

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TERMOREAKTİF DİFÜZYON TEKNİĞİ İLE BORLANMIŞ WC-  
Co ESASLI KESİCİ TAKIMLARIN KAREKTERİZASYONU VE  
AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ömer ORUÇ**

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE EĞİTİMİ**  
**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Sakıp KÖKSAL**

**Haziran 2006**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TERMOREAKTİF DİFÜZYON TEKNİĞİ İLE BORLANMIŞ WC-  
Co ESASLI KESİCİ TAKIMLARIN KAREKTERİZASYONU VE  
AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ömer ORUÇ**

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE EĞİTİMİ**

**Bu tez 14 / 06 /2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.**

**Jüri Başkanı Üye Üye**  
**Prf. Dr. İbrahim ÖZSERT Doç. Dr. Uğur ŞEN Yrd. Doç. Dr.Sakıp KÖKSAL**

## TEŞEKKÜR

Öncelikle yetiştirilmem sırasında emeklerini esirgemeyen çok değerli anne, babama ve kardeşlerime teőekkürü bir borç bilirim.

Tezin hazırlanması aőamasında bana her türlü desteği veren danıőmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Sakıp KÖKSAL'a, ayrıca çalıőmalarımda bana verdiği desteklerden dolayı Doç. Dr. Uğur ŞEN'e teşekkür ederim.

Ayrıca çalıőmalarım sırasında benden desteğini esirgemeyen değerli arkadaőlarıma, Ali KIVANÇ ve Mehmet DOğAN'a teşekkür ederim.

Mayıs 2006  
Ömer ORUÇ

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiv
SUMMARY.....	xv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
BOR KAPLAMA İŞLEMLERİ VE ÖZELLİKLERİ .....	3
2.1. Giriş.....	3
2.2. Bor Mineralleri ve Borlama İşlemi.....	6
2.2.1. Bor ürünleri.....	11
2.2.1.1. Boratlar.....	12
2.3. Borlama İşleminin Avantajları.....	12
2.4. Borlama İşleminin Dezavantajları.....	13
2.5. Borlama Yöntemleri .....	14
2.5.1. Kutu borlama.....	14
2.5.1.1. Akışkan yatakta borlama.....	15
2.5.1.2. Çok bileşenli borlama.....	16
2.5.2. Pasta borlama.....	17
2.5.3. Ergimiş fazda borlama.....	18
2.5.4. Tuz banyosunda akımsız borlama.....	18

2.5.5. Ergimiş tuz elektrolizi ile borlama.....	19
2.5.6. Gaz borlama.....	22
2.5.7. Plazma borlama.....	23
2.6. Borlama İşleminin Endüstriyel Uygulamaları.....	26
2.7. TD İşleminin Endüstriyel Uygulamaları.....	26

### BÖLÜM 3.

WC-Co ESASLI KESİCİ TAKIMLAR.....	27
3.1. Kesici Takımların Özellikleri.....	27
3.2. Sinterlenmiş Karbürler.....	30
3.2.1. WC-Co sert maden uçlar.....	30
3.2.2. WC-TiC-Co ve WC-Co-TaC sert maden uçlar .....	37
3.3. Sinterlenmiş Karbürlerin Sınıflandırılması.....	40
3.4. Sert Metalin Komponentleri ve Özellikleri.....	42
3.5. Sinterlenmiş Karbür Kalitesi.....	43
3.6. Takım Seçimi ve Uygulama Rehberi.....	44
3.7. Kesme Hızları ve İlerleme Miktarları .....	45
3.8. Sinterlenmiş Karbürlerde Oluşan Aşınma Mekanizmaları.....	47
3.8.1. Krater aşınması.....	48
3.8.2. Abrasyon aşınması.....	50
3.8.3. Yapışma veya talaş sıvanması aşınması.....	51
3.8.4. Plastik deformasyon.....	53
3.8.5. Difüzyon aşınması.....	54
3.8.6. Termal yorulma.....	56
3.8.7. Talaş derinliğinde çentik.....	57
3.9. Vickers Sertlik Muayene Metodu.....	59
3.10. Sinterlenmiş Karbürü Takımların Kırılması.....	60
3.11. Kaplamalı Karbür Uçlar.....	60

## BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	64
4.1. Giriş.....	64
4.2. Deneyde Kullanılan Malzemeler.....	64
4.3. Deneyleerde Kullanılan Araç ve Gereçler.....	66
4.4. Deneyleerin Yapılışı.....	66
4.5. Metalografik Çalışmalar.....	67
4.6. Sertlik Ölçümleri.....	67
4.7. X Işınları Analizi.....	67
4.8. Elektron Mikroskobu Çalışmaları (SEM - EDS).....	68
4.9. Mekanik Karakterizasyon Çalışmaları.....	68
4.9.1. Aşınma davranışları.....	68
4.9.2. Kesme kuvveti ölçümleri.....	68
4.9.3. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri.....	69

## BÖLÜM 5.

DENEYSEL SONUÇLAR.....	70
5.1. Metalografik Çalışmalar.....	70
5.2. Sertlik Ölçümleri.....	73
5.3. X Işınları Analizi.....	76
5.4. Taramalı Elektron Mikroskobu Çalışmaları (SEM - EDS).....	78
5.5. Mekanik Karakterizasyon Çalışmaları.....	82
5.5.1. Aşınma davranışları .....	82
5.5.2. Kesme kuvveti ölçümleri .....	85
5.5.3. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri .....	86

## BÖLÜM 6.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	88
KAYNAKLAR.....	90
ÖZGEÇMİŞ.....	93

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7(10\text{H}_2\text{O})$	: Tinkal
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 (5 \text{ H}_2\text{O})$	: Kernit
$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} (5 \text{ H}_2\text{O})$	: Kolemanit
$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 (8 \text{ H}_2\text{O})$	: Uleksit
$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 (5 \text{ H}_2\text{O})$	: Propertit
$\text{MgBO}_2 (\text{OH})$	: Szaybelit
$\text{CaMgBO}_{11} (6 \text{ H}_2\text{O})$	: Hidroborasit
TMB	: Trimetil borat
TEB	: trietil boran
TiN	: Titanyum Nitrür
TiC	: Titanyum Karbür
SiC	: Silisyum Karbür
$\text{B}_4\text{C}$	: Bor Karbür
B	: Amorf bor
$\text{Al}_2\text{O}_3$	: Alüminyum Oksit
$\text{B}_2\text{H}_6$	: Diboran
$(\text{CH}_3)_3\text{B}$	: Trimetilbor
$\text{BF}_3$	: Bortriflorür
$\text{BCl}_3$	: Bortriklorür
$\text{BBr}_3$	: Bortribromür
$(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{B}$	: Bortrietil
WC	: Tungsten Karbür
Co	: Kobalt
HK	: Knoop sertliği
HV	: Vickers sertliği
I.S.I.C.	: Uluslararası Standart Sanayi Tasnifi

GTP	: Gümrük Tarife İstatistik Pozisyon
PVD	: Fiziksel Buhar Biriktirme
CVD	: Kimyasal Buhar Biriktirme
mm/dev	: İrlleme miktarı
m/dak	: Kesme hızı
Ti	: Termal Direnç
$\sigma$	: Enine Kırılma Dayanımı
k	: Termal İletkenlik
E	: Elastik Modülü
$\alpha$	: Termal Uzama Kat Sayısı
Sv	: Vickers Sertlik lm
F	: Pramidin Hasıl Ettiği ukurun Yüzey Büyüklüğü
G	: Çukur Kşegeninin Uzunluğu
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	: X- ışınları difraksiyonu
DIN	: Alman Endüstri Standardı
YH	: Yüksek Hız eliği



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Yüzey mühendisliği bünyesinde yer alan yüzey işlemleri.....	5
Şekil 2.2.	Çeliklerin yüzey modifikasyonlarının sağlanmasında kullanılan değişik metotların sertlik derinliği ve sıcaklık açısından kıyaslanması.....	5
Şekil 2.3.	Çeşitli yüzey işlemlerine uğratılmış Ck 45 çeliğinde aşınma hızlarının sıcaklıkla değişimi.....	17
Şekil 2.4.	Ergimiş tuz elektrolizi ile borlama düzeneği.....	21
Şekil 2.5.	Gaz borlama ünitesi.....	22
Şekil 2.6.	Şematik olarak plazma borlama.....	25
Şekil 3.1.	Karbürlerin sıcaklığa göre sertlik değerleri.....	31
Şekil 3.2.	Düz sinterlenmiş karbürlerin (WC-Co) mikro-yapıları. %94 WC-%6Co alaşımli kaba taneli yapılı takım (a), %85WC-%15Co alaşımli kaba taneli yapı (b), %94WC-%6Co alaşımli orta taneli yapı (c), X1500, Hepsi 2dakika süre ile dağlanmış.....	33
Şekil 3.3.	Orta-ince taneli WC-Co alaşımları üzerine Co'n etkisi (a), WC-Co alaşımlarının basma dayanım tersleri ve YHÇ ile karşılaştırılması (b).....	34
Şekil 3.4.	W-C-Co denge diyagramında WC-Co quasi ikili kesiti.....	36

Şekil 3.5.	Çelik dereceli tungsten karbürlerin mikro-yapıları. %85 WC-%9(Ta,Ti, Nb) C-%6Co, orta taneli yapı(a), %78 WC-%15 (Ta,Ti, Nb) C-%7 Co alaşımlı takım, orta taneli (b), %73 WC-%19 (Ta,T, Nb) C-%8 Co alaşımlı takım, orta taneli yapı (c).....	38
Şekil 3.6.	Karbürlü kesicilerin sıcaklığa karşı sertlikleri ve YHÇ ile karşılaştırılması.....	39
Şekil 3.7.	WC- Co alaşımlı takımla %0.4 C içerikli çelik işlendiğinde takım talaş yüzeyindeki krater aşınması (a), Bu malzeme 180 m / dak' da işlendiğinde takım yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımı (b).....	48
Şekil 3.8.	% 0,4 C içerikli çeliği kesmek için WC4 %6 Co içerikli takımla gerçekleştirilen kesme hızı-ilerleme miktarı işleme çizelgesi.....	50
Şekil 3.9.	Düşük hızda çelik işlendikten sonra karbürlü takım ucu talaşlanması.....	52
Şekil 3.10.	Yüksek hız ve ilerlemede kesme sonrası karbürlü kesici takım talaş yüzeyinde çukurlaşma (a), aşırı deforme olan kırılmış takım ucu (b).....	54
Şekil 3.11.	WC- Co kesici takım ile çelik işlendiğinde kesme hızına göre yan kenar aşınma miktarının değişimi.....	56
Şekil 3.12.	Karbürlü takımında termal çatlaklar. Kesici uca dik ve mekanik çatlaklar kesici uca paralel(a), büyütme x15, Nikel esaslı alaşımın düşük hızda işlenmesi esnasında oluşan talaş sıvanması (b), büyütme x20.....	57
Şekil 3.13.	Krater aşınmayla birlikte yan kenar ve talaş derinliğinde çentik aşınması(a), orta karbonlu çeliğin karbürle işlenmesinde oluşan krater aşınması(b), x15, esmer dökme demirin karbürle işlenmesinde yan kenar üzerinde oluşan abrasyon aşınması(c), x75, nikel esaslı süper alaşımların karbürle işlenmesinde oluşan talaş derinliği çentiği aşınması(d), x15.....	58
Şekil 3.14.	Karbürlü Takım Üzerine Çok Katlı Kaplamalar. %85 WC-%9 (Ti, Ta, Nb) C-%6Co, TiC/Al/TiN ile 10µm kalınlığında kaplanmış a), %88 WC-%8 (Ti, Ta, Nb) C-%5 Co, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve TiC ile Kaplanmış tabakayı desteklemek için TiC/TiN ile kaplanmış kesit b).....	61

Şekil 3.15.	Karbürlü Kesici Takımlara (TiC, TiN vb.) Kaplamalar Uygulanmasında Kullanılan CVD ünitesi.....	63
Şekil 4.1.	Metalografik inceleme için kullanılan numuneler.....	64
Şekil 5.1.	WC- Co kesici takımın borlama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak borür tabaka kalınlığındaki değişimler.....	71
Şekil 5.2.	WC- Co esaslı malzemelerin, a) işlem görmemiş ve b) borlanmış (1000° C, 4h ) SEM görüntüleri.....	72
Şekil 5.3.	Kaplanmamış ve 1000°C de 2 ve 4 saat süre ile borlanmış WC-Co esaslı kesici takımın sertlik ölçüm değeri.....	74
Şekil 5.4.	Kaplanmamış ve 1100°C de 2 ve 4 saat süre ile borlanmış WC-Co esaslı kesici takımın sertlik ölçüm değeri.....	74
Şekil 5.5.	Kaplanmamış WC- Co esaslı malzemeye ait X- ışını difraksiyonu.....	76
Şekil 5.6.	Borlanmış WC-Co numune ile borlanmamış numunelerin X-ray difraksiyon analizleri.....	77
Şekil 5.7.	Reaksiyon sıcaklığı 1000° C olan numunenin 2 saat süre ile termokimyasal borlama işlemi sonrası genel görüntüsü.....	78
Şekil 5.8.	Reaksiyon sıcaklığı 1000° C olan numunenin 4 saat süre ile termokimyasal borlama işlemi sonrası genel görüntüsü.....	79
Şekil 5.9.	Reaksiyon sıcaklığı 1100° C olan numunenin 2 saat süre ile termokimyasal borlama işlemi sonrası genel görüntüsü.....	79
Şekil 5.10.	Reaksiyon sıcaklığı 1100° C olan numunenin 4 saat süre ile termokimyasal borlama işlemi sonrası genel görüntüsü.....	80
Şekil 5.11.	Reaksiyon sıcaklığı 1000° C olan numunenin 4 saat süre ile termokimyasal borlama işlemi sonrası borlanmış WC-Co numunenin yüzey bölgelerinde ayrı şekilde görülebilen farklı fazların EDS analizleri. Küçük kareler analizlerin yapıldığı yerleri göstermektedir a) WC partikülleri b) Ta(Nb)C c) yeni oluşmuş fazın Co, W ve Ta ile karşılaştırılması.....	81

Şekil 5.12.	Borlanmamış ve reaksiyon sıcaklığı 900 – 1000°C 1 saat süre ile termokimyasal borlama işlemi sonrası kaplanmış WC- Co kesici takımın aşınma grafiği .....	83
Şekil5.13.	AISI 1010 çeliğinin işlem görmemiş kesici uç ile işlenmesi neticesinde oluşan burun kırılması(a) ve yığıntı kenar oluşumu(b).....	83
Şekil 5.14.	AISI 1010 çeliğinin 900 °C 1 saat süre ile borlanmış kesici uç ile işlenmesi neticesinde oluşan burun kırılması (a) ve tabaka halinde kalkma (b).....	84
Şekil 5.15.	AISI 1010 çeliğinin 1000 °C 1 saat süre ile borlanmış kesici uç ile işlenmesi neticesinde oluşan kesici kenar kopması(c), yardımcı kenar aşınması(b) ve krater aşınması (d).....	84
Şekil 5.16.	Borlanmamış, 900° C, 1000°C ve 1100°C 1 saat süreyle borlanmış WC- Co kesici ucun zamana bağlı kesme kuvvetleri..	85
Şekil 5.17.	Borlanmamış, 900° C, 1000°C ve 1100°C 1 saat süreyle borlanmış WC- Co kesici ucun zamana bağlı ilerleme kuvvetleri .....	86
Şekil 5.18.	Kaplanmamış ve kaplanmış WC- Co kesici ucu ile işlenen AISI 1010 çeliğinin yüzey pürüzlülüğü.....	87

