 146. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış AISI M2 çeliğinin 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,5 m/s hızındaki aşınma hacmi değişimi



Şekil 6. 147.  $Al_2O_3$  bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımının 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,1 m/s hızındaki aşınma hacmi değişimi



Şekil 6. 148.  $Al_2O_3$  bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımının 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,3 m/s hızındaki aşınma hacmi değişimi.



Şekil 6.149.  $Al_2O_3$  bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımının 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,5 m/s hızındaki aşınma hacmi değişimi.

Tablo 6.5.  $Al_2O_3$  bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış AISI 1040 çeliğinin aşınma hızı değerlerinin değişimi.

TiBCN kaplanmış AISI 1040 çeliğinin aşınma hızları ( $mm^3/m$ )			
Hız	1N	2N	5N
0,1 m/s	$2,8698 \times 10^{-6}$	$3,3331 \times 10^{-6}$	$3,4671 \times 10^{-6}$
0,3m/s	$5,3901 \times 10^{-6}$	$8,6533 \times 10^{-6}$	$9,9864 \times 10^{-6}$
0,5 m/s	$1,0004 \times 10^{-5}$	$1,9332 \times 10^{-5}$	$2,3316 \times 10^{-5}$

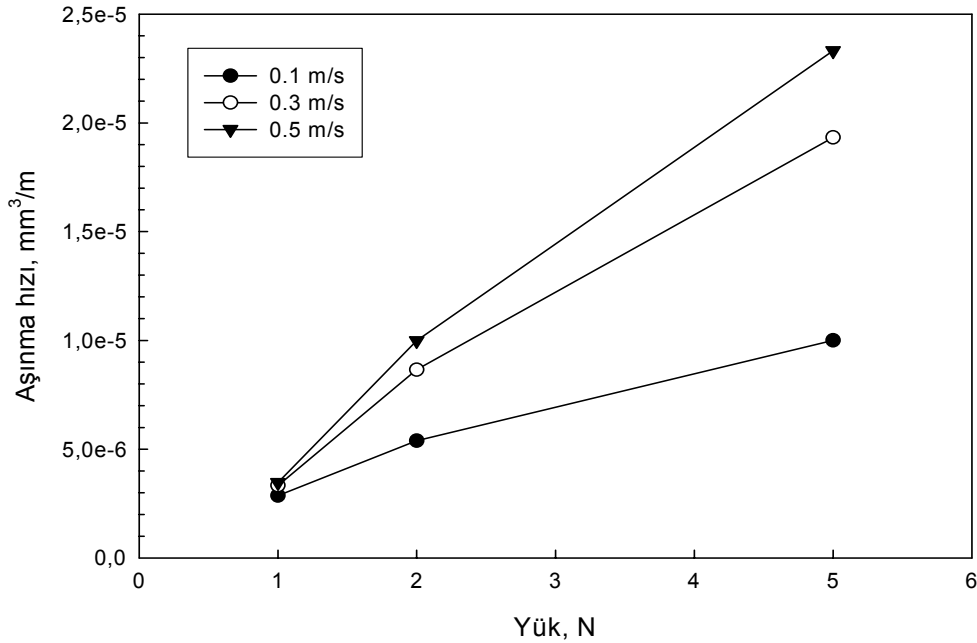
Tablo 6.6.  $Al_2O_3$  bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış AISI M2 çeliğinin aşınma hızı değerlerinin değişimi.

TiBCN kaplanmış AISI M2 çeliğinin aşınma hızları ( $mm^3/m$ )			
Hız	1N	2N	5N
0,1 m/s	$1,5223 \times 10^{-6}$	$1,8632 \times 10^{-6}$	$2,1653 \times 10^{-6}$
0,3m/s	$1,9186 \times 10^{-6}$	$2,3348 \times 10^{-6}$	$6,1537 \times 10^{-6}$
0,5 m/s	$3,7403 \times 10^{-6}$	$3,9938 \times 10^{-6}$	$8,9121 \times 10^{-6}$

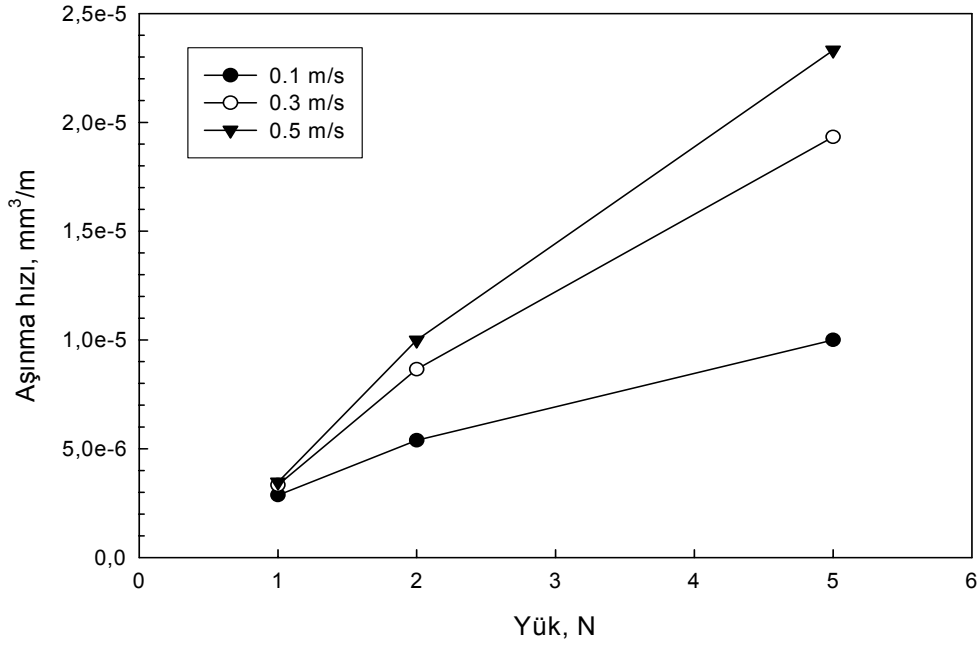
Tablo 6.7.  $Al_2O_3$  bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımının aşınma hızı değerlerinin değişimi.

TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımının aşınma hızları ( $mm^3/m$ )			
Hız	1N	2N	5N
0,1 m/s	$2,5792 \times 10^{-6}$	$4,2015 \times 10^{-6}$	$5,6749 \times 10^{-5}$
0,3 m/s	$3,2182 \times 10^{-6}$	$6,9435 \times 10^{-6}$	$7,4435 \times 10^{-6}$
0,5 m/s	$1,1258 \times 10^{-5}$	$1,1696 \times 10^{-5}$	$1,2045 \times 10^{-5}$

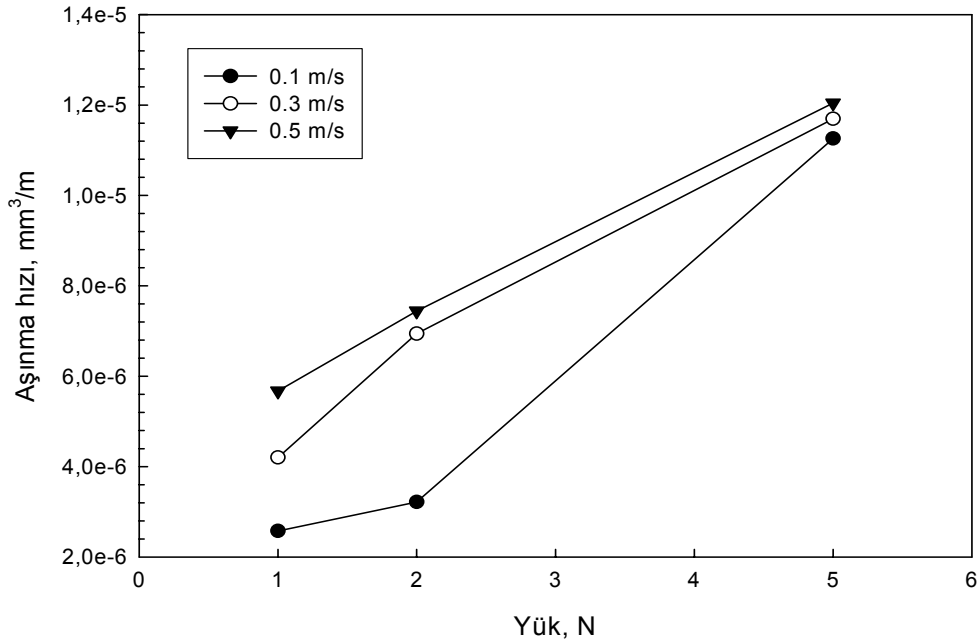
Yapılan aşınma deneyleri sonrasında aşınma hızları incelendiğinde TiBCN kaplanmış AISI 1040 çeliğinin  $Al_2O_3$  bilye ile aşındırılması sonucu oluşan aşınma hızlarının, uygulanan yükler arttığında arttığı, hız artıktıkça aşınma hızlarının azaldığı görülmektedir. Yapılan aşınma deneyleri sonrasında aşınma hızları incelendiğinde, TiBCN kaplanmış AISI M2 çeliğinin  $Al_2O_3$  bilye ile aşındırılması sonucu oluşan aşınma hızlarının, uygulanan yükler ve hızlar arttığında arttığı görülmektedir. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımının da M2 gibi  $Al_2O_3$  bilye ile aşındırılması sonucu oluşan aşınma hızlarının, uygulanan yükler ve hızlar arttığında arttığı görülmektedir.



Şekil 6.150.  $Al_2O_3$  bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış AISI 1040 çeliğinin 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlardaki aşınma hızı değişimi.



Şekil 6.151.  $Al_2O_3$  bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış AISI M2 çeliğinin 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlardaki aşınma hızı değişimi.



Şekil 6.152.  $Al_2O_3$  bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımının 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlardaki aşınma hızı değişimi.

TiBCN kaplanmış AISI 1040, AISI M2 çelik numuneler ve ISO P 15-20WC-Co kesici takım numuneleri ile  $Al_2O_3$  bilye arasında yapılan aşınma deneyleri sonrası,  $Al_2O_3$  bilye üzerindeki aşınma hacimlerindeki değişim uygulanan yüklere bağlı olarak Tablo 6.8-6.10 ve Şekil 6.153-6.161’de gösterilmiştir. Aynı şekilde  $Al_2O_3$  bilyenin aşınma hızlarındaki değişim uygulanan yüklere bağlı olarak Tablo 6.11-6.13’de ve Şekil 6.162-6.167.’de gösterilmiştir.

Tablo 6.8. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çeliği ile aşınma deneyine tabi tutulan  $Al_2O_3$  bilyenin aşınma hacmi değişimi.

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilyedeki aşınma hacimleri (mm <sup>3</sup> )									
Hız	0,1 m/s			0,3 m/s			0,5m/s		
Yük	1N	2N	5N	1N	2N	5N	1N	2N	5N
80	1,36x10 <sup>-3</sup>	3,75x10 <sup>-3</sup>	0,0105	3,52x10 <sup>-4</sup>	2,49x10 <sup>-3</sup>	7,77x10 <sup>-3</sup>	2,78x10 <sup>-3</sup>	5,98e <sup>-4</sup>	3,12e <sup>-3</sup>
160	1,73x10 <sup>-3</sup>	5,55x10 <sup>-3</sup>	0,0178	1,30x10 <sup>-3</sup>	6,11x10 <sup>-3</sup>	0,013	1,32x10 <sup>-3</sup>	2,80e <sup>-3</sup>	5,78e <sup>-3</sup>
240	2,38x10 <sup>-3</sup>	7,35x10 <sup>-3</sup>	0,0291	2,11x10 <sup>-3</sup>	8,13x10 <sup>-3</sup>	0,019	4,28x10 <sup>-3</sup>	7,47e <sup>-3</sup>	8,88e <sup>-3</sup>
320	5,67x10 <sup>-3</sup>	9,02x10 <sup>-3</sup>	0,0412	5,85x10 <sup>-3</sup>	0,01	0,029	5,85x10 <sup>-3</sup>	0,01	0,01

Tablo 6.9. TiBCN kaplanmış AISI M2 çeliği ile aşınma deneyine tabi tutulan  $Al_2O_3$  bilyenin aşınma hacmi değişimi.

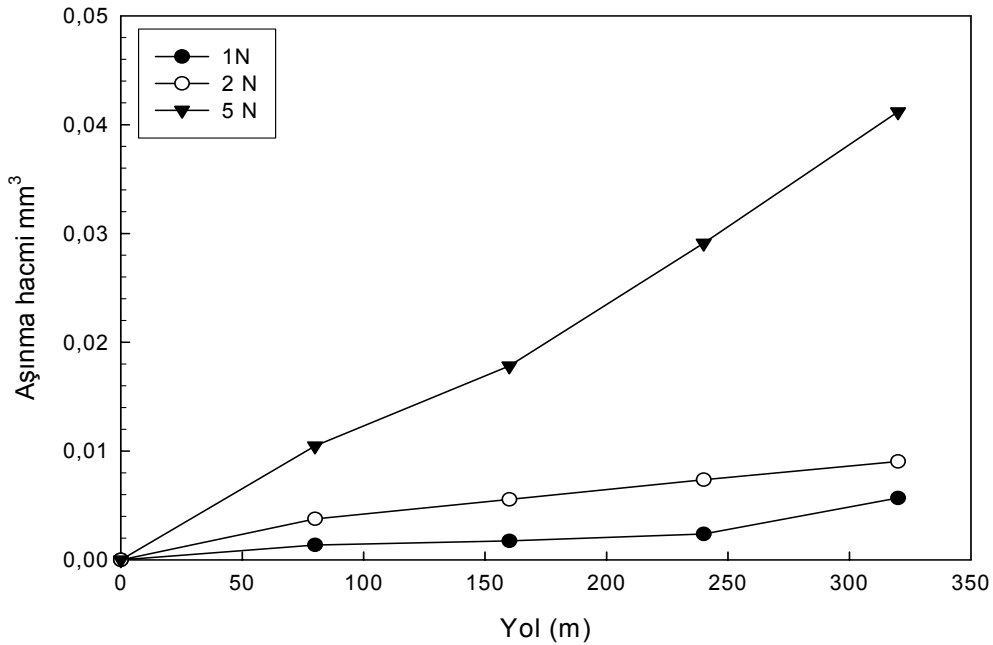
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilyedeki aşınma hacimleri (mm <sup>3</sup> )									
Hız	0,1 m/s			0,3 m/s			0,5m/s		
Yük	1N	2N	5N	1N	2N	5N	1N	2N	5N
80	3,37e <sup>-4</sup>	6,02e <sup>-4</sup>	8,14e <sup>-3</sup>	2,92e <sup>-4</sup>	6,24e <sup>-4</sup>	1,22e <sup>-3</sup>	1,84e <sup>-4</sup>	2,40e <sup>-4</sup>	3,20e <sup>-4</sup>
160	5,36e <sup>-4</sup>	1,16e <sup>-3</sup>	0,0189	7,38e <sup>-4</sup>	1,34e <sup>-3</sup>	2,45e <sup>-3</sup>	3,36e <sup>-4</sup>	6,73e <sup>-4</sup>	1,22e <sup>-3</sup>
240	1,23e <sup>-3</sup>	4,34e <sup>-3</sup>	0,0260	1,24e <sup>-3</sup>	2,44e <sup>-3</sup>	3,74e <sup>-3</sup>	6,02e <sup>-4</sup>	9,46e <sup>-4</sup>	2,04e <sup>-3</sup>
320	3,09e <sup>-3</sup>	6,89e <sup>-3</sup>	0,035	1,45e <sup>-3</sup>	4,30e <sup>-3</sup>	6,31e <sup>-3</sup>	1,10e <sup>-3</sup>	1,23e <sup>-3</sup>	2,74e <sup>-3</sup>



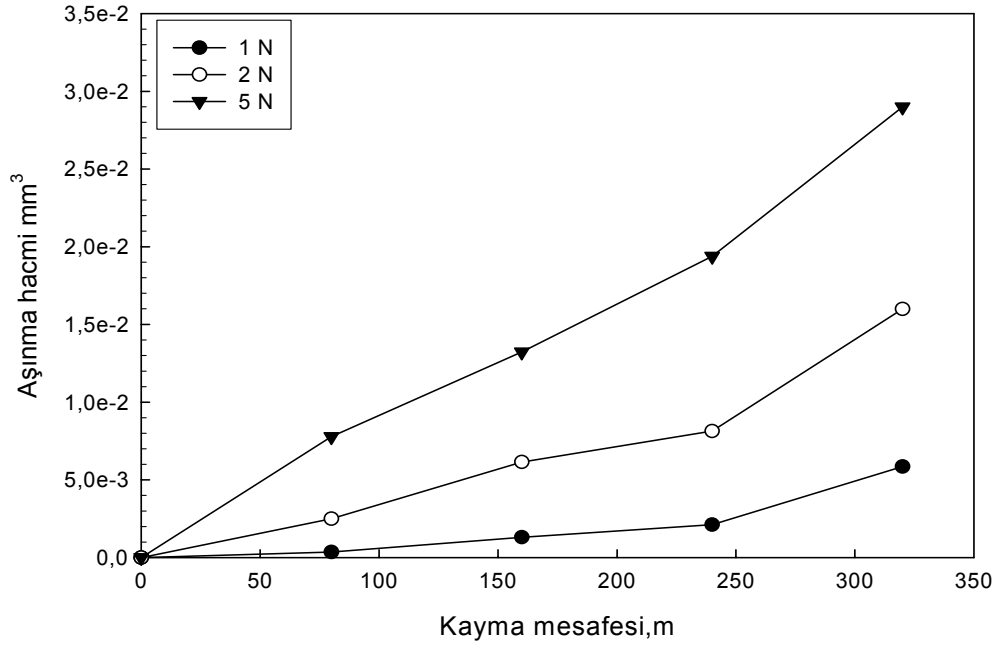
Tablo 6.10. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımı ile aşınma deneyine tabi tutulan  $Al_2O_3$  bilyenin aşınma hacmi değişimi.

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilyedeki aşınma hacimleri (mm <sup>3</sup> )									
Hız	0,1 m/s			0,3 m/s			0,5m/s		
Yük	1N	2N	5N	1N	2N	5N	1N	2N	5N
80	4,31e <sup>-4</sup>	2,11e <sup>-3</sup>	5,85e <sup>-3</sup>	6,12e <sup>-4</sup>	1,12e <sup>-3</sup>	2,36e <sup>-3</sup>	2,15e <sup>-4</sup>	8,48e <sup>-4</sup>	2,30e <sup>-3</sup>
160	1,32e <sup>-3</sup>	6,54e <sup>-3</sup>	0,0172	1,70e <sup>-3</sup>	3,36e <sup>-3</sup>	5,15e <sup>-3</sup>	6,12e <sup>-4</sup>	3,27e <sup>-3</sup>	5,30e <sup>-3</sup>
240	1,72e <sup>-3</sup>	0,010	0,0233	2,21e <sup>-3</sup>	5,44e <sup>-3</sup>	7,75e <sup>-3</sup>	7,26e <sup>-4</sup>	5,41e <sup>-3</sup>	8,05e <sup>-3</sup>
320	2,36e <sup>-3</sup>	0,200	0,0362	2,36e <sup>-3</sup>	9,41e <sup>-3</sup>	0,01	1,47e <sup>-3</sup>	7,05e <sup>-3</sup>	0,014

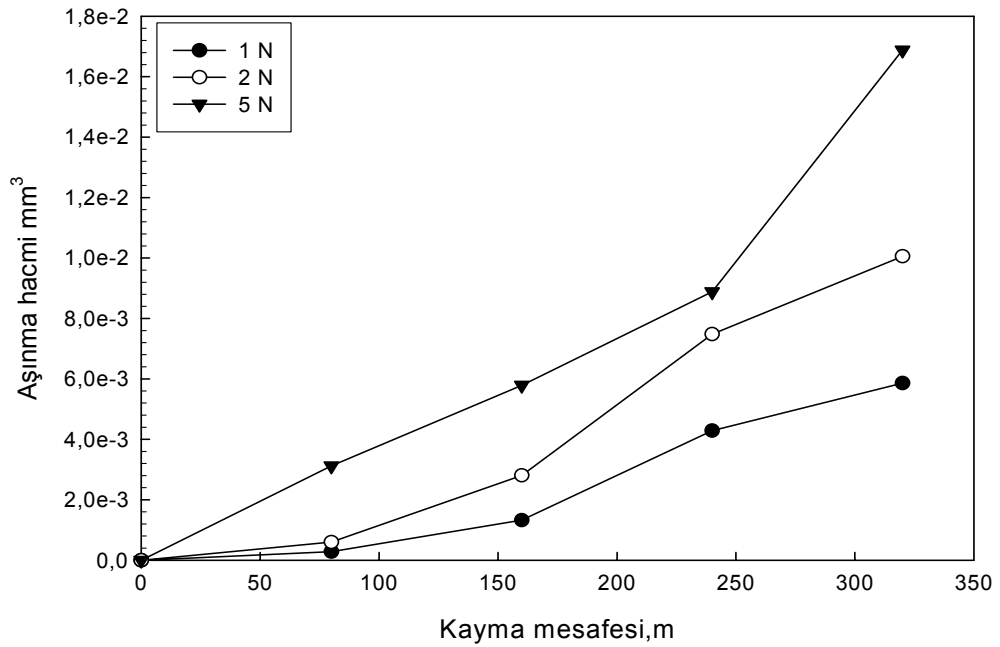
Yapılan aşınma deneyleri sonucunda TiBCN kaplanmış AISI 1040, AISI M2 ve ISO P 15-20 WC-Co kesici takımı numuneleri karşısında  $Al_2O_3$  bilyedeki aşınma hacimlerinin düştüğü görülmektedir. Yani  $Al_2O_3$  bilyedeki aşınma hızla ters orantılı, yükü doğru orantılı olarak artmaktadır.



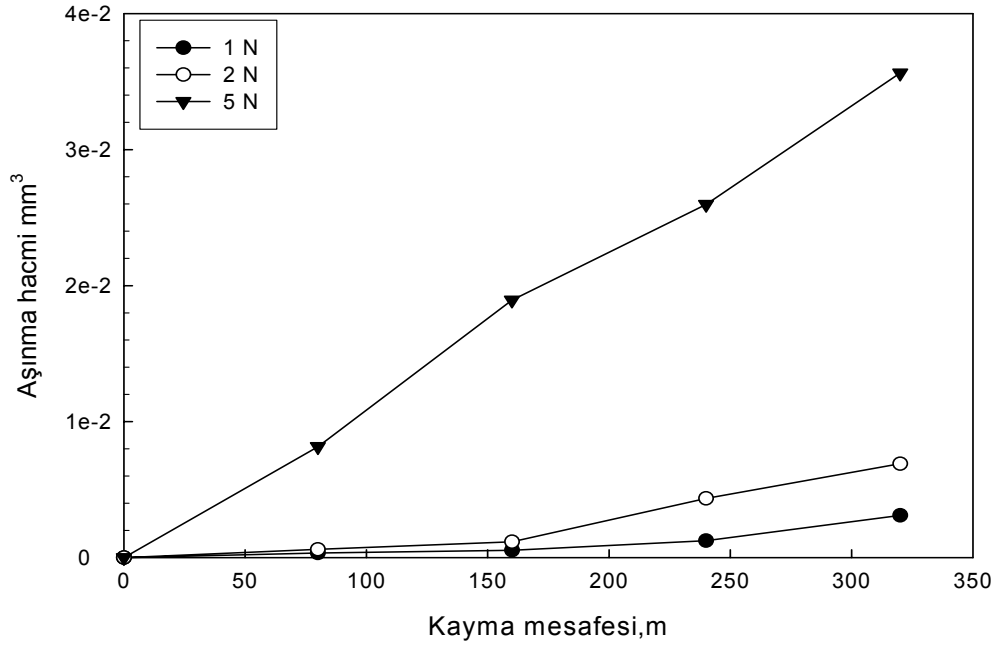
Şekil 6.153. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan  $Al_2O_3$  bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,1 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.



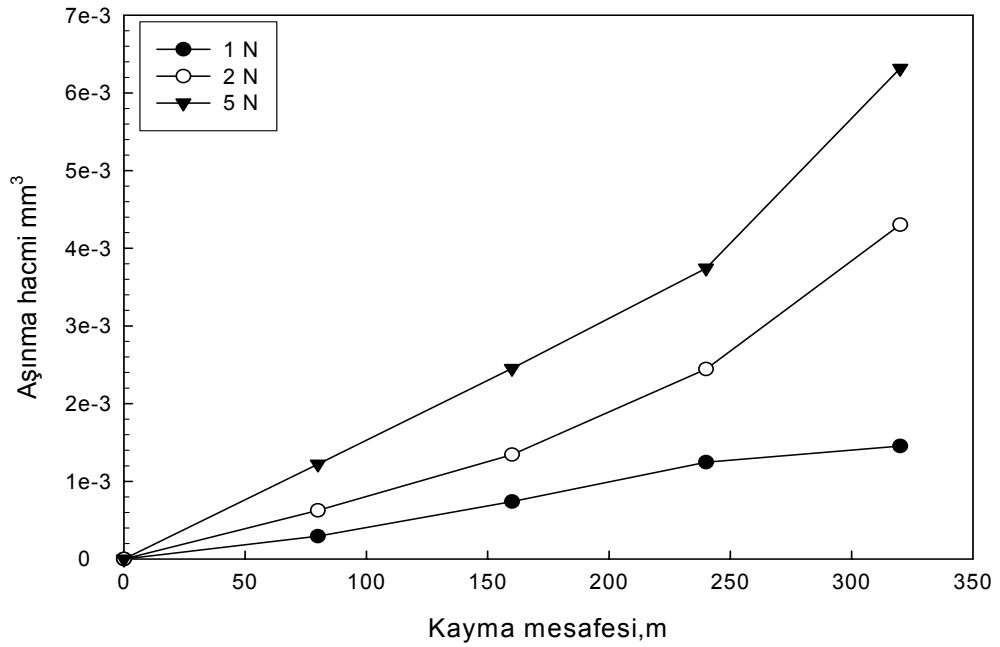
Şekil 6.154. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan  $Al_2O_3$  bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,3 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.