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1	Bor elementlerinin fiziksel özellikleri.....	6
Tablo 2.2	Bor madenleri ve buldukları yerler.....	7
Tablo 2.3	Dünya'da ve Türkiye'de bor madeni rezervleri.....	7
Tablo 2.4	Türkiyede işletilen bor maden ocakları ve buldukları yerler.....	8
Tablo 2.5	Borlanmış çeliklerin sertlik değerlerinin diğer işlemlerle ve sert malzemelerle karşılaştırılması.....	11
Tablo 2.6	Bor ürünlerinin I.S.I.C. ve G.T.P. numaraları.....	12
Tablo 2.7	Borlamada kullanılan kimyasallar ve önemli özellikleri.....	23
Tablo 3.1	Tipik takım malzemeleri veya bileşenlerinin sertlikleri.....	28
Tablo 3.2	Takım malzemelerinin Mekanik özellikleri.....	29
Tablo 3.3	Bazı karbürlerin özellikleri.....	32
Tablo 3.4	WC-Co alaşımli kesicilerin özellikleri.....	37
Tablo 3.5	Çelik dereceli sinterlenmiş karbürlerin bazı özellikleri.....	39
Tablo 3.6	ISO'ya göre sınıflandırma sistemi.....	41
Tablo 3.7	Sinterlenmiş karbürlerin C sistemine göre sınıflandırılması.....	42

Tablo 3.8	Sert metallerin özelliklerine bileşimin ve yapının etkisi.....	43
Tablo 3.9	Karbürlü takımlar için uygun kesme hızı ve ilerleme değerleri.....	46
Tablo 4.1	Deney malzemesi kimyasal bileşimleri.....	65
Tablo 5.1	SBF kesici takımın borlama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak borür tabaka kalınlık değerleri.....	70
Tablo 5.2	İşleme tabi tutulan AISI 1010 çeliğinin kimyasal bileşenleri	82

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: Borlama, Termokimyasal İşlem, Mikrosertlik, İşlenebilirlik, WC-Co esaslı kesici takımlar, Kesici takım aşınması, Aşınma mekanizmaları, Yüzey Pürüzlülüğü

Bu çalışmada ISO P25 sınıfı WC-Co esaslı kesici takım malzemesi borlama işlemine tabi tutulmuş ve bu işlemin malzemenin aşınma davranışı ve yüzey bölgesi mikroyapısı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Borlama işlemi 900° C, 1000° C ve 1100° C sıcaklıklarda 1, 2 ve 4 saatlik sürelerde uygulanmıştır. Borlama işlemi boraks, borik asit ve ferro silisyum esaslı sıvı banyoda gerçekleştirilmiştir.

Borlama işlemi sonrasında oluşan difüzyon bölgesinin morfolojileri ve faz analizleri; optik, taramalı elektron mikroskobu ve X-ışını difraksiyon analizi yardımıyla yapılmıştır. Ayrıca borür tabakasının mikro sertliği de ölçülmüştür.

Borlanmış kesici takımlardaki yüzey sertlik değerinin bazı şartlarda yaklaşık 3 kat artırdığı kaydedilmiştir. Sertlikteki bu artış  $CoW_2B_2$ ,  $W_3CoB_3$ ,  $CoWB$  gibi çok bileşenli borür fazların oluşumundan kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Yapılan kesme ölçüm deneylerinde kaplanmış kesici uçların kesme kuvvetleri, kaplanmamış kesici takıma göre %10 daha yüksek çıkmıştır.

Kaplanmış uç ile yapılan işlemede işlenen malzemenin yüzey pürüzlülüğü değerinde yaklaşık %56 oranında bir iyileşme gözlenmiştir.

Termokimyasal borlama neticesinde kesici takımın sertliği artmakla birlikte, işlenen parçanın yüzey pürüzlülük değerinde bir iyileşme gözlenirken diğer taraftan kesici takımın kesme ve ilerleme kuvvetlerinde bir artış görülmektedir.

# **THE CHARACTERIZATION AND WEAR BEHAVIOUR OF WC-Co BASED MATERIALS BORONIZED WITHIN MOLTEN SALT BATH**

## **SUMMARY**

Keywords: Boronizing, thermochemical treatment, microhardness, machinability, WC-Co based tools, tool wear mechanisms, surface roughness.

In this study, ISO P25 grade WC-Co based tool materials were boronized. The effects of boronizing treatment on the microstructure, wear behavior and some mechanical properties of the tool materials were analyzed. Boronizing process was carried out at temperatures of 900 C, 1000 C, 1100 C and for 1, 2 and 4 hours. The boronizing bath consisted of a mixture including boron, boric acid and ferro silicon.

After boronizing treatment, the samples were examined using metallographic techniques that includes optical and SEM microscopy, x-ray analysis, microhardness measurements. It was recorded that the surface hardness of the boronized samples increased approximately 3 folds. This increase could be attributed to the newly formed boride phases such as  $\text{CoW}_2\text{B}_2$ ,  $\text{W}_3\text{CoB}_3$ , and  $\text{CoWB}$ .

In addition, according to the results of the cutting test performed on a lathe, the wear resistance of the treated samples decreased in spite of the increase in surface hardness. On the other hand, surface roughness of the machined material was improved approximately by 56%.



## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde endüstride tornalama işlemlerinde kesici takım olarak en çok sert metal kesici takımlar kullanılır. Çünkü sert kesici takımlar, çelik cinsi kesici takımlardan 10 kat fazla kesme hızlarında özelliklerini kaybetmeden uzun süre kesme yapabilirler.

Sert metallerin kesme özellikleri ve aşınmaya karşı dirençleri, içindeki metallerin oranıyla ayarlanır. Karışımın içinde titanyum (Ti) ve tantal (Ta) elementlerinin oranı arttıkça aşınmaya karşı direncide artar. İçindeki kobalt oranı arttıkça dokusu sıklaşır, kırılabilirliği azalır. İçinde volfram karbür, titanyum karbür ve titanyum nitrür (TiN) bulunan sert metale sermet denir. Sermet kesici uçlar aşınmaya karşı diğer sert metallere göre daha dayanıklıdır. Bu yüzden çelik cinsi malzemeleri tornalamak için ince taneli sermet kesici uçlar tercih edilir [3].

Sert metaller toz metalurjisi ile üretilen sinter malzemesi olup, karbürler ile bağlayıcı maddeden oluşan malzemelerdir. Bağlayıcı fazın özelliği, gevrek olan karbürleri sağlam bir yapıda birleştirilmesi ve böylece yüksek sıcaklık mukavemeti ve direnci kazandırmasıdır. Sert Metaller; wolfram, titanyum ve tantal karbürlerin kobalt bağlayıcı madde ile birleşmesinden ve 1300- 1600° C'de sinterlenmesi ile üretilmektedir. Karbürli kesici takımlar yüksek aşınma mukavemetlerine sahiptirler, yaklaşık olarak 900°C'lik çalışma sıcaklığına çıkan takımlarda ve genel olarak döner kesici plakalar halinde kullanılır. Sert metallerin sertliklerine ve sıklıklarına, onların terkipleri vasıtasıyla etki edilebilir. Wolfram- kobalt'ın yanında Titanyum-kobalt ve Tantal- kobalt'ın yüksek payları, aşınma mukavemetini ve sertliğini çok fazla artırır. Artan kobalt oranı ile gevreklik bakımından mukavemeti artar [2].

Sinterlenmiş sert metaller günümüzde varlığını sürdüren WIDIA adı altında 1927 yılında Friedrich Krupp tarafından tanıtılmıştı. Temel buluşlar Almanya'da yapılmasına karşı, daha sonra İsveç, Avusturya, ve A.B.D.' de gelişmeler gerçekleşti. Saf wolfram karbürden (WC) kesici takım imali için 2000°C sinterlenme sıcaklığı gereklidir. Ancak üretilen mamulun çok gevrek olması nedeni ile endüstride kullanılması elverişli değildir. Bu nedenle 1914 yılından günümüze bu ana problem üzerine çalışan 'Karl Schröter' wolfram karbür tozu içerisine %10 kobalt, nikel ve demir tozu elementleri karıştırılıp, preslendiği zaman mamulün yaklaşık 1500°C de sinterlenerek düşük prositeli çok yüksek sertlikte ve mukavemette bir ürün elde edilmesini sağlamıştır.

Bu çalışmanın amacı ISO P25 sınıfı WC-Co esaslı kesici takımlara uygulanan borlama işleminin aşınma davranışı ve yüzey mikro yapısı üzerine etkisini incelemektir.

## **BÖLÜM 2. BOR KAPLAMA İŞLEMLERİ VE ÖZELLİKLERİ**

### **2.1. GİRİŞ**

Endüstride makine elemanları ve kesici takımların kullanım dışı kalmasının başlıca sebepleri; aşınma, yorulma ve korozyondur. Endüstrileşmiş toplumlarda sürtünme ve aşınmanın kontrol altında tutulması veya azaltılması gittikçe artan bir ihtiyaç olmuştur. Çünkü, makinenin servis ömrünü uzatmak, çevre kirliliğine yol açmamak, daha etkili makine ve aletler yapmak, emniyetli alet ve makineler geliştirmek, büyük ölçüde sürtünme ve aşınmanın önlenmesine bağlıdır. Önceleri sadece sıvı veya katı yağlayıcı kullanmakla önlenmeye çalışılan bu probleme tribolojistler'in yaklaşımı, yüzey işlemleri ve kaplamaların kullanılarak aşınmanın önlenmesi yönündedir [5].

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 makina elemanlarında belirli bir süre sonra ve ortaya çıkan aşınma problemlerini azaltmak için birçok yüzey iyileştirme teknikleri uygulanmaktadır. Bu yöntemlerden karbürleme, nitrürleme, borlama ve çeşitli yüzey kaplama teknikleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. 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 hasılanın %6' sını (178,5 milyar dolar) teşkil ettiği görülmüş ve bu yönde çalışmalara ağırlık verilmesi önerilmiştir.

Yirminci yüzyılın başlarından itibaren çalışılmaya başlanan borlama ile çok sert, düşük sürtünme katsayısına sahip, yüksek sıcaklık mukavemeti fazla olan ve korozyon dirençli malzeme yüzeyleri elde edilmesi mümkün olmaktadır. Bir termokimyasal yüzey sertleştirme yöntemi olan borlamada, bor atomları metal yüzeyine termokimyasal olarak yayılarak sert bor tabakası oluştururlar. Bu yöntem, yaklaşık 900-1100 °C sıcaklıkta, değişik ortamlarda (katı, sıvı, gaz veya plazma) alaşımsız ve alaşımlı çeliklere, dökme demirlere, demir dışı metal ve alaşımlarına (Ni, Co, Mo, Ti), bu alaşımların toz metalürjisi yöntemiyle üretilen tozlarına, bazı süper alaşımlar ile sermetler gibi birçok malzeme grubuna uygulanabilir [9].

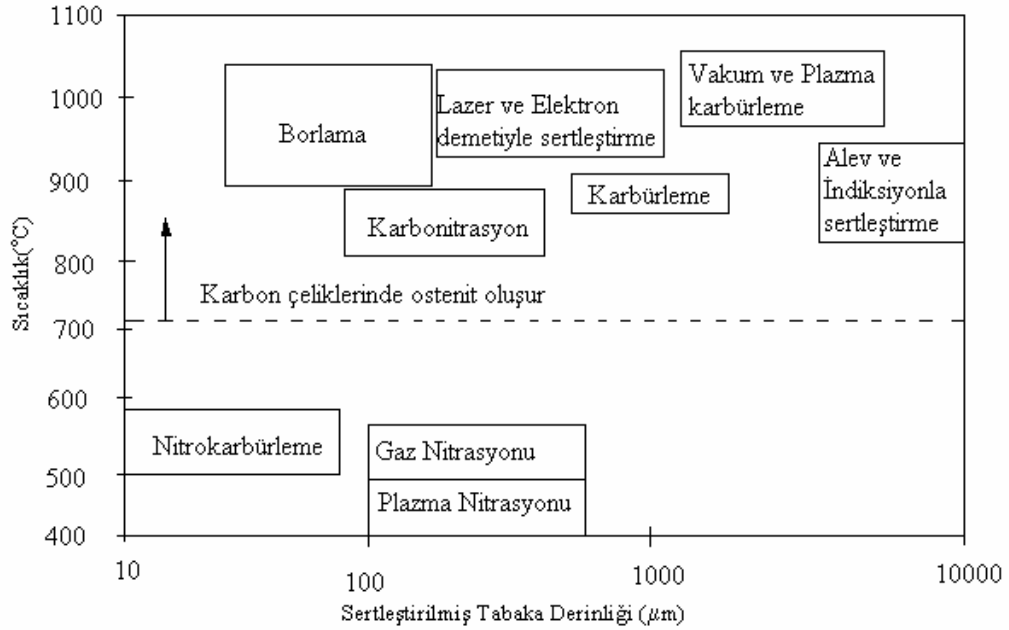
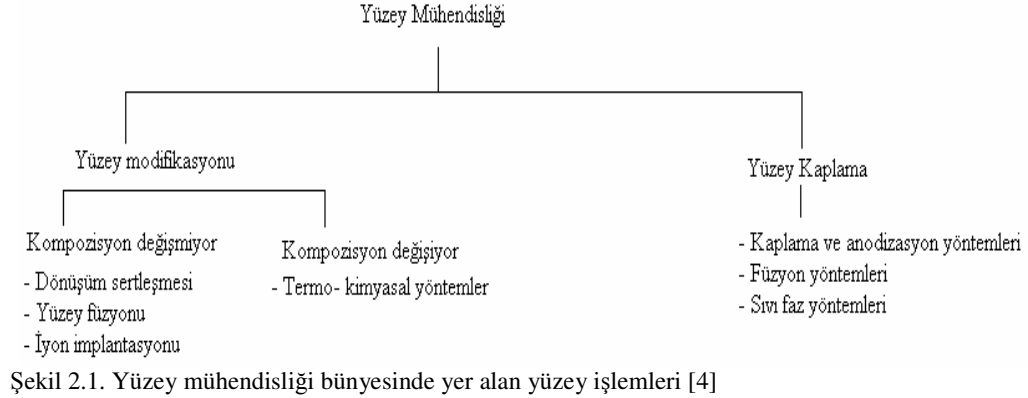
Parça yüzeyi, sadece mekanik ve kimyasal özellikleri değil, elektronik, manyetik ve optik özellikleri de belirleyen unsurdur. Rekabet şartlarının çok ağırlaştığı günümüzde, bilim adamları ve araştırmacılar, daha yüksek performans sergileyen parçalar üretmek için çok yoğun bir gayret sarf etmektedirler. Yüzey işlemleri sayesinde, malzemenin sahip olması istenen özelliklerin hemen hemen çoğu elde edilebilmektedir. Yüksek mukavemet ve tokluğa sahip olacak şekilde dizayn edilen bir malzemeye uygulanan kaplama işlemi ile parçanın; aşınmaya, termal yüklere ve korozyona da dirençli hale gelmesi sağlanmaktadır [5].

Malzeme yüzeylerine uygulanan klasik ve modern kaplama yöntemleri dünyada ve ülkemizde hızlı bir şekilde yaygınlaşmakta ve sanayileşmiş ülkelerde aşınma sebebiyle Gayri Safi Milli Hasılatın % 7' sine eşdeğer bir harcamanın yapıldığı düşünülmektedir [5].

Malzemeye uygulanan yüzey işlemleri altlık malzemenin özelliklerini;

- Kaplama yolu ile (metal- alaşım- bileşik- seramik kaplama, organik kaplama, boya v.s., inorganik kaplama, cam, beton, emaye gibi),
- Bir başka maddenin difüzyonu ve altlık malzeme ile bileşik oluşturulması yolu ile (borlama, nitrüleme, karbürleme ve karbonitrüleme v.s.),
- Altlık malzemenin kendinden kaynaklanan oksit tabakasını kalınlaştırmak (alüminyum ve titanyumun anodizasyonu gibi) ve başka maddelerle reaksiyona sokmak suretiyle (kromatlama ve fosfatlama gibi) değiştirmektedir [4].

Yüzey işlemleri şematik olarak Şekil 2.1’de ve çeliklerin yüzey modifikasyonu için kullanılan değişik yöntemlerin sertlik, derinlik ve sıcaklığa bağlı olarak kıyaslanması Şekil 2.2’de verilmektedir. Bu yöntemlerin çoğu çeliklere uygulanırken bir kısmı da seramik ve polimerik malzemelere uygulanmaktadır [4].



Şekil 2.2. Çeliklerin yüzey modifikasyonlarının sağlanmasında kullanılan değişik metotların sertlik derinliği ve sıcaklık açısından kıyaslanması [4]

Dünyada ve ülkemizde uygulanan makine ve kesici malzemelerin yüzeylerine uygulanan kaplama yöntemleri giderek yaygınlaşmakta, önemli derecede iyi dereceler alınmakta ve buda ekonomik açıdan Ülkemiz için iç açıcı bir olay olmaktadır.

## 2.2. Bor Mineralleri ve Borlama İşlemi

Periyodik sistemin üçüncü grubunun başında bulunan bor elementi, kütle numaraları 10 ve 11 olan iki kararlı izotopundan oluşur. Bor elementi yer kabuğunda % 0.001 oranında, deniz suyunda ise 3-5 ppm düzeyinde bulunur.

Tablo 2.1. Bor elementlerinin fiziksel özellikleri [7]

Özellik	Değeri
Atom ağırlığı	10.811+0.003
Ergime noktası	2190+20 °C
Kaynama noktası	3660 °C
Isıl genişleme katsayısı	$5 \times 10^{-6}$ - $7 \times 10^{-6}$ (25~1050° C arası, 1° C için)
Knoop sertliği	2100-2580 HK
Mohs sertliği (elmas-15)	11
Vickers sertliği	5000 HV
Doğada Bulunuşu	Bor, doğada serbest element olarak değil, tuz şeklinde bulunur. Bor tuzlarına <u>bor madenleri</u> , bor madenlerinin kimyasal olarak işlenmesi sonucunda elde edilen ürünlere ise, <u>bor ürünleri</u> denilir.
Kullanılışı	Bor, B10 olarak atom reaktörlerinin soğutma sularında, nötron tutucu olarak kullanılmaktadır. Her bir bor atomu bir nötron tutmaktadır. ABD'de üretilmektedir.

Bor madenleri yeryüzünde mineral tuzları şeklinde bulunmaktadır. Onlarca bor tuzundan ticari değeri olanlar aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Türkiye'de işletilen bor madenleri tinkal, kolemanit ve uleksittir. Bor madenleri içindeki  $B_2O_3$  oranına göre değerlendirilir. İçinde daha fazla  $B_2O_3$  içeren bor madeni az olanına göre daha değerlidir.

Tablo 2.2. Bor madenleri ve buldukları yerler [7]

Mineral	Formülü	% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Bulunduğu Yer
Tinkal	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> (10H <sub>2</sub> O)	32,0	Türkiye, ABD
Kernit	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> (5 H <sub>2</sub> O)	51,0	Türkiye, ABD, Arjantin
Kolemanit	Ca <sub>2</sub> B <sub>6</sub> O <sub>11</sub> (5 H <sub>2</sub> O)	50,8	Türkiye, ABD
Uleksit	NaCaB <sub>5</sub> O <sub>9</sub> (8 H <sub>2</sub> O)	43,0	Türkiye, ABD, Arjantin
Propertit	NaCaB <sub>5</sub> O <sub>9</sub> (5 H <sub>2</sub> O)	49,6	Türkiye, ABD
Szaybelit	MgBO <sub>2</sub> (OH)	41,4	Kazakistan
Hidroborasit	CaMgBO <sub>11</sub> (6H <sub>2</sub> O)	50,5	Türkiye

Dünyadaki bor madeni rezervlerinin % 66'sı Türkiye'dedir. Dünyada işletilen toplam 488 milyon tonluk rezervin 320 milyon tonu Türkiye'dedir. Dünya'da işletilen ve tahmin edilen bor madeni rezervlerinin B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarlarına göre dağılımı yüzdesi aşağıdaki tablodadır.

Tablo 2.3. Dünya'da ve Türkiye'de bor madeni rezervleri [7]

Ülke	İşletilen rezerv Miktarı (Ton)	% İşletilen rezerv	Bilinen rezerv miktarı	% Bilinen rezerv miktarı
Türkiye	320.000.000	66 %	803.000.000	63%
ABD	60.000.000	12 %	209.000.000	16%
Kazakistan	54.000.000	11 %	136.000.000	11%
Çin	27.000.000	6 %	36.000.000	3%
Güney Amerika	27.000.000	6 %	91.000.000	7%
Toplam	488.000.000	100 %	1.275.000.000	100%

Türkiye'de bugüne kadar işletilmiş bor madeni ocakları ve buldukları yöreler

Tablo 2.4'de gösterilmiştir.

Tablo 2.4. Türkiyede işletilen bor maden ocakları ve buldukları yerler [7]

Şehir	İlçe - Yöre	Maden Adı	Maden Cinsi
Balıkesir	Susurluk, Bigadiç, Sındırgı, Küçükler	Aziziye, Sultançayırı, Tulu, Salmanlı, Ankara, Acep, Domuz, Kireçlik, Kurtpınar, Faraş, Günevi, Beğendikler, Yeniköy	Kolemanit ve Uleksit
Kütahya	Emet	Hisarcık, Harmanköy, Espey, Killik	Kolemanit
Bursa	Kestelek	Kestelek	Kolemanit
Eskişehir	Kırka	Göçenoluk, Harmankaya,	Tinkal

Türkiye, dünyada en fazla bor rezervine sahip ülkeler arasında başta gelmektedir. Bu bor rezervleri dünyadaki bor rezervlerinin %66'sını teşkil etmektedir. Son zamanlarda metalik malzemeler üzerine termo-kimyasal yöntemle bor kaplamalar ilgi odağı olmuştur. Böylece kaplanan malzemenin matris özellikleri yanında, yüzeyinde oluşacak bor bileşiklerinin özelliklerine bağlı olarak aşınma, korozyon direnci ve üstün mekanik özelliklerden faydalanmak mümkün olmaktadır.

Bor elementi, periyodik sistemde 3A grubunda yer almakta olup, atom ağırlığı 10.82 ve atom numarası 5'tir. Atom yarı çapı  $1.78 \text{Å}$  ve yoğunluğu  $2.3 \text{g/cm}^3$  olan borun ergime noktası  $2550^\circ\text{C}$ ' dir. Aynı şekilde atom yarıçapı  $0.46 \text{Å}$  ve iyon yarıçapı  $0.23 \text{Å}$  olup valansı +3'tür. Bor elementi genellikle tetragonal ve hegzagonal olarak hem kristal yapıda hem de amorf yapıda olabilir [4].

Bor ile yüzey sertleştirme işlemi, diğer bir ifade ile borlama, termo- difüzyonel bir işlem olup esas olarak borun yüksek sıcaklıkta çeliğe yayınıdır. Borlama, karbürizasyon ve nitrürasyon benzeyen bir difüzyon işlemi olup sadece metallere değil, sermet ve seramik malzemelere de uygulanabilmektedir. Borlamanın diğer yüzey sertleştirme işlemlerinden üstünlüğü; yüzey tabakasının çok sert olmasının



yanında yüksek aşınma, korozyon ve yüksek sıcaklıkta oksidasyon direncine sahip olmasıdır [4].

Borlama işlemi, 700- 1000°C sıcaklık aralığında 1- 12 saat sürelerde çeşitli borlama ortamlarında gerçekleştirilmektedir. Bu borlama ortamı katı, sıvı veya gazolup bor kaynağı (  $B_4C$ ,  $Na_2 B_4O_7$ ,  $H_2B_6$  ) aktivatör ( $KBF_4$ ), dolgu malzemesi ve deoksidanlardan meydana gelmektedir. Aktivatörler tabakanın düzenli büyümesini sağlarken, dolgu deoksidan malzemeler işlem sıcaklığında oksijeni tutarak redükleyici bir ortam oluşturmakta ve ayrıca ortamdaki malzemelerin ana malzemeye yapışmasını önlemektedir [4].

Borlama işleminin en önemli karakteristik özelliği, elde edilen borür tabakasının çok yüksek sertlik (1450-5000HV) ve ergime sıcaklığına sahip olmasıdır. Borür tabakasının yüksek sertlik değeri ve düşük sürtünme katsayısı değerlerine sahip olması, aşınma direncinin oldukça yüksek olmasını sağlamaktadır. Tungsten karbürün, elektrolitik sert krom kaplamaların ve sertleştirilmiş takım çeliklerinin sertlik değerlerine borlama işlemi ile ulaşmak mümkündür. Bir kıyaslama açısından bor kaplanmış çeliklerin ve diğer sert metallerin yüzey sertlikleri Tablo 2.6' da verilmektedir [4].

Borlama, Alman Endüstri Standardı DIN 17014' e göre 'termokimyasal işlem yoluyla iş parçasının yüzeyinin bor atomlarıyla zenginleştirilmesi' olarak tarif edilen termodifüzyonel yüzey işlemdir. Yani borlama; termal enerji yoluyla bor atomlarının iş parçasının yüzeyindeki metal latisin içerisine yayılması ve orada ana malzeme(altlık)'nin atomları ile borürlerin oluşturulmasıdır [4].

Borlama işlemi; yüzey sertleştirilmiş çelikler, temperlenmiş çelikler, takım çelikleri, paslanmaz çelikler gibi yapısal çeliklerle, döküm çeliklere, gri ve sfero dökme demirlere; sinterlenmiş metal tozlarına, çeliklere ve karbürlere; nikel, kobalt, molibden ve titanyum gibi demir dışı alaşımlara uygulanabilmektedir [5].

Borlama işlemi katı, sıvı, gaz, plazma ve iyon implantasyonu gibi yöntemlerle yapılmaktadır. Katı borlama genellikle patentlerle korunan yaklaşık %5  $B_4C$ , %5  $KBF_4$  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 gereği kadar tutulur ve soğutulur [6]. Sıvı borlama da boraks, borik asit ve ferro silis karışımından oluşan erimiş tuz banyosuna numune daldırılır ve bu sıcaklıkta belirli bir süre bekletilir. Gaz ve plazma borlamada  $BCl_3$ , TMB (trimetil borat), TEB (trietil boran) ve  $BF_3$  gibi bor kaynakları ile  $H_2$  ile Ar gazları kullanılmaktadır [5-8 makine mühendis]. Katı borlama ile yapılan bir çalışmada katı borlama ile C 45 çeliği borlanmış ve 170mm kalınlığında ve 1600 HV sertliğinde borür tabakası elde edilmiş, borür tabakasını metal alt tabakaya göre 20 kat daha fazla aşınma direncine sahip olduğu gözlenmiştir [6]. AISI 316L çeliği sıvı borlama işlemi ile borlanmış ve 12-14 $\mu$ m kalınlığında, 1500-1800 HV mikro sertliğinde borür tabakası elde edilmiştir [6].

Sıvı borlamada erimiş tuz tabakası numune yüzeyine yapışır ve kalıntının temizlenmesi problem oluşturmaktadır. Katı borlamada numune yüzeyinin temizlenmesi gerekir. Fakat yapışma tam olmadığından numune yüzeyi kolay temizlenir.

Gaz ve plazma borlamada malzeme yüzeyi temiz olmasına rağmen kullanılan gazların zehirli, pahalı ve patlayıcı olması dezavantajlarıdır.

Tablo 2.5. Borlanmış çeliklerin sertlik değerlerinin diğer işlemlerle ve sert malzemelerle karşılaştırılması [5]

Malzeme	Mikrosertlik, HV (Kg / mm <sup>2</sup> )
Borlanmış Yumuşak Çelik	1600
Borlanmış AISI H13 Kalıp Çeliği	1800
Borlanmış AISI A2 Çeliği	1900
Su verilmiş Çelik	900
Su verilmiş ve Temperlenmiş H13 Çeliği	540-600
Su verilmiş ve Temperlenmiş A2 Kalıp Çeliği	630-730
Yüksek Hız Çeliği BM42	900-910
Nitrülenmiş Çelik	650-1700
Semantasyonlu Düşük Alaşımli Çelik	650-950
Sert Krom Kaplama	1000-1200
Sementit Karbürler, WC+Co	1160-1820(30kg)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + ZrO <sub>2</sub> Seramikler	1483(30kg)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiC+ ZrO <sub>2</sub> Seramikler	1730(30kg)
Sialon Seramikler	1768(30kg)
TiN	2000
TiC	3500
SiC	4000
B <sub>4</sub> C	5000
Elmas	≈10000

### 2.2.1. Bor ürünleri

Bor ürünleri, boraks (dehidrat, pentahidrat, susuz boraks), borik asit , sodyum perborat (monohidrat, tetrahidrat)'tan oluşuyor. Bor ürünleri, Uluslararası Sanayi Standart Sınıflandırması'na göre Kimya Sanayii içinde yer alıyor. Her üç bor ürününün üretiminde hammadde olarak tinkal kullanılabilir. Ancak Türkiye ve Avrupa'da borik asit üretiminde kolemanit ve uleksit kullanılıyor. Sodyum perborat ise hem tinkalden hem de borakstan üretiliyor.

Türkiye'de üretilen bor ürünlerinin herbirine ait Uluslararası Standart Sanayi Tasnifi (I.S.I.C.) numaraları Gümrük Tarife İstatistik Pozisyon (GTP) numaraları aşağıda verilmiştir.

Tablo 2.6. Bor ürünlerinin I.S.I.C. ve G.T.P. numaraları [7]

	ISIC2	ISIC3	GTP
1. Borik Asit	35110608	24110606	2810.00.90.90.11
2. Boraks Pentahidrat	35111324	24111324	2840.19.10.00.00
Boraks Dekahidrat	35111325	24111325	2840.19.90.00.00
3. Sodyum Perborat monohidrat	35111317	24111317	2840.30.00.10.11
Sodyum Perborat tetrahidrat	35111317	24111317	2840.30.00.10.19
4. Susuz Boraks	35111323	24111323	2840.11.00.00.00

### 2.2.1.1. Boratlar

Bor minerallerinin sınıflanması kristal yapılarına kristal yapılarındaki karmaşık bor-oksijen polianyonlarına göre yapılmaktadır. Bor üç oksijen ile çevrelenerek bir üçgen veya dört oksijen ile bağlanarak bir dört yüzlü oluşturur. Bu B-O üçgenleri ve dörtyüzlüleri köşe paylaşarak polinükleer anyonları yaparlar. Hidroksilli boratların polianyonlarında iki bor ile paylaşılmayan oksijenlere bir proton eklenir ve bunlar hidroksil gruplarını oluştururlar. Bu polianyonlar bir molekül su bırakarak çeşitli biçimlerde birleşir ve değişik bor minerallerini meydana getirirler. Bor ürünleri cam, seramik, emaye, metalurji, sabun, deterjan sanayii, tarım sektörü vb. yerlerde kullanılmaktadır. Doğada yaklaşık 100 kadar bor minerali vardır.

### 2.3. Borlama İşleminin Avantajları

Bor tabakasının sahip olduğu yüksek yüzey sertliği ve düşük yüzey sürtünme katsayısı; yapışma, aşınma koşullarında, aşınma ve yüzey yorulması gibi aşınma mekanizmalarına karşı dayanıklı olmasını sağlar.