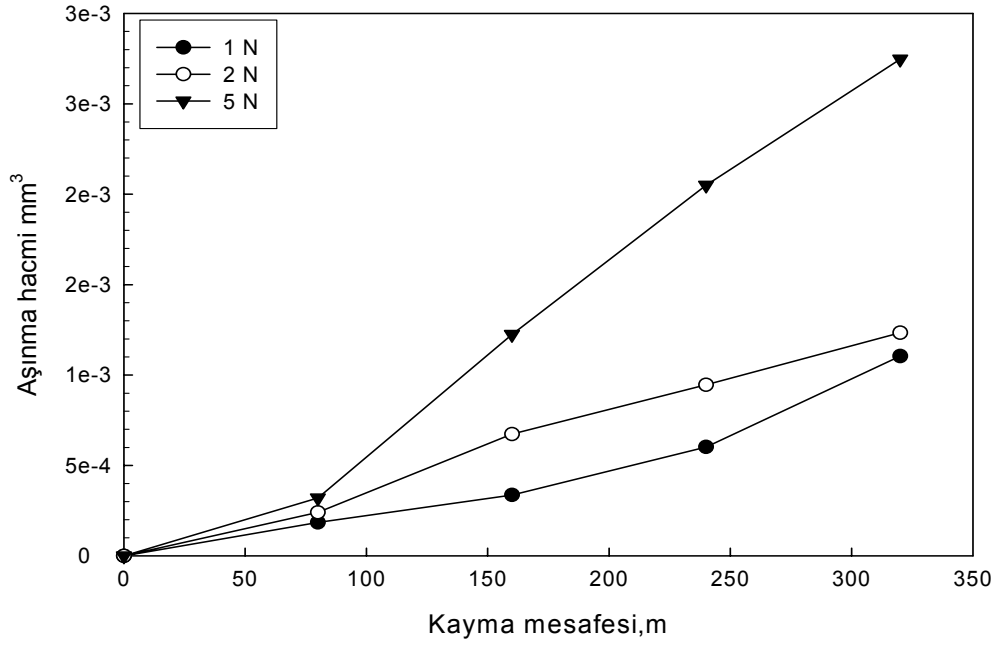
Şekil 6.155. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan  $Al_2O_3$  bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,5 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.



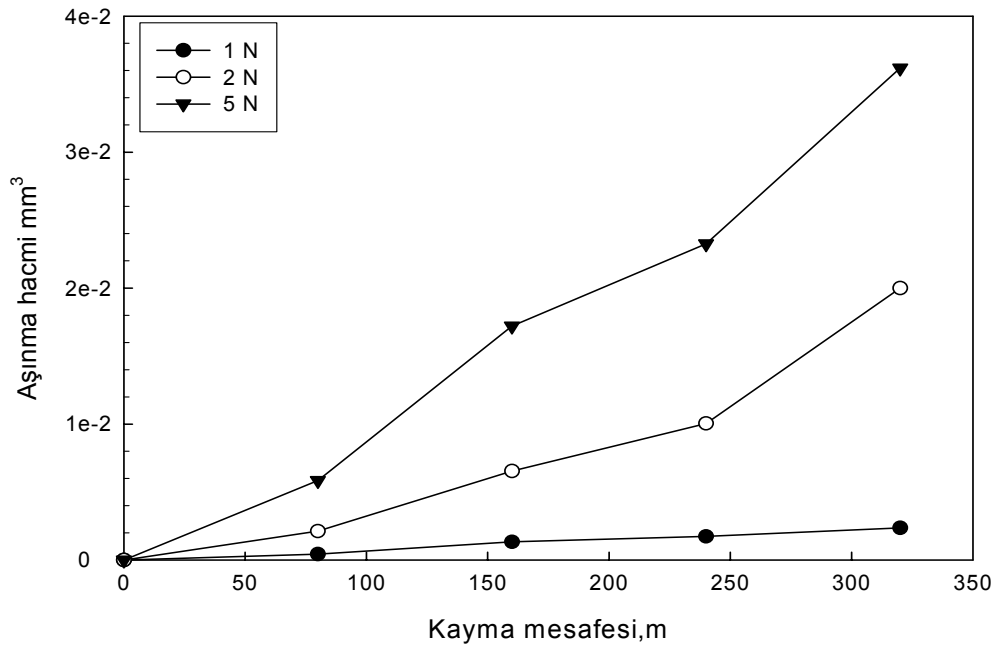
Şekil 6.156. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan  $Al_2O_3$  bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,1 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.



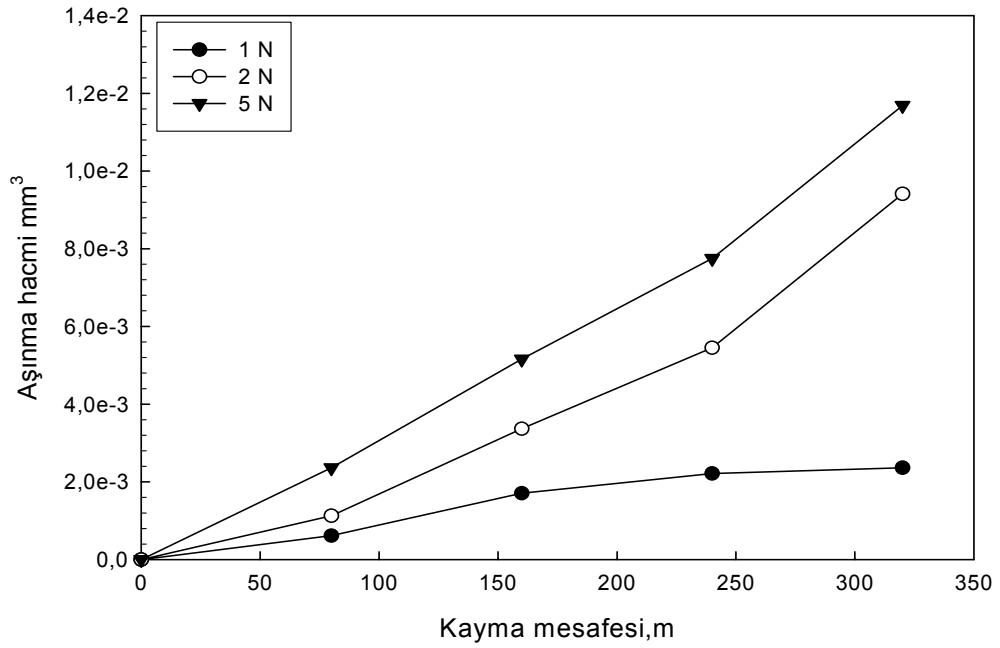
Şekil 6.157. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan  $Al_2O_3$  bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,3 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.



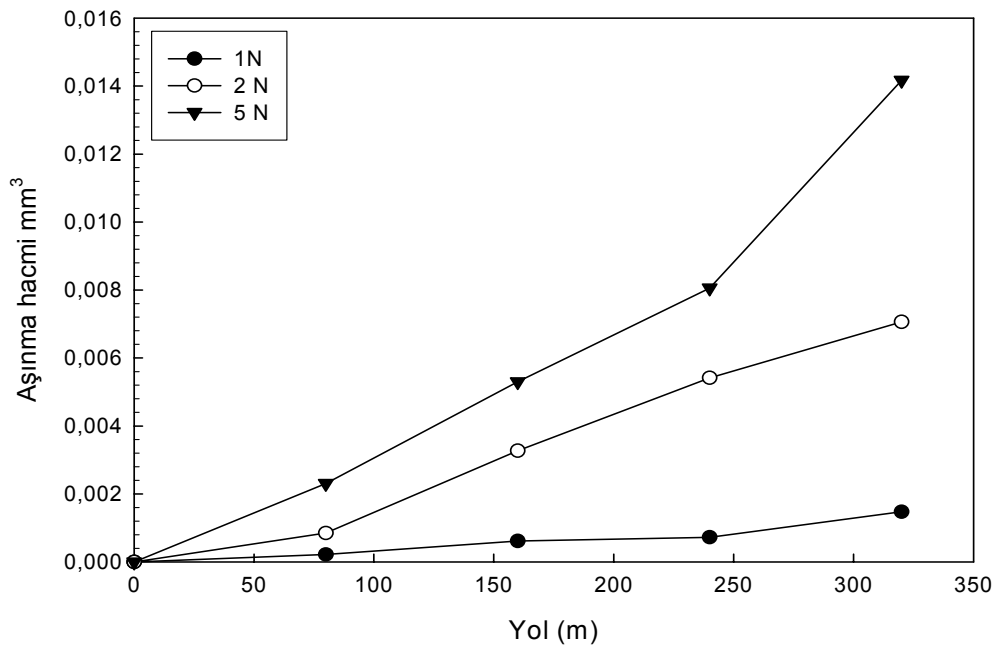
Şekil 6.158. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan  $Al_2O_3$  bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,5 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.



Şekil 6.159. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımı ile aşınma deneyine tabi tutulan  $Al_2O_3$  bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,1 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.



Şekil 6.160. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımı ile aşınma deneyine tabi tutulan  $Al_2O_3$  bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,3 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.



Şekil 6.161. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımı ile aşınma deneyine tabi tutulan  $Al_2O_3$  bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,5 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.

Yapılan aşınma deneyleri sonucunda TiBCN kaplanmış AISI 1040 çeliği karşısında  $Al_2O_3$  bilyedeki aşınma hızının yük arttıkça arttığı, hız arttıkça aşınma oranının azaldığı görülmektedir. TiBCN kaplanmış AISI M2 çeliği karşısında  $Al_2O_3$  bilyedeki aşınma hızının uygulanan yüke bağlı olarak arttığı, hıza bağlı olarak ta en çok 0,3 m/s hızında aşındığı görülmektedir. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımı karşısında ise  $Al_2O_3$  bilyedeki aşınma hızının yük arttıkça arttığı, hız arttıkça aşınma oranının azaldığı görülmektedir.

Tablo 6.11. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çeliği ile aşınma deneyine tabi tutulan  $Al_2O_3$  bilyenin aşınma hızı değerlerinin değişimi.

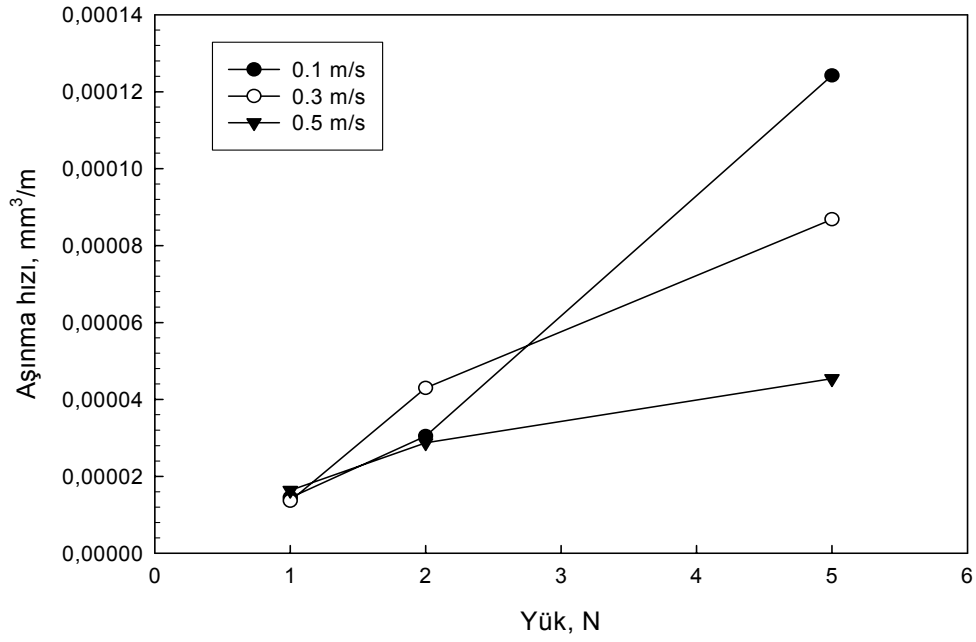
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilyedeki aşınma hızları (mm <sup>3</sup> /m)			
Hız	1N	2N	5N
0,1 m/s	1,4459e <sup>-5</sup>	1,3638e <sup>-5</sup>	1,6344e <sup>-5</sup>
0,3m/s	3,0443e <sup>-5</sup>	4,2993e <sup>-5</sup>	2,8692e <sup>-5</sup>
0,5 m/s	1,2423e <sup>-4</sup>	8,6824e <sup>-5</sup>	4,5366e <sup>-5</sup>

Tablo 6.12. TiBCN kaplanmış AISI M2 çeliği ile aşınma deneyine tabi tutulan  $Al_2O_3$  bilyenin aşınma hızı değişimi.