- Borür tabakasının sertliği yüksek sıcaklıklarda da kararlıdır.
- Diğer yüzey sertleştirme işlemlerinin aksine pek çok çelik, borlarna için uygundur.
- Borürleme, oksitleyici olmayan sulandırılmış asitlerde ve alkali ortamlarda demir malzemelerin korozyon-erozyon direncini artırır. Borlama işlemi sayesinde, düşük alaşımli çeliklerin asitlere karşı dayanımını artırmak mümkündür.
- Borlanmış yüzeyler yüksek sıcaklıklarda (850°C) orta seviyede oksidasyona karşı dayanıklıdır.
- Borür tabakasının ergimiş metal eriyiklerine dayanma direnci son derece yüksektir.
- Borlanmış yapının yorulma ömrü ve servis süresi oksitleyici ve koroziv ortamlarda yüksektir.
- Borlama prosesi, sürtünme katsayısını düşürmekte ve yağlayıcı kullanımını minimize etmektedir.

#### **2.4. Borlama İşleminin Dezavantajları**

Borlama işleminin sahip olduğu avantajlar yanında bazı sınırlayıcı dezavantajları da mevcuttur. Bunlar;

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

- Yüksek temas yüklerinde (>2000 N) nitrürleşmiş ve karbürleşmiş çeliklerin döner sistemlerde yorulma özellikleri, borürleşmiş çeliklere oranla oldukça yüksektir. Bu nedenle dişli imalatında bir sınırlama söz konusudur.
- Takım malzemeleri bor kaplandıktan sonra sertleştirme ve temperleme'ye tabi tutulacaksa bu işlemler borür tabakasının özelliğinin korunması açısından inert ortamda veya vakum altında yapılmalıdır [8].

## 2.5. Borlama Yöntemleri

Teknolojik olarak borürleme de pek çok yöntem geliştirilmiş olmasına rağmen bunları iki ana başlık altında toplayabiliriz.

1. Termokimyasal yöntemler (kutu borlama, pasta borlama, sıvı borlama ve gaz borlama)
2. Termokimyasal olmayan yöntemler (fiziksel buhar biriktirme(PVD), kimyasal buhar biriktirme (CVD), plazma sprej kaplama ve iyon biriktirme)
3. Termokimyasal bor kaplama, sıcaklık ve zamanın bir fonksiyonu olarak bor atomunun bor içeren bileşikten, bir redüktan yardımıyla oluşturulan elementer borun, metale difüzyonuna dayanır ve endüstriyel olarak en çok tercih edilen yöntemlerdir ve dört ana gruba ayrılırlar. Termokimyasal olarak borürlemede bor kaynağı olarak katı, sıvı ve gaz bileşikler kullanılır [8].

### 2.5.1. Kutu borlama

Borlama işleminde kullanılacak düzeneğin basit bir işçilikle yapılabiliyor olması ve operasyonun basitliği, emniyetli olması, toz karışım kompozisyonunun değişiminin işlem süresince çok az olması ve bu yöntemde fazla ekipmana ihtiyaç duyulmaması nedeniyle ekonomik olup yaygın olarak kullanılan bir metottur. Proses süreci; genel olarak kutulama, ısıtma ve temizleme adımlarından oluşur. Kutulama yöntemi ile

borlamada bor kaynağı olarak kullanılabilen katı bor bileşikleri amorf bor (B), ferrobor ( $\text{FeB}_x$ ) ve bor karbür ( $\text{B}_4\text{C}$ ) dür.

Amorf bor ve ferrobor çok iyi bor sağlayıcısı olup kalın borür tabakası oluştururlar ve bor karbüre göre ucuz ve kolay bulunabilir malzemelerdir. SiC ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  gibi katkı maddeleri ise ana reaksiyonda yer almayıp, akışkanlık sağlama dolgu malzemesi olarak veya ilave redüktan olarak kullanılırlar.  $\text{NaBF}_4$ ,  $\text{KBF}_4$ ,  $(\text{NH}_4)\text{BF}_4$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{BaF}_2$  ve  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  ise borlamada aktivatör görevi görürler. Bunlara ek olarak Ekabor tozları gibi isimlerle satılan ve tam kompozisyonu firmalarca açıklanmayan karışımlar da borlama amacıyla kullanılırlar. Ekabor ve benzeri ticari patentli ve bileşimi verilmeyen karışımlar genel olarak yukarıda ele alınan kimyasal bileşiklerin karışımıdır. Borlama prosesinde kullanılan bazı ticari toz karışımlarının bileşimleri şunlardır;

%5  $\text{B}_4\text{C}$ , %90 SiC, %5  $\text{KBF}_4$

%50  $\text{B}_4\text{C}$ , %45 SiC, %5  $\text{KBF}_4$

%85  $\text{B}_4\text{C}$ , %15  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

%95  $\text{B}_4\text{C}$ , %5  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$

%84  $\text{B}_4\text{C}$ , %16  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$

Amorf bor (%95-97 B)

%95 Amorf bor, %5  $\text{KBF}_4$

Kutu borlama işleminde bor kaybını önlemek için kutu kurşun ile kaplanır, buna ilaveten tüm malzemeler kutuya yerleştirildikten sonra potanın ağzı demir curufu veya beton ile kapatılır.

### 2.5.1.1. Akışkan yatakta borlama

Yeni geliştirilen bir teknik olan akışkan yatakta borlamada; iri taneli silisyum karbür partikülleri yatak malzemesi olarak kullanılır, Ekabor WB gibi özel borlama tozlarıyla ve  $\text{N}_2\text{-H}_2$  karışımı ile oksijensiz ortamda borlama yapılır.

Bu prosesin sağladığı avantajlar;

- Isıtmada ve akışta yüksek hız sayesinde proses kısa zamanda tamamlanır.
- Düşük maliyete homojen ısı dağılımını sağlar.
- Yukarı doğru olan gaz basıncından ötürü akışkan yatak sızdırmazdır.
- Bu proses sürekli üretime adapte edilebilir.
- Borlama işleminin ardından direkt prosesin devamı şeklinde su verme işlemi yapılabilir.
- Proses maliyeti düşüktür.

Bu metottun en büyük dezavantajı, bor ajanlarının sürekli olarak retortlarda inert gazla beraber su ile yıkanmasıdır. Ayrıca, çıkış gazında florür bileşikleri tarafından kirletilmiştir ve kesinlikle arıtılmalıdır.

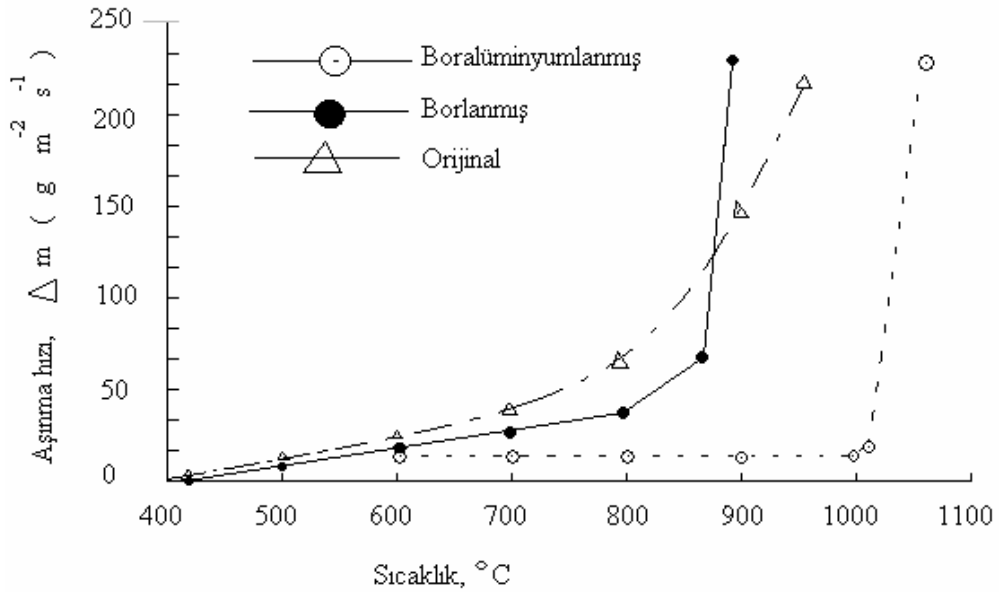
### **2.5.1.2. Çok bileşenli borlama**

Bor elementinin yanında, alüminyum, krom, silisyum, vanadyum ve titanyum vb, metalik elementlerden birkaçını çelik yüzeyine aynı anda veya peşpeşe sırasıyla yayındırılması prensibiyle oluşturulmuş termokimyasal bir işlemdir. Genellikle çok bileşenli borlama iki kademe şeklinde, 850°C – 1050°C sıcaklık arasında gerçekleştirilir. Çok bileşenli borlama, katı ortamda ve sıvı boraks ortamda da yapılabilmektedir. Çok bileşenli borlama; Bor alüminyumlama, bor- silisyumlama, bor- kromlama, bor- krom- vanadyumlama ve bor- vanadyumlama şeklinde altı gruba ayrılmaktadır [5].

Bor-silisyumlama ile işlem gören parçaların yorulmalı korozyon dirençlerinde artış sağlanır diğer taraftan, bor- alüminyumlama ile nemli ortamlarda daha iyi korozyon ve aşınma direncine sahip parçalar elde edilir. DIN Ck çeliğinin orijinal, borlanmış ve bor- alüminyumlanmış durumdaki aşınma hızlarının sıcaklıkla değişimi Şekil 2.5’de verilmiştir [5]. Bor- kromlama işlemi ile, bor- alüminyumlama işleminden



daha yüksek oksidasyon direncine ve geleneksel borlama da kinden daha iyi korozyon ve yorulmalı korozyon direncine ulaşılmaktadır. Bor- kromlanmış parçaların ısı işlemleri, bu sebepten dolayı kontrollü atmosfer gerektirmeksizin yapılabilir. Bor- krom- titanyumlama işlemi sonrasında parça yüzeyinde  $5000 \text{ kg/mm}^2$  sertlik değerine karşı titanyum borür tabakası oluşmakta, bu da çok yüksek abrazyon ve korozyon direnci sağlamaktadır. Bor- vanadyumlama ve bor-krom- vanadyumlama işleminde sertliği  $3000 \text{ kg/mm}^2$  olmasına rağmen oldukça sünek tabakalar elde edildiğinden bu işlem, darbeli yüklemelere maruz kalacak olan parçalara uygulanabilmektedir [5].



Şekil 2.3. Çeşitli yüzey işlemlerine uğratılmış Ck 45 çeliğinde aşınma hızlarının sıcaklıkla değişimi [5]

### 2.5.2. Pasta borlama

Pasta borlama ticari olarak, kutu borlamanın zor ve pahalı olduğu veya fazla zaman kaybına yol açtığı durumlarda kullanılan bir prosestir. Bu metotta, % 45 B<sub>4</sub>C (200-400 mesh tane boyutu) ve % 55 kriyolit (Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub> flaks ilaveli) karışımı veya geleneksel toz borlama karışımı (B<sub>4</sub>C-SiC-KBF<sub>4</sub>) iyi bir bağlayıcı ajanı ile (bütül asetat içinde çözülmüş nitro selüloz, sulu metil selülozun çözeltisi veya hidrolize

edilmiş etil silikat) beraber uygulanır. Hazırlanan karışım malzeme yüzeyine püskürtülerek veya spreylenecek şekilde uygulanır ve tabaka öncelikle kurutulur. Borürlenme işlemi, argon,  $\text{NH}_3$  veya  $\text{N}_2$  gibi koruyucu atmosfer altında demir esaslı malzemeler için geleneksel fırında  $800-1000^\circ\text{C}$  sıcaklıkta 5 saat süreyle uygulanır. İndüksiyon veya dirençli ısıtma ile  $1000^\circ\text{C}$  de 20 dakika süreyle yapılan pasta borlama ile  $50\ \mu\text{m}$  kalınlığında borür tabakası elde edilebilir. Bu proses genellikle, büyük parçalara veya kısmi olarak borlama yapılmak istendiğinde etkin olarak uygulanmaktadır.

### 2.5.3 Ergimiş fazda borlama

Ergimiş fazda borlama prosesi;

- Tuz banyosunda akımsız borlama
- Ergimiş tuz elektrolizi ile borlama olmak üzere iki ana gruba ayrılır.

Ergimiş fazdan borlama yöntemin bazı dezavantajları vardır, bunlar;

- Malzeme yüzeyinde tuz kalıntılarının kalması ve ortamda reaksiyona girmeyen borun bulunması zaman ve para kaybına neden olur.
- Borlama prosesinin başarı ile tamamlanması için işlem süresince banyo viskozitesinin artmaması gereklidir, bu nedenle banyoya maliyetin artmasına neden olan tuz katkıları ilave edilir.
- Bazı durumlarda proses esnasında oluşan korozif dumandan korunmak gerekmektedir.

### 2.5.4. Tuz banyosunda akımsız borlama

Ortamın esas bileşeni olarak boraks, redüktan aktivatör olarak  $\text{B}_4\text{C}$ ,  $\text{SiC}$ ,  $\text{Zr}$ , amorf B vb. kimyasallar kullanılmaktadır. Akımsız borlama; boraks, ferro-silis, borik asit ve sodyum sülfat esaslı ergimiş tuz banyolarında da yapılmaktadır. İşlem maliyeti

ucuzdur ve fazla deneyim gerektirmez. Bu prosesin negatif yanları ise, termal şok, borlama işleminden sonra parçanın temizlenme zorunluluğu ve büyük boyutlu/kompleks parçalara uygulanamamasıdır. Çalışma sıcaklığı genelde 800-1000°C ve işlem süresi 2-6 saattir. Aşağıda bazı banyo bileşimleri verilmiştir.

% 10 Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>.10H<sub>2</sub>O + % 40 B<sub>4</sub>C

% 73-79 Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>.10H<sub>2</sub>O + % 15-20 NaCl + %6-7 B

% 70 Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>.10H<sub>2</sub>O + % 30 SiC

% 70 Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>.10H<sub>2</sub>O + % 30 B<sub>4</sub>C

% 70 Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>.10H<sub>2</sub>O + % 30 SiC

% 55 Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>.10H<sub>2</sub>O + % 40-50 Ferrobor + % 4-5 Ferro-alüminyum

%75 KBF<sub>4</sub> + % 25 KF

% 55 Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>.10H<sub>2</sub>O + % 45 SiC karışımı ile 1:1 oranında NaCl ve BaCl<sub>2</sub> kullanılır.

### 2.5.5. Ergimiş tuz elektrolizi ile borlama

Elektrolitik prosesler diğer yöntemlere göre pahalı sistemlerdir. Bununla birlikte ergimiş tuz elektrolizinin yüksek sıcaklıkta yapılması ve kurulum ekipmanlarının ısıya ve korozyona karşı dayanımının yüksek olması zorunluluğu ilave maliyet getirmektedir. Elektrolit bileşiminde kullanılan tuzların higroskopik olması, zehirli gazların çıkması veya üretilen metalin hava ile temasının kesilmesinin gerekliliği vb. faktörlerden dolayı tuz elektrolizi yatırım maliyeti, enerji ve yüksek kalitede işçilik gerektirmektedir.

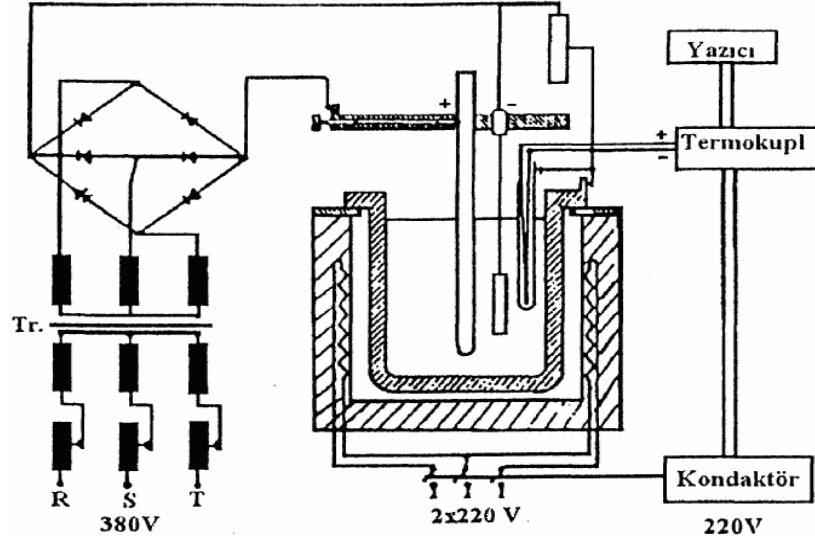
Bilinen bu dezavantajlara rağmen ergimiş tuz elektrolizi çoğu zaman teknolojik uygulama açısından kaçınılmaz bir çözümdür.