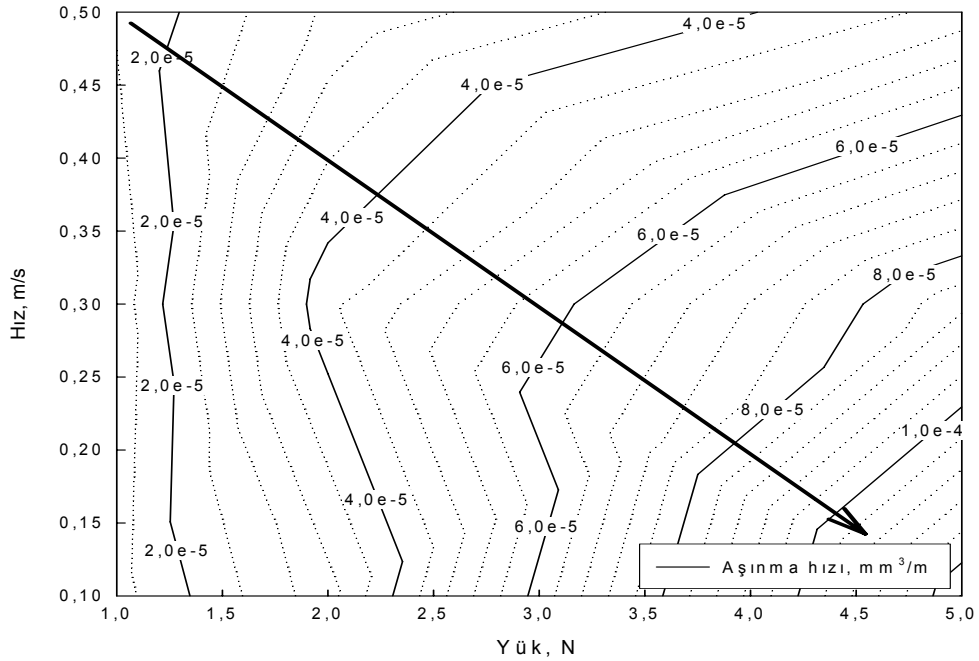
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilyedeki aşınma hızları (mm <sup>3</sup> /m)			
Hız	1N	2N	5N
0,1 m/s	7,3034e <sup>-6</sup>	4,7138e <sup>-6</sup>	1,6344e <sup>-5</sup>
0,3m/s	1,8140e <sup>-5</sup>	1,1606e <sup>-5</sup>	2,8692e <sup>-5</sup>
0,5 m/s	1,1101e <sup>-4</sup>	1,7756e <sup>-4</sup>	4,5366e <sup>-5</sup>

Tablo 6.13. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımı ile aşınma deneyine tabi tutulan  $Al_2O_3$  bilye aşınma hızı değerlerinin değişimi.

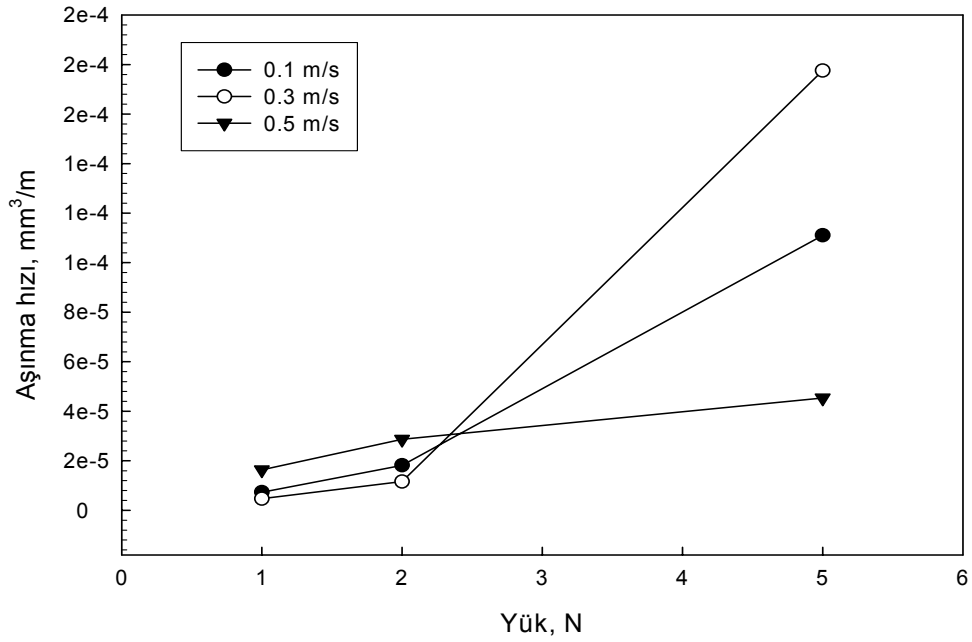
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilyedeki aşınma hızları (mm <sup>3</sup> /m)			
Hız	1N	2N	5N
0,1 m/s	1,4459e <sup>-5</sup>	1,3638e <sup>-5</sup>	1,6344e <sup>-5</sup>
0,3m/s	3,0443e <sup>-5</sup>	4,2993e <sup>-5</sup>	2,8692e <sup>-5</sup>
0,5 m/s	1,2423e <sup>-4</sup>	8,6824e <sup>-5</sup>	4,5366e <sup>-5</sup>



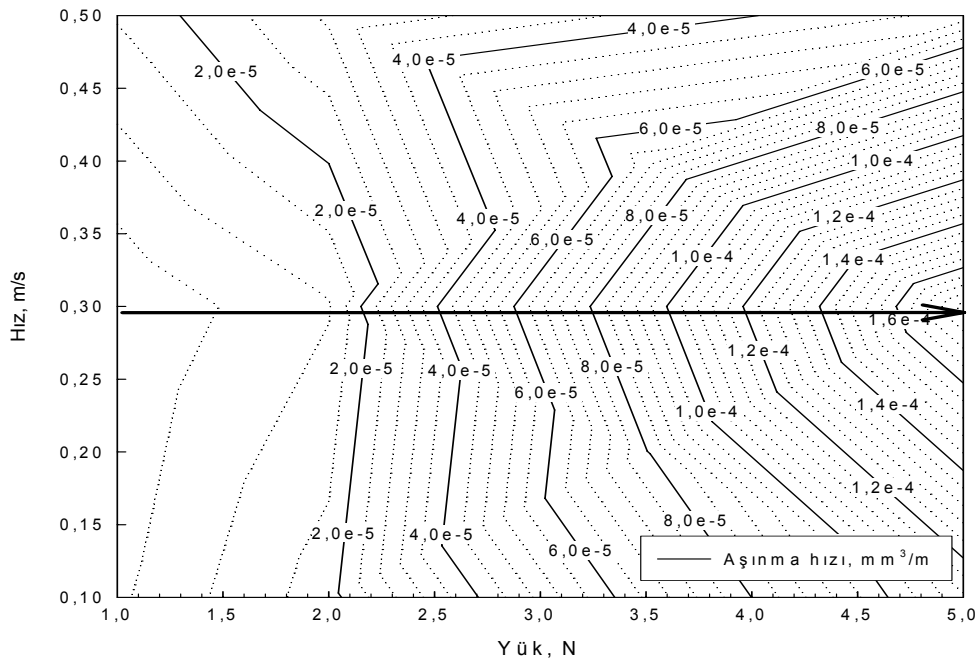
Şekil 6.162. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çeliği ile aşınma deneyine tabi tutulan  $Al_2O_3$  bilyede oluşan 1N, 2N, 5N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlarındaki aşınma hızı değerlerinin değişimi.



Şekil 6.163. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çeliği ile aşınma deneyine tabi tutulan  $Al_2O_3$  bilyede oluşan 1N, 2N, 5N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlarındaki aşınma hızı değerlerinin değişimi gösteren kontur grafiği.

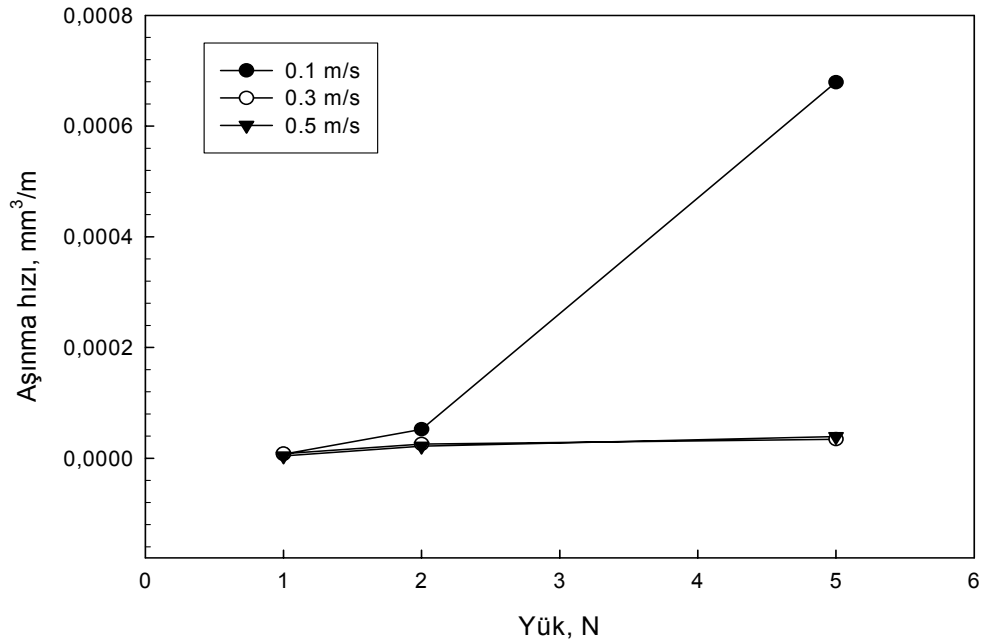


Şekil 6.164. TiBCN kaplanmış AISI M2 çeliği ile aşınma deneyine tabi tutulan  $Al_2O_3$  bilyede oluşan 1N, 2N, 5N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlarındaki aşınma hızı değerlerinin değişimi.

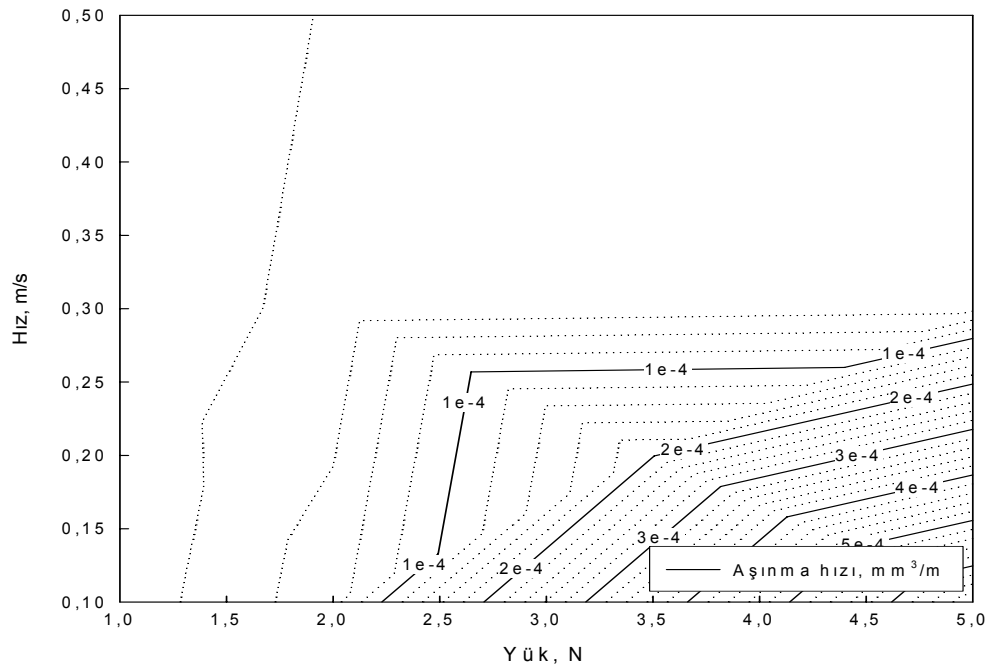


Şekil 6.165. TiBCN kaplanmış AISI M2 çeliği ile aşınma deneyine tabi tutulan  $Al_2O_3$  bilyede oluşan 1N, 2N, 5N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlarındaki aşınma hızı değerlerinin değişimi gösteren kontur grafiği.