Ana hatlarıyla günümüze kadar değiştirilmeden kullanılmış olan ergimiş tuz elektrolizi yoluyla borürleme tekniğini ilk kez Orgin ve Schaaber tanımlamışlardır.

İlk uygulamada, ergimiş boraks içinde grafit çubuk anot olarak ve borlanacak malzeme katot olarak kullanılmıştır.

Bu yöntemin sağlamış olduğu en önemli avantaj, akımsız tuz banyosu veya kutu borlama tekniklerine oranla daha kısa sürede daha kalın borür tabakası elde edilebilmesidir. Yöntemin negatif yönü ise, ergimiş boraksın yüksek viskozitesinden dolayı 850°C nin üzerinde çalışılma gerekliliği ve banyo içinde homojen sıcaklık dağılımı sağlamadaki güçlüklerdir. Farklı akım yoğunluğu dağılımı özellikle kompleks parçalarda homojen olmayan borür tabakası oluşumuna neden olmaktadır. Parçanın her tarafında homojen bir tabaka kalınlığı elde edebilmek için elektroliz esnasında parça döndürülmeli veya en azından hareket ettirilmelidir. Diğer bir dezavantaj da işlem sonunda parça üzerine yapışan elektrolitin giderilmesidir. Uygulamada karşılaşılan bu zorluklarla beraber sistemin kurulma maliyetinin diğer yöntemlere oranla pahalı olması ve uygulamasındaki zorluklar diğer dezavantajlardır. Özellikle parça üzerinde anot yüzeyine bakan tarafta daha kalın borür tabakası oluşumu mümkündür ve farklı borür tabakası kalınlığı oluştuğundan dolayı dezavantaj oluşturur. Banyoya NaCl ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ilavesi ile bu problemler kısmen de olsa bertaraf edilebilmektedir. NaCl ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ilavesi ile hücre içinde homojen akım dağılımı sağlanabilmekte ve numunenin borürleme sonrası temizlenme işlemi de kolaylaşmaktadır. Bu katkılar aynı zamanda elektrolitin viskozitenin azalmasını da sağlamaktadır.

Elektrolit ana bileşeni boraks ve borik asit olmakla beraber, az korozyif banyolar için yapılan araştırmalar sonucunda; B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MF, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MOH, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+M<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (M=Li, Na, K) bileşimleri de geliştirilmiştir.



Şekil 2.4. Ergimiş tuz elektrolizi ile borlama düzeneği [7]

Borlama işlemi elektrolit bileşimine göre 600-1000°C arasında 0,15-0,7 A/cm<sup>2</sup> 'lik akım yoğunluğunda, 0,5-6 saat süreyle yapılmaktadır. Yüksek akım yoğunluğu kullanılarak çok kısa sürede; düşük alaşımli çeliklerde çok ince kaplamaların eldesi mümkün iken, yüksek alaşımli çeliklerde kalın bor tabakası için, düşük akım yoğunluğunda uzun süre borlama yapılması gerekmektedir.

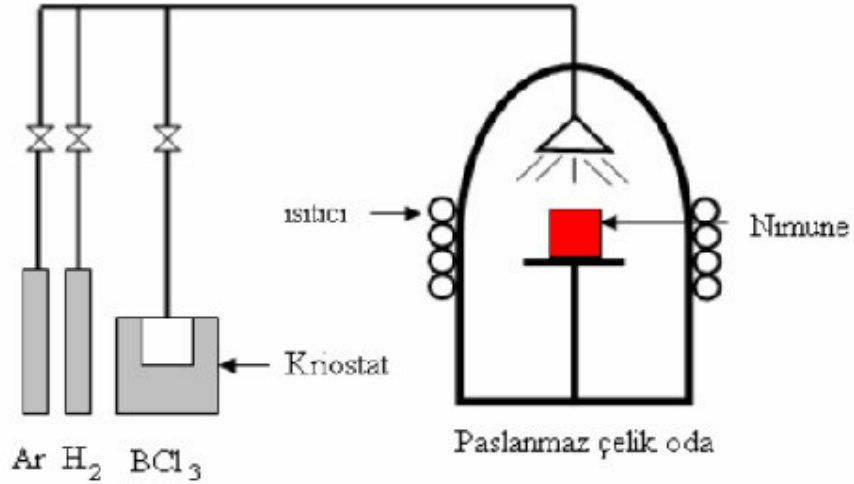
Çeşitli araştırmacıların kullandıkları elektroliz banyoları şunlardır;

- KBF<sub>4</sub> — LiF — NaF - KF karışımı 600-900°C
- 20 KF — 30 NaF — 50 LiF - 0,7 BF<sub>2</sub> karışımı (% mol) 800-900°C arasında 90 N<sub>2</sub>
- 10 H<sub>2</sub> ortamında
- 9:1 (KF-LiF) – KBF<sub>4</sub> karışımı argon atmosferinde
- 90(30 LiF + 70 KF)— 10 KBF<sub>4</sub> karışımı 700- 850°C de
- 80 Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> — 20 NaCl karışımı 800-900°C
- %30 Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> + %40 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + %30 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>
- %90 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + %10 Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>
- %30 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + %70 Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>
- %10NaOH + %90 Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>

### 2.5.6. Gaz borlama

Moissan gaz formdaki kimyasallar kullanarak borürlemeyi ilk öneren kişidir. Gaz borlama tekniğinde genellikle bor halojenürler, diboranlar ve organik bor bileşikleri bor kaynağı olarak kullanılırlar. Gaz borlamada kullanılan kimyasallar ve önemli özellikleri aşağıda verilmektedir.

Gaz borlamada kullanılan di-boran ( $B_2H_6$ ) hidrojenle beraber uygulandığında çok iyi bir borür tabakası elde edilmesine karşın zehirli ve patlayıcı olmasından ötürü ticari olarak kullanılmamaktadır. Ancak  $B_2H_6/H_2$  oranı 1:75 ve gaz akış hızı 75-100 l/saat olduğunda aşınma direnci ve sertliği yüksek olan borür kaplamalar elde edilmektedir. Trimetilbor  $[(CH_3)_3B]$  ise, borlama esnasında çelik bünyesine karbon yayılımına sebep olduğundan tabaka kalitesini bozar. Ortamın zehirli olması ve patlama tehlikesi ve ilk yatırım maliyetinin yüksek olması bu yöntemin dezavantajlarıdır. Gaz borlamada genelde kullanılan ortamlar;



Şekil 2.5. Gaz borlama ünitesi [6]

- Di-boran ( $B_2H_6$ )- $H_2$  karışımı
- Bor Halojenür –  $H_2$  veya % 75  $N_2$  - % 25  $H_2$  gaz karışımı
- $(CH_3)_3B$  ve  $(C_2H_5)_3B$  gibi organik bor bileşikleri

U. S. Breau of Mines gaz fazından bor ve borkarbür oluşturmaya yönelik bir proses geliştirmiştir. Bu yöntemde hidrojen ve borklorür karışımı sıcak grafit çubuk üzerinden geçirilerek sıcaklığın 1300-1500°C olması ile birlikte borkarbür oluşturulmuştur. Bu yöntemle çelikler, silika, mullit, titan, nikel, kobalt ve volfram borlanabilmiştir.

Bu yöntemin yüksek sıcaklık metallere denenmiş olmasının nedeni özellikle uzay teknolojisinde kullanımıdır.

Tablo 2.7. Borlamada kullanılan kimyasallar ve önemli özellikleri [6]

Malzeme	Formül	Mol. Ağır.(gr)	Teo. Bor (%)	T donma (°C)	T Kaynama (°C)	Not
Bortriflorür	BF <sub>3</sub>	67.82	15.95	-128.8	-101	Neme aşırı hassasiyet
Bortriklorür	BCl <sub>3</sub>	117.19	9.23	-107.3	13	
Bortribromür	BBr <sub>3</sub>	250.57	4.32	-46.0	90.1	
Diboran	B <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	27.69	39.08	-165.5	-92.5	Çok zehirli, Neme hassas
Bortrimetil	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> B	55.92	19.35	-161.5	-20	
Bortrietil	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>3</sub> B	98.01	11.04	-95.0	95	

### 2.5.7. Plazma borlama

Wierzhon, ilk defa yüzeyde redüklenen borun kontrolünü sağlayan reaksiyonların termodinamik yaklaşımlarını yaparak BCl<sub>3</sub> ve H<sub>2</sub> atmosferinde yapılan plazma borlama için klorun atomik hidrojen ile redüksiyonunun borür tabakasının

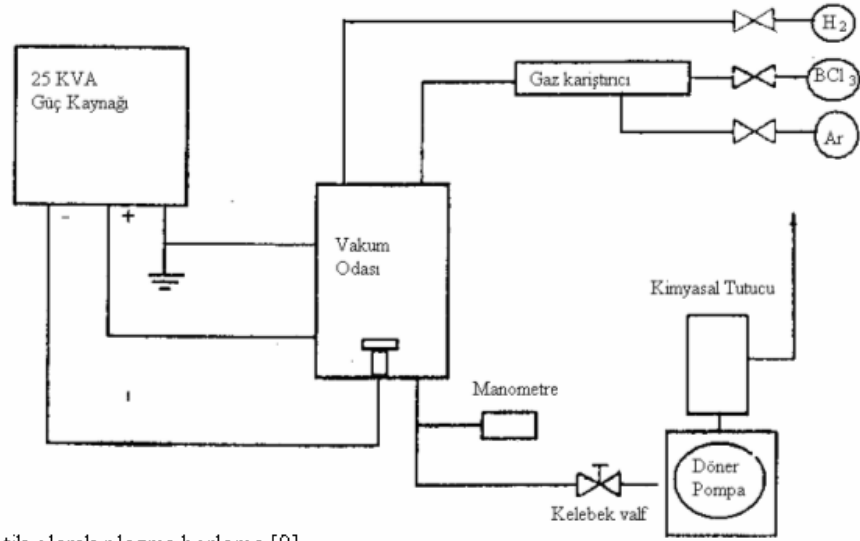
oluşumunda çok önemli rol oynadığını bulmuştur. Daha sonraları plazma borlama konusu üzerine pek çok araştırmacı tarafından genelde, sıcaklık gibi parametrelerin tabakanın büyüme hızına ve morfolojisine etkisi üzerine incelemeler yapılmıştır.

Plazma borlamada  $B_2H_6-H_2$  ve  $BCl_3-H_2-Ar$  karışımları kullanılır ve  $BCl_3-H_2-Ar$  karışımı ile yapılan plazma borlama,  $BCl_3$  konsantrasyonu daha iyi kontrol edilmesi, redüklenme voltajının daha düşük olması ve daha yüksek mikrosertlikte borür tabakası elde edilmesi gibi daha iyi özelliklere sahiptir. Aşağıdaki şekilde plazma borlama şematik olarak verilmiştir.

Mükemmel aşınma mukavemeti nedeniyle plazma borlama üzerine endüstride birçok çalışma yapılmıştır. Otomobil parçalarındaki aşınmayı azaltmak için Volkswagen firması tarafından konuyla ilgili geniş çalışmalar yapılarak, özellikle dişlilerin aşınmasında uygulanmıştır [9]. Hindistan' da birçok hidroelektrik santralde çok ciddi hasarlara sebep olan erozyonun önlenmesi, borlama ile sağlanmıştır [9]. Aynı şekilde İsveç' te buhar türbinlerinde, çalışma esnasında yüzeyin parçacıklar tarafından erozyona uğratılması problemi de bu yöntemle çözülmüştür [9].

Yüksek aşınmanın gerekli olduğu pnömatik transport sistemleri, plastik işleme makinaları, haddeleme elemanları, pompalar, valfler, yüksek sıcaklık mukavemetine gereksinim duyulan yerlerde ( $1000\text{ }^{\circ}C$ ), otomotiv ve uzay endüstrisinde, medikal araçlarda vaz geçilemez bir şekilde kullanılmakta olan bir yöntemdir [9].





Şekil 2.6. Şematik olarak plazma borlama [9]

Plazma borlama prosesinin avantajları:

- Bor tabakasının bileşimi ve derinliği kontrol edilebilir,
- Geleneksel kutu borlama yöntemine göre borlama potansiyeli yüksektir,
- Düşük plazma kullanarak borür tabakasının ısı işleme mümkündür,
- Uygulanan sıcaklık ve proses süresi azdır,
- Yüksek sıcaklık fırınına ihtiyaç yoktur,
- Enerji sarfıyatı ve gaz tüketimi azdır,
- Zehirlilik, patlayıcı yapı ve çevre kirliliğinin kontrol olanağı,
- Bu yöntemle yüzeyde tek fazlı  $Fe_2B$  tabakası elde edilebilir,
- Kompleks parçalarda homojen difüzyon tabakası ve sertlik,

Bu prosesin sahip olduğu tek dezavantaj ise çok zehirli atmosferde çalışılmasıdır. Bundan ötürü ticari olarak kullanımı söz konusu değildir.

## 2.6. Borlama İşleminin Endüstriyel Uygulamaları

Borlama işlemi bir çok endüstri dalında uygulama alanı bulmaktadır. Bu bağlamda otomotiv, makine, kimya, tekstil ve gıda endüstrilerini saymak mümkündür. Özellikle aşınmanın büyük bir problem teşkil ettiği alanlarda borlama işlemi parçaların kullanım ömrünü artırmaktadır. Örneğin, borlama işlemi ile iki farklı aşınma türünün görüldüğü kesme takımlarının kullanım ömürleri artırılmaktadır. Özellikle tel ve boru çekme kalıplarında borlama işlemi büyük faydalar sağlamaktadır. Aynı şekilde çok pahalı ve belirli kilometreden sonra aşınan demir yolu yük vagonlarının süspansiyon parçalarının kullanım ömürleri borlama işlemi sonrasında iki kat artmaktadır. Yine borlama işlemi ile Volkswagen Golf otomobillerinin dizel motorlarının yağ pompası dişlilerinin ömürleri artırılmaktadır. Borlama işlemi, yıllardan beri yanma nozüllerinde, enjektör memelerinde ve preslerde kullanılmaktadır. Kimya endüstrisinde, beslenme suyu ayar valflerinde pinomatik konveyör elemanlarında uzun süredir kullanılmaktadır. Gıda endüstrisinde, kahve öğütme makinesinin dişlilerinde, tütün üretim sisteminde erozyona uğrayan ayırma şeritlerinde kullanım süresi borlama işlemi ile sırasıyla, 5 ve 25 kat artmaktadır. Tekstil endüstrisinde dökme demirden yapılmış makine parçalarının borlanması çok iyi sonuçlar vermektedir. Vida ve silindir dişlilerinde, şaftlarda, helisel yatak tekerleklerinde ve yatak kolonlarında kullanılmaktadır.

## 2.7. TD İşleminin Endüstriyel Uygulamaları

Karbür kaplı malzemeler, karbürlerin mükemmel özellikleri nedeniyle, kalıplar, kesme takımları, bıçaklar, otomobil parçaları, tekstil endüstrisinde yönlendirici olarak kullanılan parçalarda kullanılmaktadır. Ayrıca bu proses, aşınan ve yıpranan parçaların özelliklerini de iyileştirmektedir.