Şekil 6.166. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımı ile aşınma deneyine tabi tutulan  $Al_2O_3$  bilyede oluşan 1N, 2N, 5N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlarındaki aşınma hızı değerlerinin değişimi.



Şekil 6.167. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımı ile aşınma deneyine tabi tutulan  $Al_2O_3$  bilyede oluşan 1N, 2N, 5N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlarındaki aşınma hızı değerlerinin değişimi gösteren kontur grafiği.

Yapılan aşınma deneyleri sonucunda TiBCN kaplanmış AISI 1040, AISI M2 ve ISO P15-20 WC-Co numuneleri karşısında AISI 440 C bilyenin hızla ve yüklerle doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir. Yani hız arttıkça bilyedeki aşınma artıyor, yük arttıkça da bilyedeki aşınma artıyor.

TiBCN kaplanmış AISI 1040, AISI M2 ve ISO P15-20 WC-Co numuneler ile AISI 440 C bilye arasında yapılan aşınma deneyleri sonrasında, AISI 440 C bilye üzerindeki aşınma hacimlerindeki değişim uygulanan yüklerle bağlı olarak Tablo 6.14-6.16'da ve Şekil 6.168-6.176'da gösterilmiştir.

Tablo 6.14. AISI 440 C bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış AISI 1040 çeliğinin aşınma hacmi değişimi.

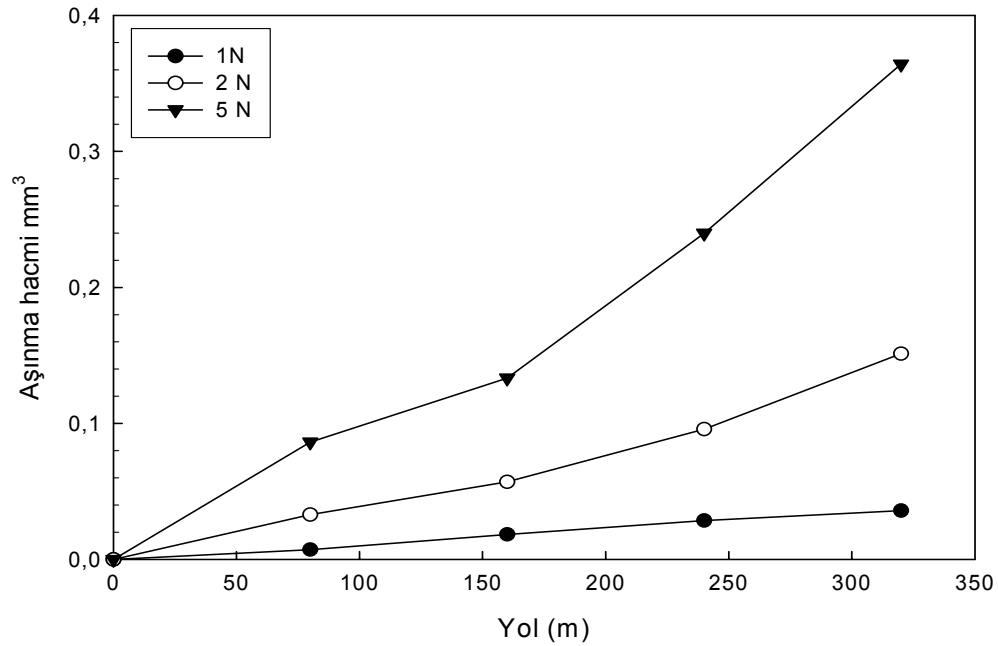
TiBCN kaplanmış AISI 1040 çeliğinin aşınma hacimleri (mm <sup>3</sup> )									
Hız	0,1 m/s			0,3 m/s			0,5m/s		
Yük	1N	2N	5N	1N	2N	5N	1N	2N	5N
80	7,09e <sup>-3</sup>	0,0329	0,0862	0,0214	0,024	0,075	0,0167	0,056	0,096
160	0,0183	0,0569	0,1334	0,0333	0,064	0,203	0,0238	0,091	0,158
240	0,0285	0,0957	0,2398	0,0396	0,135	0,284	0,0418	0,163	0,281
320	0,0358	0,1513	0,3642	0,0847	0,265	0,476	0,1136	0,289	0,505

Tablo 6.15. AISI 440 C bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış AISI M2 çeliğinin aşınma hacmi değişimi.

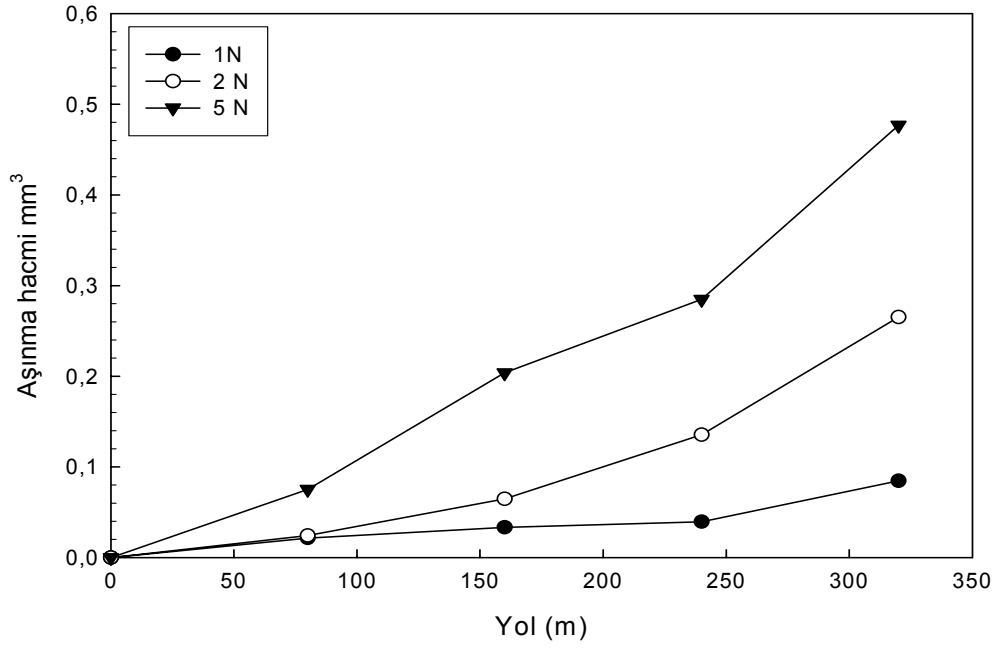
TiBCN kaplanmış AISI M2 çeliğinin aşınma hacimleri (mm <sup>3</sup> )									
Hız	0,1 m/s			0,3 m/s			0,5m/s		
Yük	1N	2N	5N	1N	2N	5N	1N	2N	5N
80	8,87e <sup>-3</sup>	0,0147	0,018	8,59e <sup>-3</sup>	0,0169	0,023	8,9e-3	0,023	0,045
160	0,0153	0,0239	0,036	0,011	0,0540	0,070	0,016	0,052	0,164
240	0,0252	0,0402	0,065	0,017	0,0854	0,115	0,031	0,075	0,354
320	0,0329	0,0612	0,103	0,045	0,1134	0,174	0,046	0,131	0,512

Tablo 6.16. AISI 440 C bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımının aşınma hacmi değişimi.

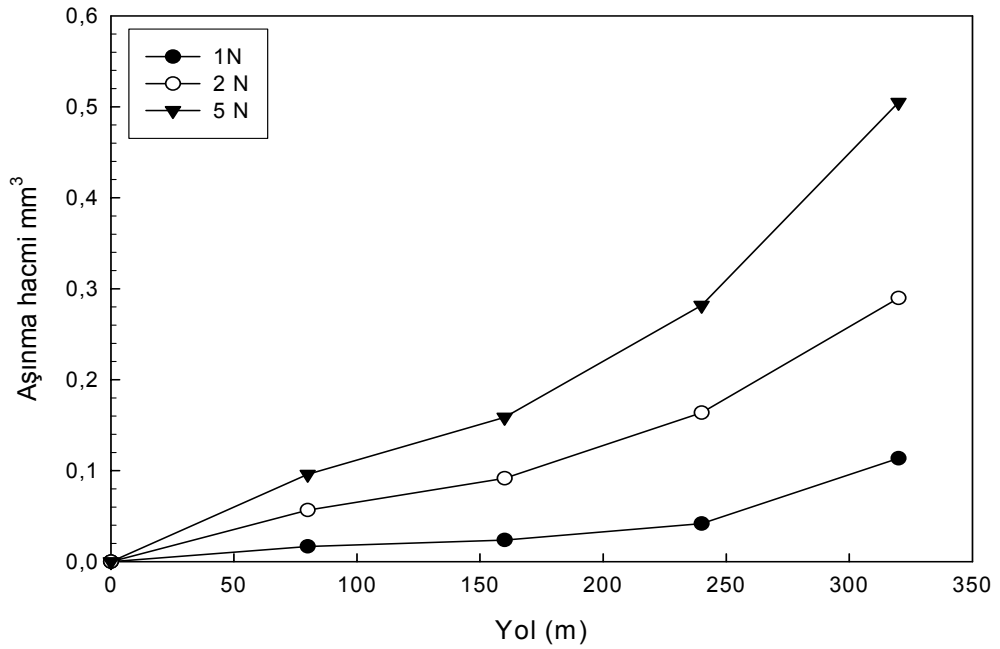
TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımının aşınma hacimleri (mm <sup>3</sup> )									
Hız	0,1 m/s			0,3 m/s			0,5m/s		
Yük	1N	2N	5N	1N	2N	5N	1N	2N	5N
80	8,99e <sup>-3</sup>	0,0238	0,0458	0,015	0,0428	0,068	0,0111	0,019	0,022
160	0,0165	0,0524	0,1645	0,017	0,0554	0,117	0,0226	0,040	0,062
240	0,0316	0,0755	0,3546	0,020	0,0687	0,193	0,0342	0,065	0,107
320	0,0468	0,1311	0,5126	0,049	0,0842	0,294	0,0587	0,106	0,179



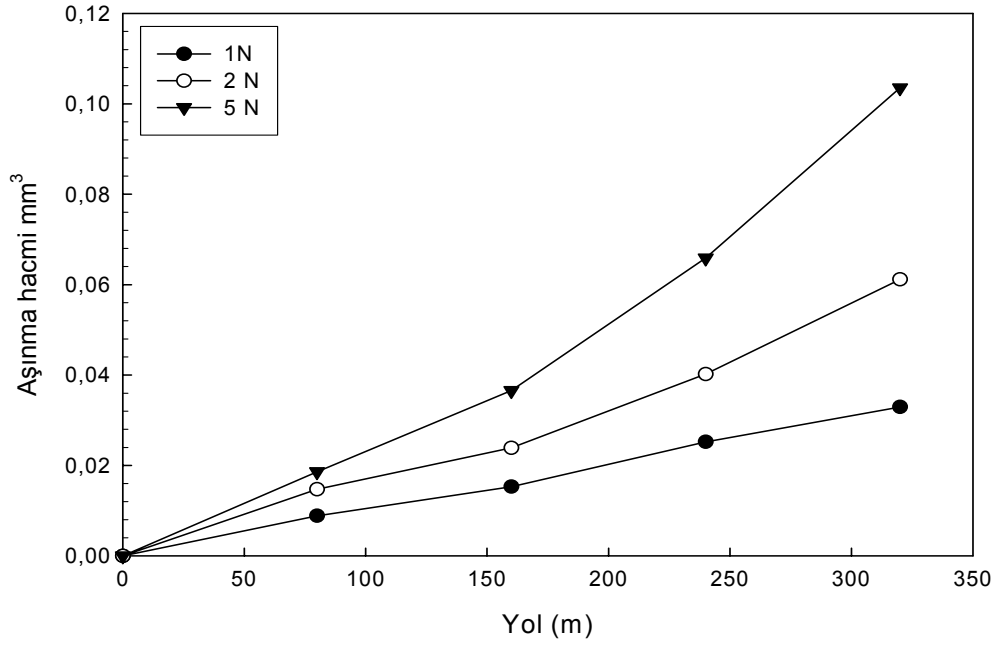
Şekil 6.168. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,1 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.