TD prosesi ile oluşturulan yüzey tabakasının aşınma, korozyon ve oksidasyon dayanımı yüksektir. Bundan dolayı, bu özelliklerin istendiği durumlarda TD prosesi kullanılarak elde edilen yüzey tabakalarının iyi sonuçlar vereceği açıktır [10].

## BÖLÜM 3. WC-Co ESASLI KESİCİ TAKIMLAR

### 3.1. Kesici Takımların Özellikleri

Talaşlı imalat, genelde, iş parçası ile takım malzemesi arasındaki rekabet olarak görülebilir. Bu bakımdan takım malzemesi ile iş parçasının özelliklerinin birbirinin tersi olması beklenir [11]. Bir kesici takımda;

- Yüksek sertlik,
- Aşınmaya ve kesici kenarın talaşlanmaya karşı direnci yüksek olmalı,
- Yüksek tokluk (yüksek kırılma mukavemeti),
- Yüksek sıcak sertlik,
- Kütsel deformasyona direnç gösterebilmek için yüksek mukavemet,
- Yüksek kimyasal kararlılık,
- Uygun ısıl özellikler,
- Yüksek elastik modül,
- Tutarlı takım ömrü,
- Doğru geometri ve iyi yüzey kalitesi,

olarak bahsedebiliriz. Yüksek hız takım çelikleri, kaplanmış ve kaplanmamış sinter karbürler en yaygın olarak kullanılan takım malzemeleridir. Takım malzemesi işlenecek parçanın en sertinden oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda daha sert olmalıdır. Süresiz kesme işlemlerinde karşılaşılan ani yüklenmelere dayanabilmesi için takım malzemesinin tokluğu yüksek olmalıdır. Süresiz kesme işlemlerinde ani ısınma ve soğuma söz konusu olduğundan takım malzemelerinin ısıl şok direnci yüksek olmalıdır. Bölgesel kaynaklanmaların önlenmesi için takımın iş parçasına yapışma eğilimi düşük olmalıdır. Takım malzemesindeki bileşenlerin iş parçasına difüzyonu hızlı aşınmaya yol açar bu nedenle takım malzemesinin iş parçasında çözünürlüğü düşük olmalıdır. Aşağıda tipik takım malzemeleri ve bileşenlerinin sertlikleri ve takım malzemelerinin mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.1. Tipik takım malzemeleri veya bileşenlerinin sertlikleri [11].

Takım malzemesi veya bileşeni	Sertlik, HV
Mantenzit çelik	500 - 1000
Nitrürlenmiş çelik	950
Sementit ( $Fe_3C$ )	850 – 1100
Sert krom kaplama	1200
Alümina	2100 – 2400
WC (kobalt bağlı)	1800 - 2200
WC	2600
$W_2C$	2200
$(Fe,Cr)_7C_3$	1200 – 1600
$Mo_2C$	1500
VC	2800
TiC	3200
TiN	3000
$B_4C$	3700
SiC	2600
CBN	6500
Polikristalin elmas /WC	5500 - 8000
Elmas	8000 - 12000

Kesici takımlardan beklenen değişik özelliklerden dolayı bir çok takım çeliği üretilmiştir. Burada dikkate alınması gerek bir hususta, her zaman bu özelliklerin istenilen şartlarda elde edilmemesidir. Genelde beklenen bu özelliklerden birini daha iyiye götürürken öteki taraftan başka özelliğin idealin altında olmasını kabullenmek gerekir. Örnek verecek olursak; sertleştirilmiş ana yapıdaki karbür miktarı arttıkça, malzemenin aşınma direnci artarken artan sertlik ve/veya karbür miktarı ile süneklik özelliği azalır [12].

Tablo 3.2. Takım malzemelerinin mekanik özellikleri [11]

Özellik	YHÇ	Döküm alaşımı	WC	TiC	Al ve Si Esaslı seramik	CBN	Elmas
Sertlik (GPa)	8.5	8.0	14-24	18-32	20-30	40-50	70-80
Basma mukavemeti (MPa)	4100- 4500	1500- 2300	4100- 5850	3100- 3850	2750-4500	6900	6900
Darbe mukavemeti (J)	1.35-8	0.34- 1.25	0.34- 1.35	0.79- 1.24	< 0.1	-	-
E.modülü (GPa)	200	200	520- 600	310- 450	310-450	850	820- 1050
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	8.6	8-8.7	10-15	5.5- 5.8	4-4.5	3.48	3.5
Ergime/bozun ma sıcaklığı (°C)	1300	-	1400	1400	2000	1300	700
Isıl iletkenlik (W/miC)	-	-	42-125	17	17-29	13	70
Isıl genişleme katsayısı (x 10-6/°C)	12	-	4 – 6.5	7.5 - 9	3.2 – 8.5	4.8	1.2

### 3.2. Sinterlenmiş Karbürler

Avrupa'da sert metal (HM- Hard metal) adını taşıyan sinterlenmiş karbürler, bağlayıcı malzemeleri kobalt (Co) olan; tungsten (WC), titan (TiC), ve tantal (TaC) karbürlerinden sinterleme yolu ile elde edilen malzemelerdir. Bu işlemde tungsten, titan ve tantal karbürlerine, toz haline getirildikten ve istenilen oranda birbirleri ile karıştırıldıktan sonra, preslerde yaklaşık 4000-5000 atmosfer basınç altında ön şekil verilir. Daha sonra elektrik fırınlarında 900 – 950°C sıcaklıkta ön sinterleme yapılır, buradan çıktıktan sonra taşlama yolu ile son şekil verilir ve 1400-1600°C'de nihai sinterleme yapılır.

Çok sert, yüksek sıcaklığa ve aşınmaya dayanıklı, yüksek çalışma sıcaklığı ve kesme hızına sahip bu malzemeler günümüzde gittikçe daha çok kullanılmaktadırlar. Özet olarak sinterlenmiş karbürlerin özellikleri aşağıda gösterilmiştir.

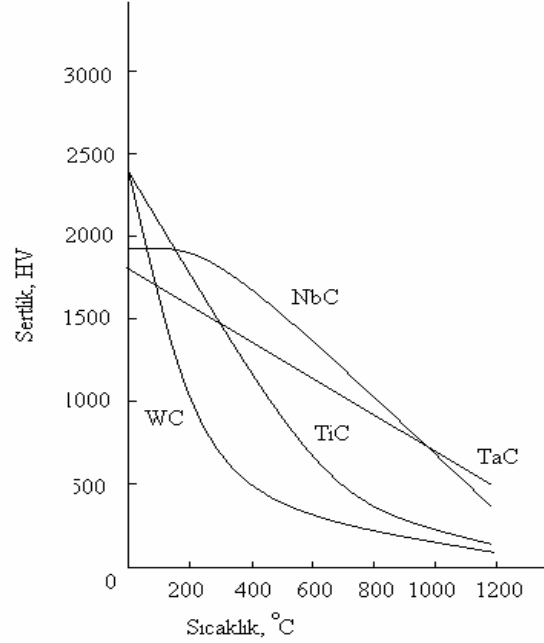
	<u>WC</u>	<u>TiC+TaC</u>	<u>Co</u>
Kimyasal bileşim, % :	60-92	1-60	5-17
Çalışma sıcaklığı, °C :	900 – 1000°C		
Çelik için kesme hızı,m/dak:	ortalama	80 – 300	

Sert metaller, gerek içerdikleri malzemelerden, gerekse imalat yönteminden dolayı pahalı malzemelerdir [13].

#### 3.2.1. WC-Co sert maden uçlar

Sinterlenmiş karbürü oluşturan karbürler ve bağlayıcı içeriğinin mekanik özellikleri üzerine etkileri dikkate alınmalıdır. Tungsten karbür grup bileşiklerinden biri olup bunlar; nitürler, borürler, karbürler ve silisler olarak sınıflandırılır. Bunlardan WC takım malzemesi yapımında kullanılan en önemli bileşenlerinden biridir. Çizelge 3.1'de Bazı karbürlerin sertlik ve ergime noktaları gösterilmektedir. Bütün bu

değerler yüksek hız çeliklerindeki(YHÇ) karbürlerle karşılaştırıldığında oldukça yüksektir. Tungsten ve molibden karbürler hegzagonal yapıya sahip iken diğerleri kübik bir yapıya sahiptir. Bunlar rijit ve kuvvetli bileşikler olup ergime noktalarında çok önemli yapısal değişikliklere maruz kalmaz ve bu nedenle de bunların özellikleri kararlı olup yüksek hız çeliklerinde olduğu gibi ısı işlemlerle değiştirilemezler. Bu karbürler de metalik karakterde olup iyi elektrik ve termal iletkenliğe sahiptir.



Şekil 3.1. Karbürlerin sıcaklığa göre sertlik değerleri [21]

Yukarıda dört karbür(WC – NbC – TaC – TiC)'ün sıcaklığa göre sertlik değişimleri verilmiştir. Burada tungsten karbür sıcaklık arttığında diğer karbürlere nazaran sertliğinde önemli derecede bir düşüş söz konusudur. Bununla birlikte niobyum karbür ve Tantalum karbür sıcaklığın artması ile diğer karbürlere oranla sertliğinde fazla düşüş olmamaktadır.

Sinterlenmiş karbürler de yapının hacimce yaklaşık %55'ini karbür parçacıkları meydana getirir. Fakat talaş kaldırmada kullanılan takım malzemesinde bu değer hacimce en azından %80' lere ulaşmaktadır.

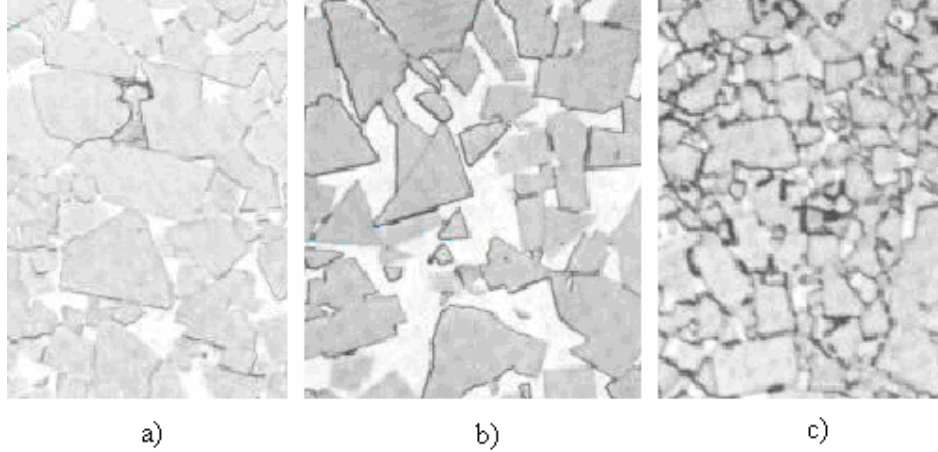
Tablo 3.3. Bazı karbürlerin özellikleri [15]

Karbür Çeşitleri	Ergime Derecesi (°C)	Sertliği (30 HV)
TiC	3200	3200
V <sub>4</sub> C <sub>3</sub>	2800	2500
NbC	3500	2400
TaC	3900	1800
WC	2850	2100

Şekil 3.2’de kaba ve orta sinterlenmiş karbür alaşımlı kesici takımların mikroyapıları gösterilmektedir. Bu şekillerden ilki ve üçüncüsü %94 WC+ %6 Co içerikli takımı ikincisi ise %85WC+%15 C<sub>o</sub>’dan oluşan takımı göstermektedir.

Bu şekillerin hepsinde beyaz alanlar kobalt kristalini, açılı gri parçacıklar ise WC karbürü göstermektedir. YHÇ’lerin de sert karbür parçacıkları ısıl işlem uygulanmış çeliğin hacimce yaklaşık %10-15’ini içermektedir ki bu kesici takım performansında az etkili rol oynarken karbürü takımlarda bunların etkisi daha büyüktür. Bu tungsten karbür kobalt alaşımlı kesicilerde, kobalt içeriği %4 ile %30 arasında değişir. Ancak ,talaş kaldırma işleminde, genellikle %4-12 arasında kobalt içerikli karbürler tercih edilir. Bunların boyutu da 0.5 ile 10 mikron arasında değişmektedir.

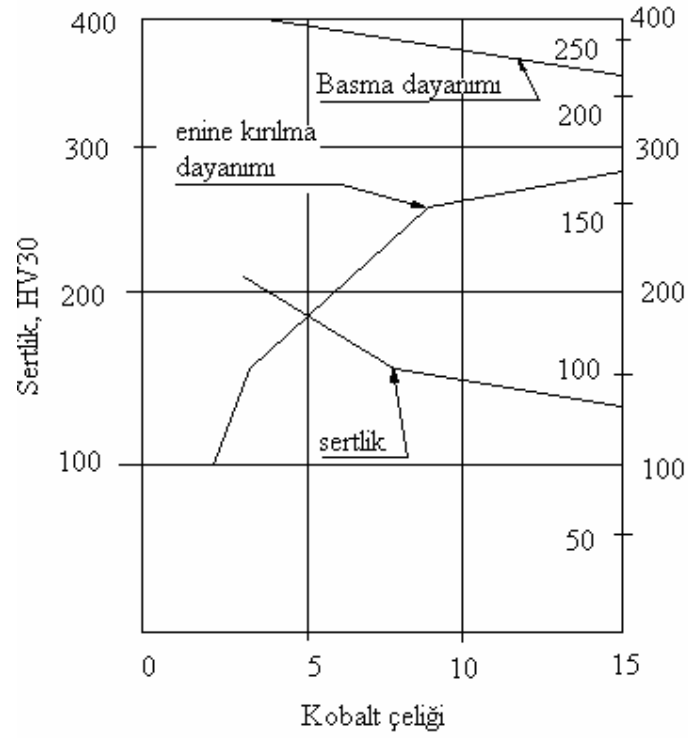




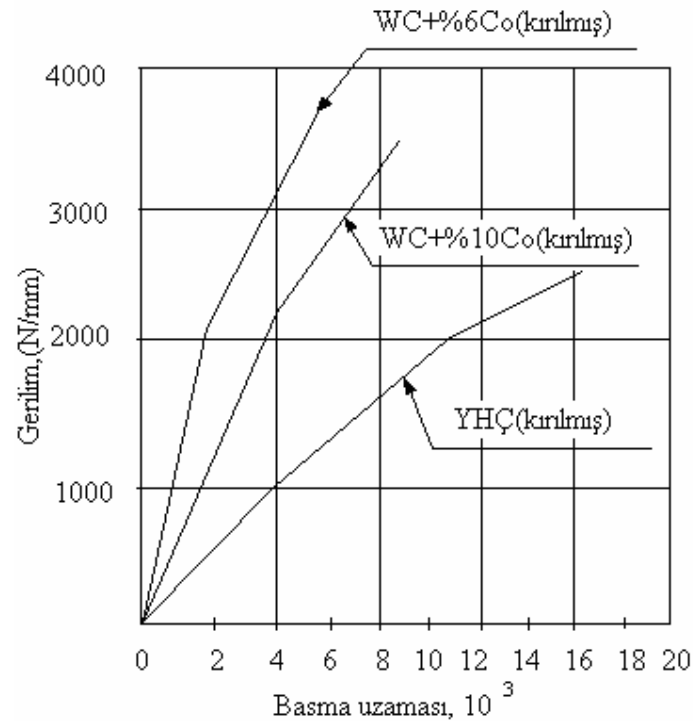
Şekil 3.2. Düz sinterlenmiş karbürlerin (WC-Co) mikro-yapıları. %94 WC-%6Co alaşımlı kaba taneli yapı (a), %85WC-%15Co alaşımlı orta taneli yapı (b), % 94 WC-% 6 Co alaşımlı orta taneli yapı (c), X1500, Hepsi 2dakika süre ile dağlanmış [16]

Orta-ince taneli WC-Co alaşımlarının bazı mekanik özellikleri üzerinde kobaltın etkisi Şekil 3.3 (a)da gösterilmektedir. Hem sertlik hem de basma dayanımı düşük kobalt içerikli takımda en yüksek fakat kobalt içeriği arttıkça sertlik ve basma dayanımları sürekli düşmektedir. Kobalt içeriği arttıkça sertlik ve basma dayanımları sürekli düşmektedir. Kobalt içeriği arttıkça enine kırılma dayanımı kademeli olarak artmaktadır. Ancak sertlik daha ince tane dokulu karbürlerde daha yüksek olarak ortaya çıkmaktadır.