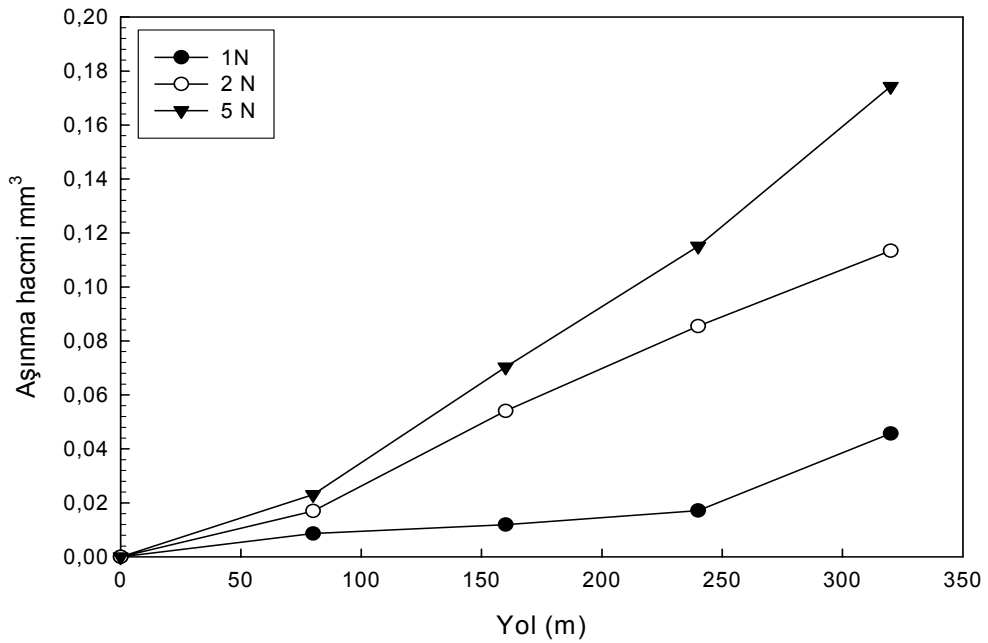
Şekil 6.169. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,3 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.



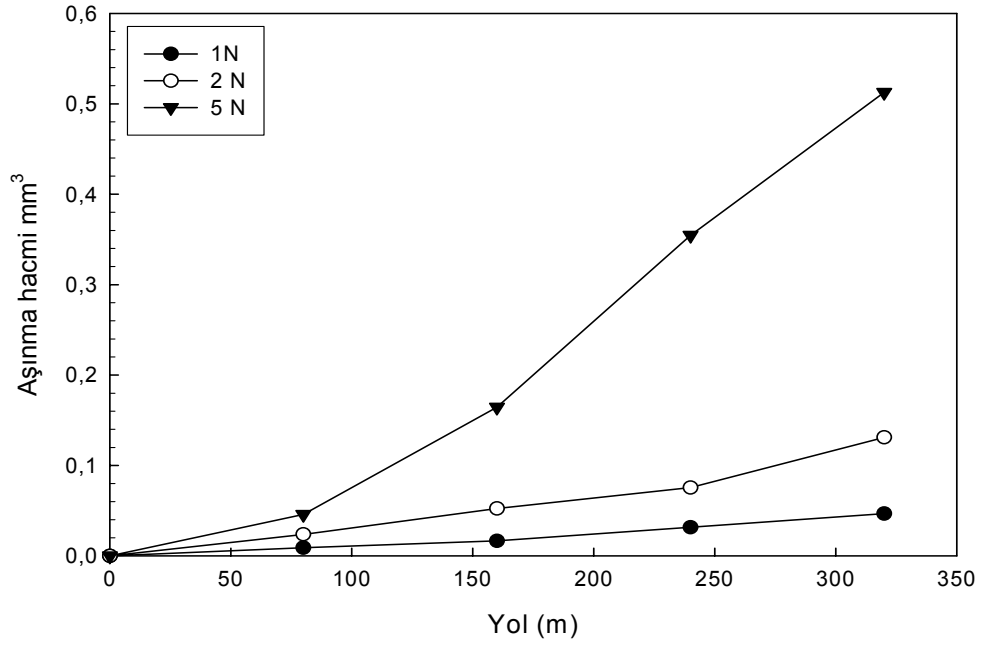
Şekil 6.170. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,5 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.



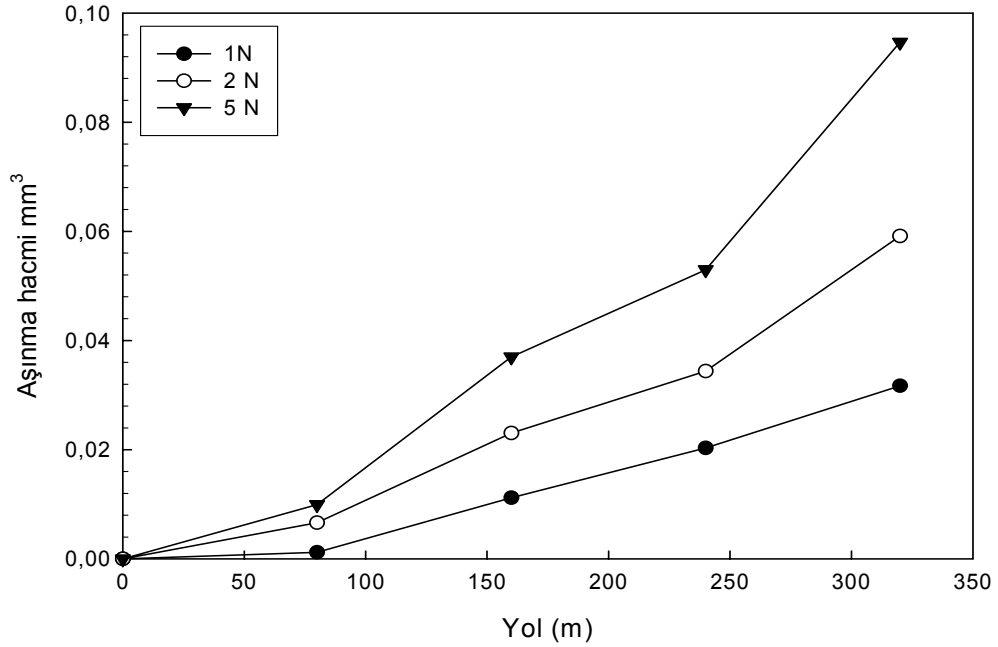
Şekil 6.171. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,1 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.



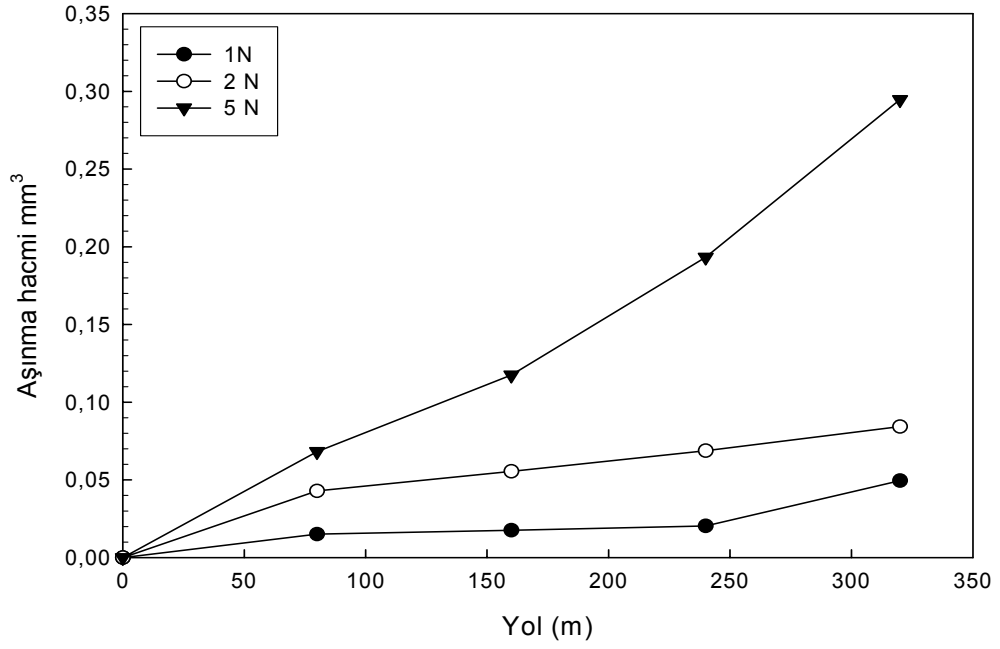
Şekil 6.172. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,3 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.



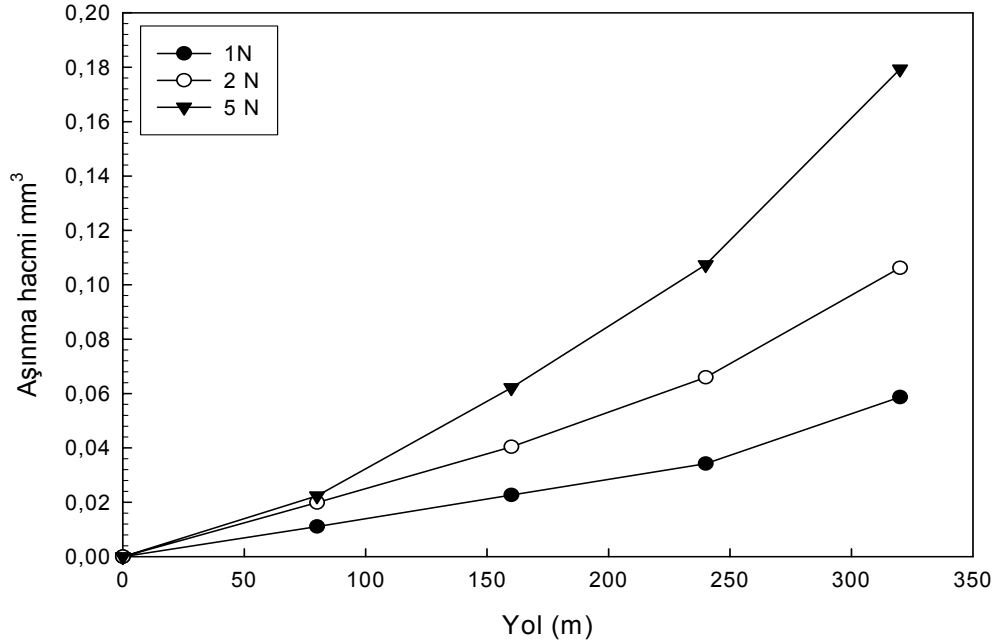
Şekil 6.173. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,5 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.



Şekil 6.174. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,1 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.



Şekil 6.175. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,3 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.



Şekil 6.176. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyede oluşan 1N, 2N ve 5N yük altında, 0,5 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.

TiBCN kaplanmış AISI 1040, AISI M2 ve ISO P 15-20 WC-Co numuneler ile AISI 440 C bilye arasında yapılan aşınma deneyleri sonrasında, AISI 440 C bilye üzerindeki aşınma hızlarındaki değişim uygulanan yüklere bağlı olarak Tablo 6.17-6.19'da ve Şekil 6.177-6.182'de gösterilmiştir.

Tablo 6.17. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çeliği ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyenin aşınma hızı değerlerinin değişimi.

AISI 440 C bilyedeki aşınma hızları (mm <sup>3</sup> /m)			
Hız	1N	2N	5N
0,1 m/s	1,1355e <sup>-4</sup>	2,2723e <sup>-4</sup>	2,6833e <sup>-4</sup>
0,3m/s	4,3301e <sup>-4</sup>	6,7561e <sup>-4</sup>	7,8766e <sup>-4</sup>
0,5 m/s	1,0539e <sup>-3</sup>	1,3517e <sup>-3</sup>	1,3660e <sup>-3</sup>

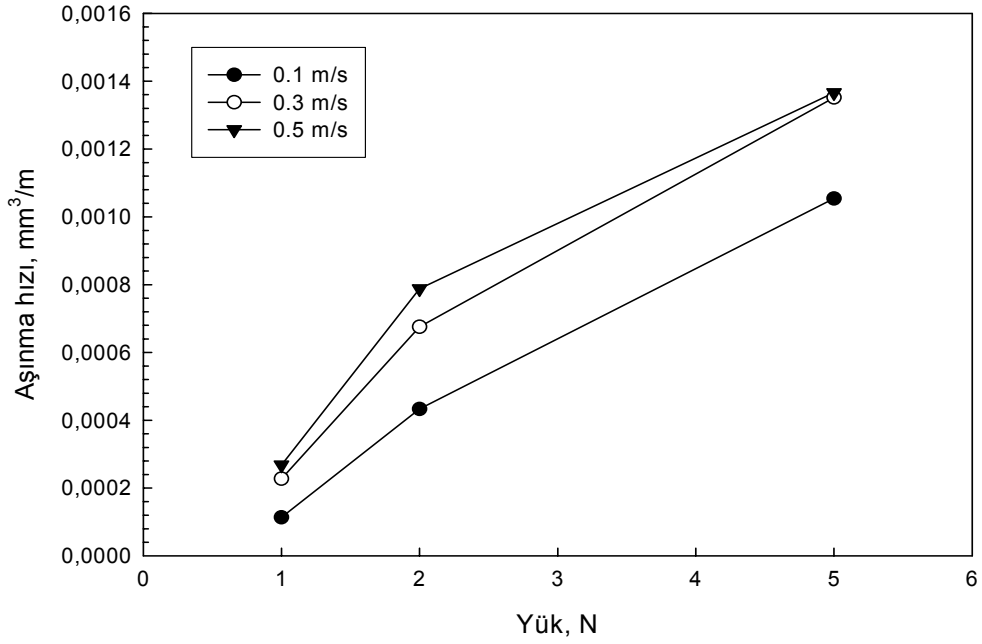
Tablo 6.18. TiBCN kaplanmış AISI M2 çeliği ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyenin aşınma hızı değişimi.

AISI 440 C bilyedeki aşınma hızları (mm <sup>3</sup> /m)			
Hız	1N	2N	5N
0,1 m/s	1,0286e <sup>-4</sup>	1,1110e <sup>-4</sup>	1,3494e <sup>-4</sup>
0,3m/s	1,7824e <sup>-4</sup>	3,4991e <sup>-4</sup>	3,6640e <sup>-4</sup>
0,5 m/s	2,9313e <sup>-4</sup>	5,0249e <sup>-4</sup>	1,4538e <sup>-3</sup>

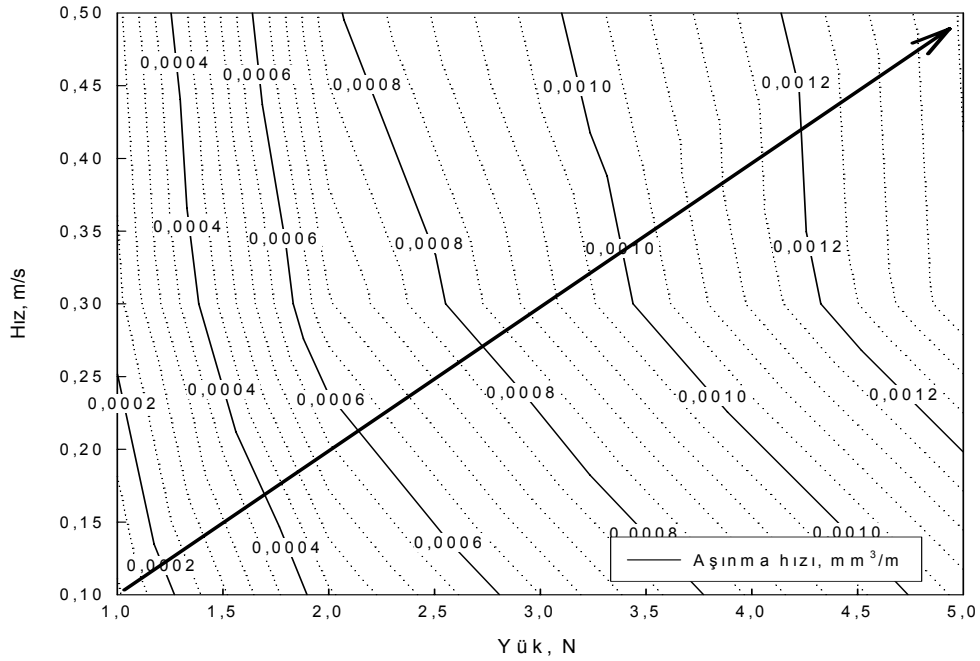
Tablo 6.19. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımı ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilye aşınma hızı değerlerinin değişimi.

AISI 440 C bilyedeki aşınma hızları (mm <sup>3</sup> /m)			
Hız	1N	2N	5N
0,1 m/s	8,8042e <sup>-5</sup>	1,2872e <sup>-4</sup>	1,6399e <sup>-4</sup>
0,3m/s	1,6350e <sup>-4</sup>	2,9035e <sup>-4</sup>	3,0133e <sup>-4</sup>
0,5 m/s	2,5893e <sup>-4</sup>	4,9408e <sup>-4</sup>	8,5890e <sup>-4</sup>

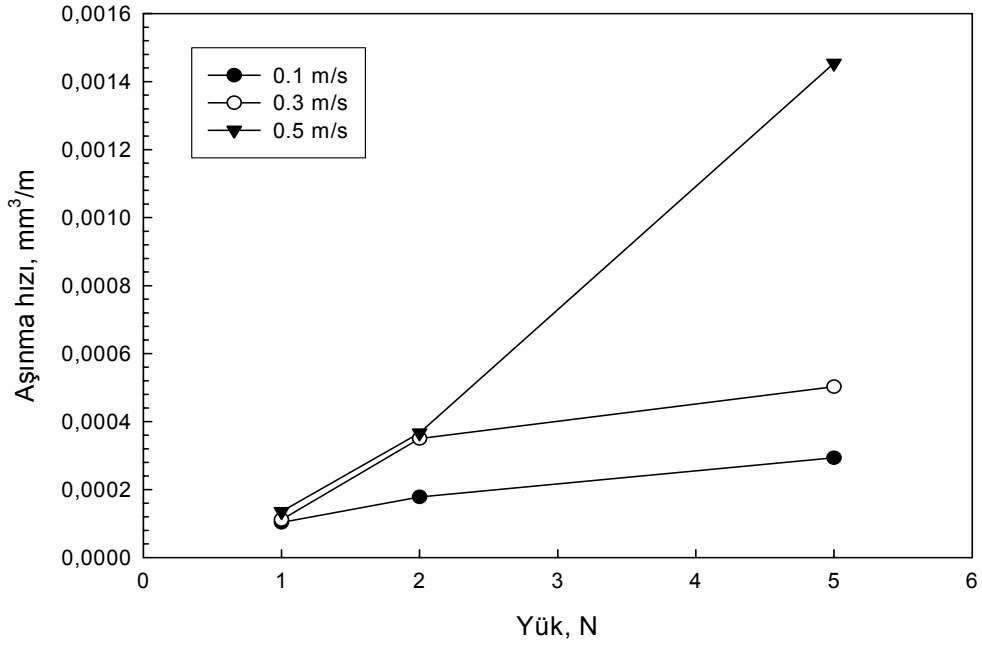




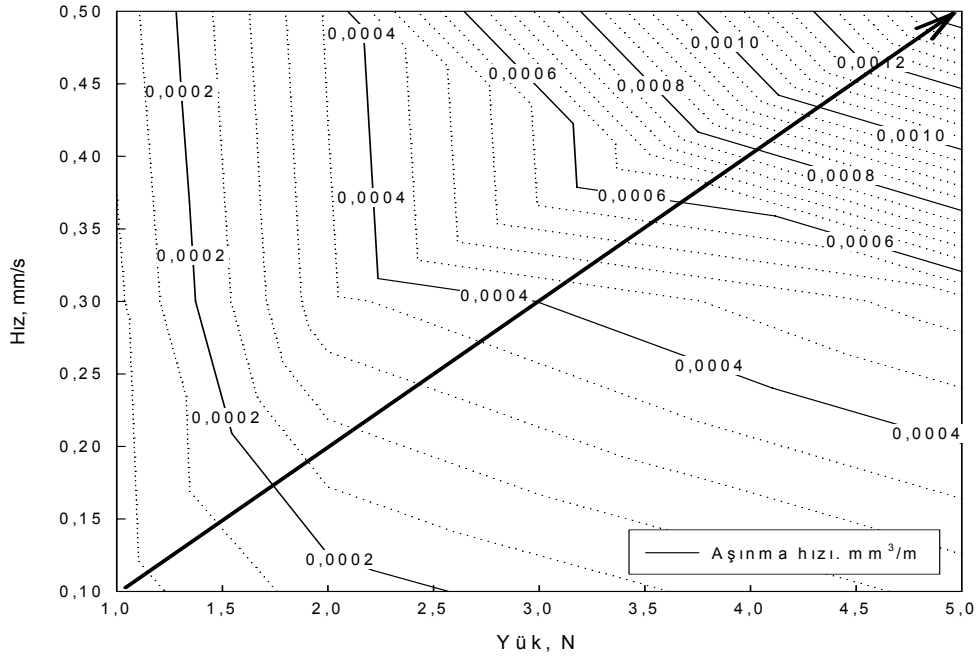
Şekil 6.177. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyede oluşan 1N, 2N, 5N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlarındaki aşınma hızı değerlerinin değişimi.



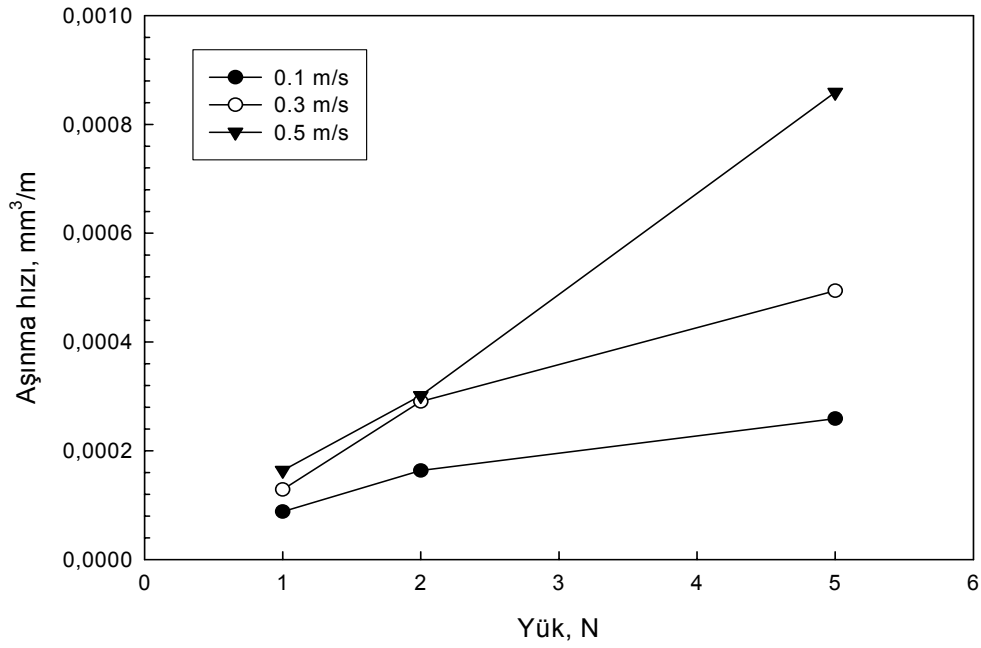
Şekil 6.178. TiBCN kaplanmış AISI 1040 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyede oluşan 1N, 2N, 5N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlarındaki aşınma hızı değerlerinin değişimi gösteren kontur grafiği.



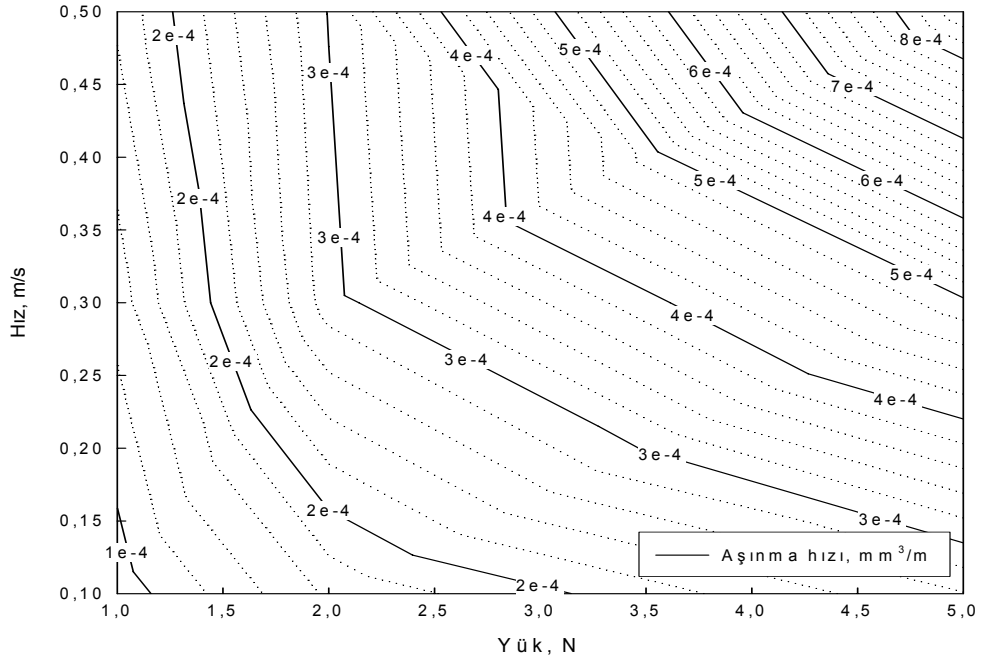
Şekil 6.179. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyede oluşan 1N, 2N, 5N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlarındaki aşınma hızı değerlerinin değişimi.