Sinterlenmiş karbürü takım ile YHÇ takımın gerilim-uzama eğrisinin karşılaştırılması Şekil 3.3 (b) de gösterilmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi YHÇ'nin karbürü takımlara göre daha düşük elastikiyet modülüne ve dayanımına sahip olduğu açıktır.



a)



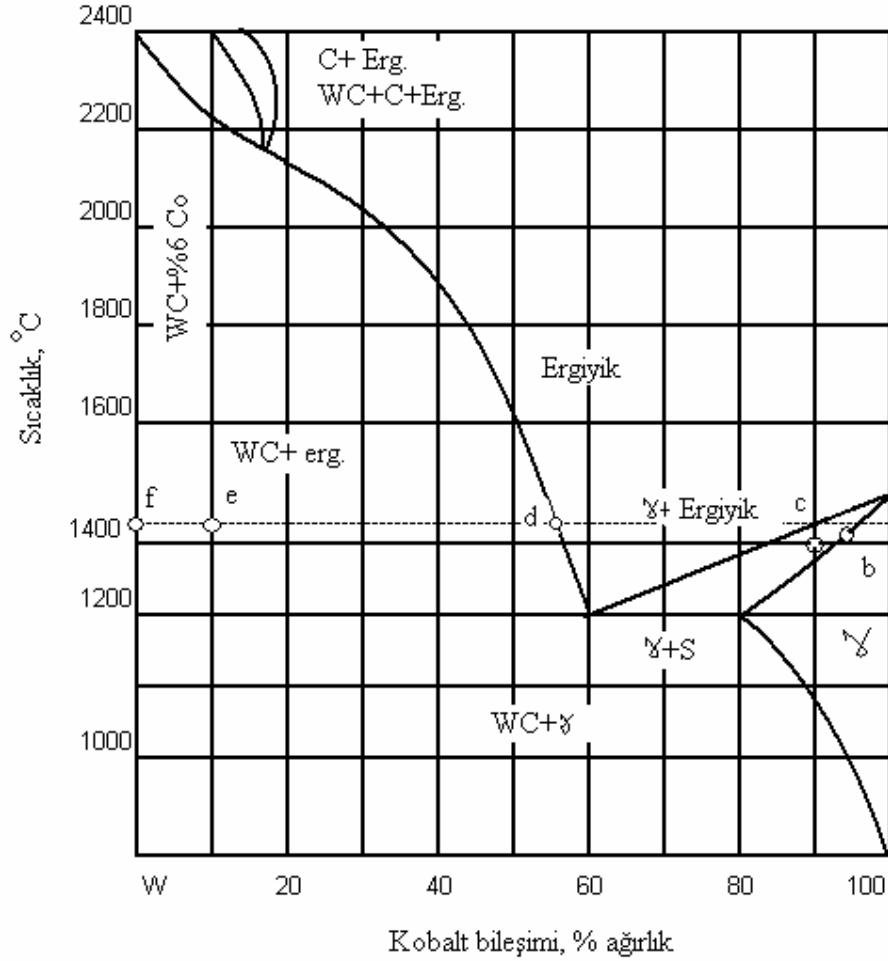
b)

Şekil 3.3. Orta-ince taneli WC-Co alaşımları üzerine Co'nun etkisi (a), WC-Co alaşımlarının basma dayanım tersleri ve YHÇ ile karşılaştırılması (b) [15]

Şekil 3.3’de görüldüğü gibi sinterlenmiş karbürlerin elastik modülü, akma dayanımı yüksek hız çeliğinin dayanımından daha yüksektir. Akma gerilimi üzerinde eğri, lineerlikten kademeli olarak ayrılmış, uzama sertleşmesiyle plastik deformasyon birleşerek akma geriliminden sonra, halen artış olduğu kırılmadan önce, plastik deformasyon miktarında kobalt içeriği ile artış görülmektedir. Sert maden kesici ucun özelliklerine büyük ölçüde etki eden sinterleme sırasında meydana gelen olaylar, %6 Co içerikli WC-Co aşımı için, Şekil 3.4’de gösterilen W-C-Co üçlü denge diyagramının W-Co quasi ikili kesitinde incelenebilir. Sert maden kesici ucun sinterlenmesinde içerisinde karbür fazının kısmen çözüldüğü bir sıvı faz görülür.

Preslenecek plakette 1400° C sinterleme sıcaklığına kadar ısıtıldığında katı fazla C ve WC 600° C’nin üzerinde sertleşmeye başlar. 1000° C’de %0.5 kadar C ve %2’den biraz az WC kobalt içerisinde çözülebilir. WC-Co ötektik sıcaklığın 1280° C aşılmasıyla kobalt içerisinde WC’in giderek artması nedeniyle 1490° C olan Co’ın ergime sıcaklığı azalır ve 1400° C sıcaklığında bileşim %19 WC ve %81 Co değerine ulaşır ve bağlantı fazı tamamen ergiyiğe dönüşür. Ancak bu esnada sinterli parçada yaklaşık %91.5 katı WC ve %8.5 ergiyik fazı mevcuttur. Sinterlemenin devam etmesi ile, WC çözülmesi devam eder. Sıvı faz, karbürleri ağ gibi sararak karbür parçacıkları arasında teşekkül eden köprülerde çözülerek tüm boşlukları doldurur.

Müteakip yapılan soğutma esnasında kobalt içerisinde çözülen WC tekrar geri ayrışır ve bunlar WC kristalleri olarak yaklaşır ve normal şekilde ötektik yapı meydana gelmez. Hızlı soğutmada çökme olayı düzenli olmaz ve bağlantı metal fazı katılaşmadan sonra %4 WC içerir. Çözünürlük azalan sıcaklıkla azalır ve öyle ki kobalt katı çözeltileri en fazla %1 WC içerebilir. Diğer sert maden uçlu kesicilerin sinterlenmesindeki olaylar, karışık karbürle teşekkül ettiğinden daha karmaşıktır.



Şekil 3.4. W-C-Co denge diyagramında WC-Co quasi ikili kesiti [15]

Kesici takımın ucunun performasyonu; bu karbürlerin bileşimine, tane boyutuna ve kobalt içeriğine bağlıdır. Tablo 3.4 ve 3.5’de bileşim ve cinsine göre sinterlenmiş karbürlerin bazı mekanik özellikleri gösterilmiştir [15]. Bu tablodan da görüldüğü gibi, tane boyutu arttıkça sertlik ve basma dayanımı azalırken kobalt içeriğinin artması ile elastik modülünün düştüğü ancak enine kırılma dayanımı ve tokluğun arttığı görülmektedir. Örneğin, %6Co içerikli bir takımın kırılma tokluğu 10 iken %9Co içerikli bir takımın ise 13 olmaktadır hatta tane boyutu arttığında ise bu değer 18 olmaktadır. Ancak bu tür takımların özgül ağırlığı yüksek olup yaklaşık  $14.95 \text{ g/cm}^3$  iken Co içeriği arttıkça ve TiC veya TaC içerikli takımlarda da bu değer düşmektedir.

Tablo 3.4. WC-Co alaşımlı kesicilerin özellikleri [15]

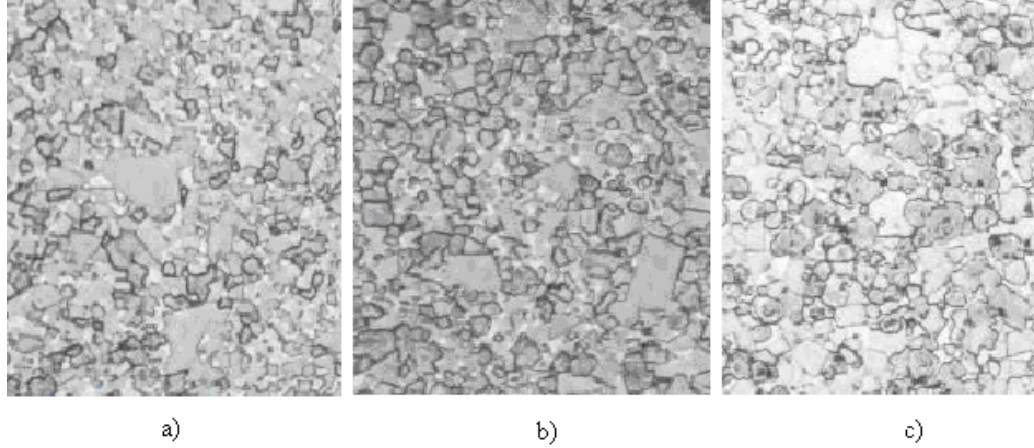
	Tane boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Sertlik (HV)	E. Kırılma Dayanımı (MPa)	Basma dayanımı (MPa)	Elastik Modülü (GPa)	Kırılma Tokluğu ( $\text{MN m}^{-3/2}$ )	Özgül Ağırlık ( $\text{gr/cm}^3$ )
8	0.8	2020	1100	–	–	8	–
	1.4	1820	–	–	–	–	–
6	0.8	1800	1850	4550	–	10	14.95
	1.4	1585	2300	4250	630	–	–
	0.8.	1680	2300	–	–	–	–
6	1.4	1420	2400	4000	588	13	14.85
	4.0	1210	2880	4000	–	18	14.00
5	0.8	1400	2880	–	538	–	–
	1.4	1160	2600	3500	–	–	–

Kırılma Tokluğu Tablo 3.4’de gösterildiği gibi kobalt içeriği ile artmakta olup, %6 Co alaşımı için  $10 \text{ MN m}^{-3/2}$  de iken %15 Co için  $18 \text{ MN m}^{-3/2}$  olarak değişmektedir. Uygulamalarda en iyi takım, en sert ve kırılmaya karşı yeterli dirençte tokluğa sahip takım olmalıdır. Pratikte bunun çözümü YHÇ için (M2 genel amaç için kullanılan derecesi) olurken WC-Co alaşımı için, %6 Co içeren ve tane boyutu  $2\mu\text{m}$  olan karbürler seçilir. Bu pek çok uygulamalar için diğerlerinden daha iyi özelliğe sahip ancak aşınma direncinin iyi olması isteniyorsa daha ince taneli ve daha düşük kobalt içeren karbürü takımlar tercih edilmelidir.

### 3.2.2. WC-TiC-Co ve WC-Co-TaC sert maden uçlar

WC-Co düz karbüre TiC ilavesi ile sertlik, yüksek sıcaklık dayanımı ve oksidasyon direncinin artmasının yanında ısı iletme kabiliyetinin azalması ve kaynaklanmama eğilimi sağladığından çelik gibi malzemeler daha ekonomik işlenebilir. Şekil 3.5’de böyle çelik dereceli takımların mikro-yapıları gösterilmiştir. Bu karbürlerden, Şekil 8.18a %9 (Ta,Ti,Nb) C-%6 Co orta taneli yapıyı, Şekil 3.5c ise %73 WC-%19 (Ta,T,

Nb) C-%8 Co alaşımlı orta tane yapılı takımları göstermektedir. Bu fotoğrafların hepsinde gri açılı parçacıklar WC ve koyu gri yuvarlak parçacıklar katı ergimiş karbürleri gösterirken beyaz alanlar ise kobalt bağlayıcıları göstermektedir. Bu numunelerde bütün yüzeyler 2dakika süre ile dağlanmış olup büyütme oranı 1500 dür.



Şekil 3.5. Çelik dereceli tungsten karbürlerin mikro-yapıları. %85 WC-%9 (Ta,Ti, Nb) C-%6 Co, orta taneli yapı(a), %78 WC-%15 (Ta,Ti, Nb) C-%7 Co alaşımlı takım, orta taneli (b), %73 WC-%19 (Ta,T, Nb) C-%8 Co alaşımlı takım, orta taneli yapı (c) [16]

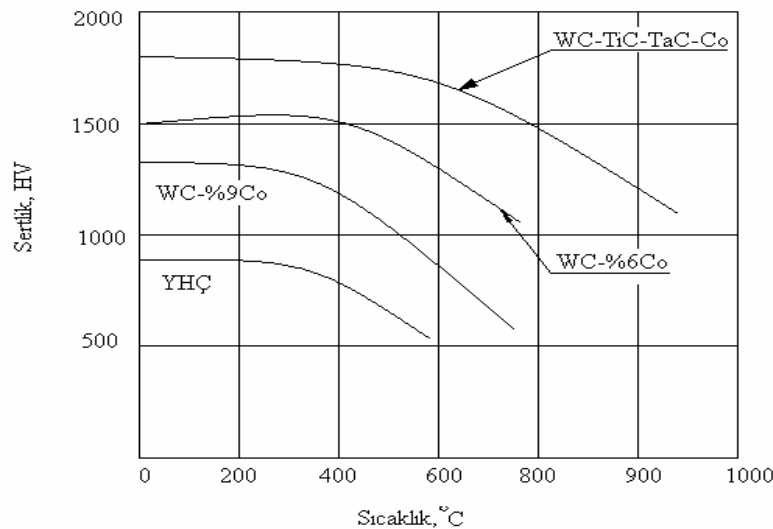
Sert madenlerde talaş yüzeyi aşınması ve kaynaklanma eğilimi TaC (NbC ) ilavesi ile de azaltılır. Ayrıca, TaC içerikli WC-Co alaşımları WC-TiC-Co alaşımlarından daha sünek ve kenar dayanımı daha yüksektir. Dolayısı ile bunlarda ulaşılabilecek kesme gücü daha azdır. Fakat TiC ve TaC birlikte kullanılması ile daha iyi sonuçlar elde edile bilmektedir.

Bu takımların bazı mekanik ve fiziksel özellikleri Tablo 3.5’de gösterilmiştir. Bu tablolarda görüldüğü gibi Co yanında TiC /TaC içeriği arttıkça elastik modülü ve sertliği düşmektedir.

Tablo 3.5. Çelik dereceli sinterlenmiş karbürlerin bazı özellikleri [16]

Bileşimi Co%-TiC%- TaC%	Ortalama Tane boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Sertlik (30 HV)	E. Kırılma Dayanımı (MPa)	Elastik modülü (GPa)	Yoğunluk ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
9 5 -	2.6	1485	1890	566	13.25
9 9 12	3.0	1450	1930	510	12.15
10 19 15	3.0	1525	1410	455	10.30
5 16 -	2.5	1800	1230	538	11.40

Sinterlenmiş karbürlerin hem sertlik hem de basma dayanımı sıcaklık arttığında, Şekil 3.6'da gösterildiği gibi düşmektedir. YHÇ ile karşılaştırıldığında %6 Co içeren WC-Co alaşımli karbürler 1000°C'de 850 MPa gerilime dayanırken, bu değer YHÇ takımında 850°C'ye karşılık gelmektedir. Bu sıcaklıkta sinterlenmiş karbürlerde gerilim düşmesi kobalt içeriği ile artırılır veya karbürlerin tane boyutu artırılarak sağlanabilir. Bu tabloda termal uzama kat sayısı yaklaşık çeliğin yarısı kadar iken termal iletkenlikte hayli yüksek çelikle karşılaştırıldığında yaklaşık 80W/m°C çelikte ise 31 W/m°C'dir. Yüksek sıcaklıklarda oksitlenme zayıf olup 900°C'de havadaki oksitlenme hızla düşer. Yüksek sıcaklıkta yüzeyler oksidasyondan korunduğu için bu nadiren ciddi problem olabilir.