Şekil 6.180. TiBCN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyede oluşan 1N, 2N, 5N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlarındaki aşınma hızı değerlerinin değişimi gösteren kontur grafiği.



Şekil 6.181. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyede oluşan 1N, 2N, 5N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlarındaki aşınma hızı değerlerinin değişimi.



Şekil 6.182. TiBCN kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI 440 C bilyede oluşan 1N, 2N, 5N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlarındaki aşınma hızı değerlerinin değişimi gösteren kontur grafiği.

## BÖLÜM 7. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

### 7.1. Sonuçlar

- Borlama ve TRD kaplama işlemi sonrasında TiBCN tabakaları AISI 1040, AISI M2 ve ISO P 15-20 malzemelerinde başarıyla yapılmıştır
- AISI 1040 çeliğinin kaplamasında TiN, TiBCN, TiB<sub>2</sub>, TiB, Fe<sub>2</sub>B, Fe fazları bulunmuştur. AISI M2 numunesinde TiN, TiBCN, TiB<sub>2</sub>, TiB, Fe<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>N<sub>2</sub>, V<sub>2</sub>N fazları bulunmuştur. ISO P 15-20 numunesinde TiN, TiBCN, TiB<sub>2</sub>, TiB, CoWB<sub>4</sub>, Co<sub>2</sub>B, W<sub>3</sub>CoB<sub>3</sub>, W<sub>2</sub>CoB<sub>2</sub>, W<sub>2</sub>Co<sub>21</sub>B<sub>6</sub>, CoWB, CoW<sub>2</sub>B, B<sub>2</sub>CoW<sub>2</sub>fazları bulunmuştur.
- Elementel analiz incelemelerinde Ti, B, C ve N'nin yüzeyde toplandığı görülmektedir. Bu dağılımda TiBCN fazının yüzeyde oluştuğunu desteklemektedir.
- Kaplama tabakasının sertlikleri AISI 1040 için 4317 Hv, AISI M2 için 3600 Hv, ISO P 15-20 numunesi için 2500 Hv bulunmuştur.
- ISO P 15-20 numunesi için yapılan sıcaklık ve zaman bağlı olarak kaplama tabakası en yüksek 39,36 µm, en düşük olarak ta 1,88 µm bulunmuştur.
- Aşınma deneyleri neticesinde optik ve SEM incelemeleri yapıldı. AISI 1040, AISI M2 ve ISO P 15-20 numunelerinin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye ile yapılan deneylerde aşınma yüzeyinin mikro çizikler içerdiğini ve parlak bir yüzeye sahip olduğunu göstermektedir. EDS incelemelerinde bütün malzemelerin aşınma bölgesinde oksijen miktarının arttığı görülmektedir. Bu da oksidadif mikro abrazif aşınmanın olduğunu göstermektedir.

- AISI 440 C bilye ile yapılan aşınma deneylerinde bilyenin TiBCN kaplamalar üzerine sıvanarak yapıştığı ve abrazif aşınmanın olduğu görülmektedir. EDS analizleri aşınma izlerinde Fe ve O miktarının çok yüksek olduğunu göstermektedir. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye ile yapılan aşınma deneyinde TiBCN kaplanmış AISI 1040 çeliği için sürtünme katsayıları 0,4 il 0,84 değerleri arasında, AISI M2 çeliği için 0,28 ile 0,80 değerleri arasında ISO P 15–20 numunesi için ise 0,26 ile 0,58 değerleri arasında değiştiği görülmektedir. Genel olarak sürtünme katsayılarının hızla ve yüklerle artış gösterdiği görülmektedir.

- TiBCN kaplanmış AISI 1040, AISI M2 çelikleri ve ISO P 15–20 WC-Co kesici takım numunelerinin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye ile yapılan aşınma deneyinde aşınmaları hız ve yükün artışıyla artış göstermektedir. Aşınma hızları sırasıyla AISI 1040 için 1,4459 e<sup>-5</sup> ile 8,6824 e<sup>-5</sup> (mm<sup>3</sup>/m) değerleri arasında değişmektedir. AISI M2 için 7,3034 e<sup>-6</sup> ile 1,7756 e<sup>-4</sup> (mm<sup>3</sup>/m) değerleri arasında değişmektedir. ISO P 15-20 için 1,4459 e<sup>-5</sup> ile 1,2423 e<sup>-4</sup> (mm<sup>3</sup>/m) değerleri arasında değişmektedir.

- AISI 440 C bilye ile yapılan aşınma deneyleri sonucunda, AISI 440 C bilyenin yüke ve hızın artmasına bağlı olarak artış göstermektedir. AISI 440C bilye ile TiBCN kaplanmış AISI 1040, AISI M2 ve ISO P15-20 numunelerinin aşındırılması sırasında elde edilen aşınma hızı sırasıyla AISI 1040 için 1,1355e<sup>-4</sup> ile 1,3660e<sup>-3</sup> (mm<sup>3</sup>/m), AISI M2 için 1,0286e<sup>-4</sup> ile 1,4538e<sup>-3</sup> (mm<sup>3</sup>/m), ISO P 15-20 numunesi için ise 8,8042e<sup>-5</sup> ile 8,5890 e<sup>-4</sup> (mm<sup>3</sup>/m) değerleri arasında değişmektedir.

- Bilyelerdeki pürüzlü aşınma izleri Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> için abrazif ve oksidatif ve AISI 440 C bilye için ise adhezif aşınmanın olduğu düşünülmektedir.

## 7.2. Öneriler

- Yapılan bu aşınma deneyleri farklı ortamlarda yapılabilir. Sulu, yağlı, kuru, gaz ortamları gibi.

- Kaplanmış ISO P 15-20 WC-Co kesici takımı için kesme deneyleri yapılabilir.
- Kaplanmış numunelerin korozyon ve oksidasyon davranışlarının incelenmesinde fayda vardır.
- Farklı türdeki çeliklere TiBCN kaplanarak aşınma davranışları incelenebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] DALDAL, S., “Niobyum Karbür Kaplamaların Özellikleri” Yüksek Lisans tezi, S.A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2002
- [2] BİNDAL, C., “Az Alaşımli ve Karbon Çeliklerinde Borlama İle Yüzeye Kaplanan Borurin Bazı Özelliklerinin Tespiti”, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,1991
- [3] KHOEE, S.M.M, “Ergimiş Boraks Banyosunda Çeliklere Vanadyum Karbür Kaplama”, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,1992
- [4] DİKEÇ, F., “ Çelik Standartları ve Seçimi” SEGEM, Aralık,1997
- [5] BAYÇA, S.,U., ŞAHİN, S.,”Borlama” Mühendis ve Makine Dergisi, Sayı 532, Mayıs 2004
- [6] İPEK, M.,”Kutu Sementasyon Yöntemiyle Çelik Yüzeylerine TiC Kaplaması”, SA.Ü. Met. Müh.,Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 1996
- [7] HAVARD, E., B., KUBBS, J., J., “Heat Treaters Guide Standart Practices and Proecedures For Steel” Second Edition, American Society for Metal,San.1982, pp. 54-58
- [8] [www.afpmetal.com](http://www.afpmetal.com).
- [9] [www.osmanlıcelik.com](http://www.osmanlıcelik.com)
- [10] SIDNEH., H.A., ‘Introduction toPhysicel Metallurgy’ Second edition, Ankara Üniversitesi Basım Evi, Ankara 1996, p.p. 387-423
- [11] KOÇAK, A., ŞEŞEN, M.K., “ Soğuk İş Takım Çelikleri ve Aşınma Davranışlarına Sertlik ve Mikroyapı Özelliklerinin Etkisi” Mühendis ve Makine Dergisi , Eylül 2002, Say. 51-54
- [12] TOPBAŞ, M.A., “Endüstri malzemeleri”1 . Cilt Yıldız Teknik Üniversitesi Basım Evi, 1993, Say. 347-366
- [13] TOPBAŞ, M.A., “Çelik Ve Isıl İşlem El Kitabı” Say., 332-409
- [14] [www.mmo.org.trmuhendismakinaarsiv2000agustoskesici](http://www.mmo.org.trmuhendismakinaarsiv2000agustoskesici)

- [15] DELİKANLI, K., ÇALIK,A., UZUN H.A.,"Sade Karbonlu Bir Çeliğin Borlama Özelliklerinin İncelenmesi" BAÜ Fen Bil. Enst. Derg., Cilt 5.1,Yıl 2003
- [16] ÜNLÜ, B.S., YILMAZ, S.S., " Bor ve Borlamanın Kullanım Alanları" Mühendis ve Makine Dergisi, Sayı 552, Ocak 2006, Say. 48-54
- [17] ŞEN, Ş.,"Termo kimyasal Borlama işlemiyle AISI 5140, AISI 4140 ve AISI 4340 Çeliklerinin Yüzey Performanslarının Geliştirilmesi" Doktora Tezi, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya 1998.
- [18] MATUSHCKA, A.W., "Borieren,Carl Hanser Verlag", München,Wien, 1977, PP.187.
- [19] SOYDAN,Y., "Katı Ortamda Bor Yayınımı ile Sertleştirilen Çelik Yüzeylerin Aşınma Davranışları, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen. Bil. Ens., İstanbul, Mart1996.
- [20] SINHA, A.K.,"Boroding (Boranising), ASM Handbook, Vol 4, J. Heat Treating, 1991, PP.437-447.
- [21] BİNDAL, C., ÜÇİŞİK, A. H.,"The Effect of Boronising on The Surface Properties of Alloy Steels, 1st International Syposium on The Sicene of Engineering Ceramics", 1993, PP.223-281 .
- [22] TOZAN, H., "Termo-Reaktif Difüzyon yöntemiyle Çeliklerin Bor Titanyumlaması ve Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Mayıs 2004.
- [23] KARAKAN, M., ALSARAN A., ÇELİK, A., "Plazma Borlama" Mühendis ve Makine Dergisi, Eylül 2002, Sayı 512.
- [24] ÇAPAN L., ÖKTEM Z., ÇEP H., "Termoaktif difüzyon yöntemiyle çelik yüzeylerin karbür kaplanması" Metal Dünyası Dergisi, Sayı 19,Yıl 2, Kasım,1994.
- [25] "Heat Treatment"ASM Handbook, ASM International, Materials Information Society, Vol. 4, 1991, PP. 437-447.
- [26] ÜSTEL, F., "Kutu Sementasyon Tekniği ile Yüksek Hız Çeliğinin Yüzeyine  $TiC_x N_{1-x}$  Türü sert Tabakaların Üretilirliğinin Araştırılması",Doktora Tezi, SA.Ü. Fen Bil. Ens., Sakarya 1998.
- [27] AOUDİ S.M.,NAMAVAR F., GORİSHNYI T.Z., ROHDE S.L., 'Characterization of TiBN films grown by io F. n beam assisted deposition' Surface and Coatings Technology 160 (2002), PP. 145-151.
- [28] DENİZ, G., "Termo-reaktif Difüzyon (TRD) Tekniği ile AISI 1010 ve AISI M2 Çeliklerinin Titanyum Nitrür (TiN ) Kaplanması", SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, Mayıs 2004.



- [29] AOUADO S.M.M., DEBESSAI, F., NAMAVAR, K.C., WONG, K.A., MITCHELL R., 'Titanium boron nitride films grown by ion beam assisted deposition: chemical and optical characterization' *Surface and Coatings Technology* 183 (2004), PP. 369-377.
- [30] HOLZSCHUH, H., 'Chemical-Vapor Deposition of Wear Resistant Hard Coatings in the Ti-B-C-N System: Properties and Metal-Cutting Tests' *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials* 20 (2002), PP. 143-149.
- [31] VLADIMIR, I., GOROKHOVSKYA, D.G., BHAT, R.S., KAUSTABH, K., RABI, B., RAI, A.K., "Characterization of Large Area Filtered Arc Deposition Technology: Part II Coating Properties and Applications" *Surface and Coatings Technology* 140 (2001), PP. 215-224.
- [32] DAVID, M., SANDERS, A.A., 'Review of Cathodic Arc Deposition Technology at the Start of the New Millennium' *Surface and Coatings Technology* 133-134 (2000), PP. 78-90.

## **ÖZGEÇMİŞ**

06/03/1979 tarihinde Konya'nın Akşehir ilçesinde doğmuştur. İlkokul eğitimini Akşehir Nihat Dayanık İlkokulunda, Ortaokul eğitimini Akşehir Selçuklu Lisesi ortaokul bölümüne tamamlamıştır. Ortaokulu tamamladıktan sonra, lise eğitimini, Akşehir Selçuklu Lisesinde tamamlamıştır. 1998 senesinde SAÜ TEF. Metal Öğr. Bölümü'nü kazanmış ve 2002 yılında Teknik Öğretmen ünvanını almıştır. Halen Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisans eğitimini sürdürmektedir.

Tek. Öğr. Özkan KON