Şekil 3.6. Karbürli kesicilerin sıcaklığa karşı sertlikleri ve YHÇ ile karşılaştırılması [15]

### 3.3. Sinterlenmiş Karbürlerin Sınıflandırılması

Sinterlenmiş karbürler için dünyaca kabul edilen bir sistem yoktur. Bileşimlerine mikro-yapılarına, fiziksel özelliklerine değil, kullanıcı ve üretici tarafından yapılan uygulama kod sistemine göre sınıflandırılır. Avrupa ve Japonya' da kabul edilmiş ISO sınıflandırılma sistemine göre iş parçası malzemelerini üç guruba ayırır. Bunlar; P, M, K harfleri ile bunu rakamlar izler. Benzer şekilde C- sınıflandırma sistemiyle ise ABD'de kullanılmaktadır. Bunların birbirlerine göre kuvvetli ve spesifik malzemeleri açıklamada zayıf yönleri bulunmakla beraber sırasıyla bunları inceleyelim. ISO sisteminde; bütün işlenme dereceleri üç renkli kodlanmış seriye ayrılmakta olup bu Tablo 3.6'da gösterilmektedir [15].

P serisi (mavi); Yüksek alaşımlı tungsten karbürü takım olup uzun talaş çıkaran malzemelerin işlenmesinde kullanılır.

M serisi (sarı); Alaşımlı tungsten karbürü takım, genellikle titanyum oranı P serisinden daha az olup çelikler ve dökme demirlerin işlenmesinde kullanılır.

K serisi (kırmızı); düz tungsten karbür kobalt alaşımlı takım, kır dökme demir, demir olmayan metaller ve metal olmayan malzemelerin işlenmesinde kullanılır.

Bu sınıflandırmada her seride küçük sayı, aşınma direncini, yüksek kesme hızı ve ilerleme miktarını gösterirken, artan numaralar ise tokluğun arttığını ve aşınma direncinin azaldığını göstermektedir. C sisteminde ise spesifik karbür derecesini belirlemek için ticari ismin kullanımını gerektirmez. Sinterlenmiş karbürü kesici takımların C derecesine göre sınıflandırılma sistemi Tablo 3.7'de gösterilmektedir. Ancak bu sınıflandırma takım uygulamasını basitleştirir, yani bitirme yüzeyi kalitesini esas almaktadır. Uygun karbür derecesi seçimine büyük etkisi olan malzeme özelliklerini yansıtmaz. Buna ilave olarak, burada gerekli iş malzemelerinin tanımı hassas değil fakat bu sınırlamalara rağmen 1942 yılından beri imalat sanayinde başarılı şekilde kullanılmaktadır [15].



Tablo 3.6. ISO'ya göre sınıflandırma sistemi [15]

Gösterimi	İşlenecek Malzeme	Aşınma Direnci	Tokluk Direnci
P01	Çelik, Çelik Döküm	↑	↓
P10	Çelik, Çelik Döküm		
P20	Çelik, Çelik Döküm, Uzun talaş veren temper döküm		
P30	Çelik, Çelik Döküm, Dövülebilir dökme demir		
P40	Çelik, Çelik Döküm		
P50	Çelik, Orta ve düşük dayanımlı çelik döküm	↑	↓
M10	Çelik, Çelik Döküm, Kır döküm		
M20	Çelik, Austenitik-manganezli çelik, kır dökme demir		
M30	Kır dökme demir, Austenitik çelik, Yüksek sıcaklığa dayanımlı alaşımlar		
M40	Otomat çeliği, Demirsiz metaller ve hafif alaşımlar	↑	↓
K01	Çok sert dökme demir, Alüminyum alaşımları, Sertleştirilmiş çelik		
K10	Kır dökme demir, Sertleştirilmiş çelik, Alüminyum alaşımları, Bakır alaşımları, Cam, Taş		
K20	Kır dökme demir, Bakır, Prinç, Alüminyum		
K30	Düşük sertlikte dökme demir, Düşük dayanımlı çelik		
K40	Yumuşak-sert tahta, demirsiz metaller		

Tablo 3.7. Sinterlenmiş karbürlerin C sistemine göre sınıflandırılması [15]

C kodu	Uygulama Alanı	Uygulama kategorisi	Aşınma direnci	Tokluk
C1	Dökme Demir, Demirsiz	Kaba işleme	↓	↑
C2	Metaller, Metal olmayanlar	Genel amaçlı işleme		
C3		İnce işleme		
C4	Malzemeler	Hassas yüzey işleme		
C5	Karbon ve alaşımlı çelikler	Kaba işleme	↓	↑
C6		Genel amaçlı işleme		
C7		İnce işleme		
C8		Hassas yüzey işleme		

Tablo 3.7’de, C-5, C-8 temelde TiC ve TaC içerdiğinden çelik işleme dereceli takım olarak adlandırılır. İlk dört kalitede olduğu gibi sayı büyüdükçe sertlik ve aşınma direnci artarken tokluk ve dayanımı düşmektedir.

### 3.4. Sert Metalin Komponentleri ve Özellikleri

WC- Co; WC, Co içinde çözünür, bundan dolayı yüksek bağlama özelliği ve kenar mukavemeti kazanılır. Aynı zamanda yüksek ısılarda çözülme ve difüzyon kabiliyetinden dolayı kesme hızları sınırlıdır.

TiC; Az bir difüzyon eğilimine sahiptir. Bundan dolayı sert metaller yüksek ısılarda daha yüksek aşınma mukavemetine sahiptir, bağlayıcı özellikleri karışım oluşturur. Yüksek TiC, içeren sert metaller daha gevrek ve kırılabilir olurlar. TiC, çeliklerin yüksek kesme hızlarında işlenmesi tercih edilir.

TaC; TaC, sünekliği ve kenar mukavemetini artırır. İç bağlayıcı özelliği TiC’de olduğu gibi büyük oranda düşmez.

Tablo 3.8. Sert metallerin özelliklerine bileşimin ve yapının etkisi [17]

Etkiyen Değerler	Sert Metallerin Önemli Özellikleri					
		Sertlik	Yüksek Sıcaklıktaki Mukavemet, difüzyon aşınmasına karşı direnç	Yapışma ve kaynamaya karşı mukavemet	Köşelerin mukavemeti	Eğilme kırılma mukavemeti, sıcaklık değişmesine dayanma
	Azalan ↓					
Artan TiC-TaC miktarı	↑	↑	↑	↑	↓	↓
Artan Co miktarı	↑	↓	↓	↓	✦	↑
Artan tane büyüklüğü	↑	✦	✦	↓	↓	✦

✦ Belirli bir bağıntı yok

NbC; TaC özelliği gösterir. Her iki karbür de sert metal içinde Ta(Nb)C kristal halinde bulunurlar [17].

### 3.5. Sinterlenmiş Karbür Kalitesi

Yukarıda açıklandığı gibi sinterlenmiş karbürlerin iki esas derecesi mevcut olup; düz tungsten karbür dereceli takımlar ve TiC ve TaC içeren krater dirençli karbür dereceli takımlardır. Düz tungsten karbürü takımlar sadece WC ve kobalt içermekte olup daha dayanıklı ve aşınmaya karşı daha dirençlidir. Genellikle bunlar; dökme demir ve metal olmayan malzemelerin işlenmesinde kullanılır. Ancak, bu takımların kraterleşme ve hızlı takım kırılması nedeniyle çelikler için tatmin edici değildir. Kullanılan kobalt yüzdesi ve tungsten karbür parçacıklarının tane boyutu, kesici takımın kalitesini belirler:

- İnce dokulu olanlar, daha düşük tokluğu ve daha yüksek takım sertliğini,
- Yüksek sertlik daha iyi aşınma direncini, daha düşük takım tokluğu ve daha yüksek sertliğini ifade eder.

- Maksimum takım ömrü için, daha düşük kobalt içerikli ve ince tane dokulu takımlar seçilmelidir.

Bunlardan başka ana malzemesi kobalt ve tungsten karbüre ilave olarak, krater aşınma direncini artırmak için, TiC ve TaC katılmaktadır. Bunların çoğu çeliklerin işlenmesinde kullanılır. Bu tür karbürlerin katılması ile takımlar aşağıdaki özelliklere sahip olurlar:

- Daha fazla TiC içeriği daha yüksek kraterleşme direnci sağlarken, takım tokluğunu azaltır,
- TiC oranı artarsa kesici uçta abrasyon aşınma direnci azalır,
- TaC katılması kraterleşme ve dayanım direnci bakımından tungsten karbüre benzer etkiye sahip olur,
- TaC abrasyon aşınma direncini etkilenmeksizin iyi kraterleşme direnci sağlarken takımın deformasyon direncini de artırır.

Uygun sinterlenmiş karbür derecesinin seçiminde dikkate alınması gereken faktörler şöyle özetlenebilir:

- Çok küçük tane boyutlu ve daha az kobalt içerikli takımlar seçilmesi,
- Abrasyon aşınmasına karşı sadece tungsten karbürü takımı seçilmesi,
- Kraterleşme, kaynama ve kopmaya karşı TiC içerikli takım kullanılması,
- Abrasyon ve krater aşınma direnci için TaC içerikli takım seçilmesi,
- Çeliklerin daha fazla talaş derinlikleriyle işlenmesinde oluşan basınç, ısı ve kesici takım deformasyonu gibi etkilerden dolayı TaC içerikli takım seçilmesidir.

### **3.6. Takım Seçimi ve Uygulama Rehberi**

Sinterlenmiş karbürü uçlar ile en iyi sonuç elde etmek için uygun uç tipi ve geometriye sahip takım seçilmeli, kesici takım uygun konumda ayarlanmalı ve kullanılmalıdır. En verimli talaş kaldırma miktarı ve en uygun maliyette kesme işlemi için takım geometrisi ve seçimi dikkate alınmalıdır. Bunun yanında karbürü takımın optimum ömrüne etki eden diğer faktörler şöyle özetlenebilir:

- Takım tezgahının mevcut gücü,
- Takım tezgahı ve tutucuların rijitliği,
- İş parçasının şekli ve bağlanması,
- Kesme işlemi için kullanılan hız ve ilerleme miktarları vb,

dikkate alınmasıdır. Sinterlenmiş karbürü takımlar için takım seçiminde daha önce açıklandığı gibi aşağıda faktörler dikkate alınmalıdır [15].

- Malzemeye uygun talaş ve boşluk açısına sahip takım seçilmesi,
- Daha uzun takım ömrü ve iyi performans için kesici kenarın honlanması,
- Kaba talaş işlemi için kafi derecede büyük kesme kenar açılı takım kullanılması ve bunun da kesici takım burnunu en zayıf noktasında darbeden koruması,
- En büyük burun radyüsü seçilmelidir. Ancak, ilerleme miktarı ve talaş miktarına bağlı olarak uygun burun radyüslü takım seçilmelidir.

### **3.7. Kesme Hızları ve İlerleme Miktarları**

Sinterlenmiş karbürü kesici takımlarda birçok değişken hız, ilerleme ve talaş derinliğine etki eder. Bunlardan en önemli faktörler; iş parçası sertliği ve cinsi, kesici takım şekli ve derecesi, kesici takımın rijitliği, iş parçası ve tezgah rijitliği ve tezgah gücü olarak özetlenebilir. Sinterlenmiş karbür kesici için tavsiye edilen kesme hızları ve ilerleme miktarları Tablo 3.9’da gösterilmektedir. Bunlar rehber olarak kullanılmalı işleme operasyonlarına uyumluluk sağlamak için ufak değişiklikler yapılabilmektedir.

Yüksek oranda TiC içeren karbürü takımlara sert lehim yapmak zor olduğu için, kullan-at tipli uçlarla, difüzyon aşınmasına karşı dayanıklılığından dolayı TiC – bazlı takımlara önem verilmektedir. Tüm karbürler arasında en çok potansiyele sahip

Tablo 3.9. Karbürlü takımlar için uygun kesme hızı ve ilerleme değerleri [18]

İşlenecek malzeme cinsi	Talaş derinliği(mm)	İlrlleme miktarı (mm/dev)	Kesme hızı (m/dak)
Alüminyum	0.15-0.40	0.05-0.15	215-305
	0.50-2.30	0.15-0.40	135-215
	2.55-5.10	0.40-0.85	90-135
	7.60-17.80	0.75-2.30	30-60
Bronz ve prinç	0.15-0.40	0.05-0.15	215-245
	0.50-2.30	0.15-0.40	185-215
	2.55-5.10	0.40-0.85	150-185
	7.60-17.80	0.75-2.30	60-120
Dökme demir	0.15-0.40	0.05-0.15	105-135
	0.50-2.30	0.15-0.40	85-105
	2.55-5.10	0.40-0.85	60-85
	7.60-17.80	0.75-2.30	25-45
Makine çeliği	0.15-0.40	0.05-0.15	215-305
	0.50-2.30	0.15-0.40	180-215
	2.55-5.10	0.40-0.85	120-180
	7.60-17.80	0.75-2.30	45-90
Takım çeliği	0.15-0.40	0.05-0.15	150-230
	0.50-2.30	0.15-0.40	120-150
	2.55-5.10	0.40-0.85	90-120
	7.60-17.80	0.75-2.30	30-90
Paslanmaz çelik	0.15-0.40	0.05-0.15	115-150
	0.50-2.30	0.15-0.40	90-115
	2.55-5.10	0.40-0.85	85-90
	7.60-17.80	0.75-2.30	25-85
Titanyum alaşımı	0.15-0.40	0.05-0.15	90-120
	0.50-2.30	0.15-0.40	60-90
	2.55-5.10	0.40-0.85	55-60
	7.60-17.80	0.75-2.30	15-40

ve dünyada çok bulunan bir element olduğundan TiO' den elde edilmektedir. En kullanışlı bağlama metali nikel olup, gözeneksiz ince dokuludur.

Sinterlemeyi kolaylaştırmak için genelde %10 molibden karbür katılmaktadır. TiC – bazlı karbürler, klasik sinterlenmiş karbürle aynı sertliğe sahip fakat hem laboratuvar hem de endüstriyel tecrübeler çeliklerin yüksek kesme hızlarında TiC ile işlenmesinde aşınma miktarlarının daha düşük olduğunu göstermiştir. Ancak artan talaş miktarına göre avantaj, klasik çelik derecelilerden TiC – bazlı takımlara geçişteki kadar başarı sağlanmamıştır. Aşınmadaki avantajına rağmen, piyasada kullanım itibariyle hale az oranda tercih edilmektedir. Bu muhtemelen yapılan türlerde gerekli tokluğa sahip olunmamasından kaynaklanmaktadır. Bu yönüyle WC-Co bazlı takımların yerini alacak bir alaşım için daha çok çalışmayı gerektirmektedir.

### **3.8. Sinterlenmiş Karbürlerde Oluşan Aşınma Mekanizmaları**

Kesici ucun aşınması kesici ucunun ömrünün sonunda hızla artar ve özellikle otomatik tornalama işleminde toleransları sağlamak zor olabilir. Bundan dolayı aşınma kraterleri olarak çekirdek boyutu kullanılır. Eğer işlemeye uç kırılana kadar aynı kesici uçla devam edilirse, genellikle takım tutucuda kırılır. Bu nedenle en ideali, yapılacak testlere dayalı belirli bir parça/kenar sayısının tayin edilmesi ve bu sayının bir kriter olarak kullanılarak sabit aralıklarla kesici uçların değiştirilmesidir.

Kesme hızlarındaki değişime bağlı olarak yığma kenar oluşumu riskinin aşınma üzerindeki önemi büyüktür. Bu, optimum kalite/geometri kombinasyonun ve kesme hızının seçimi ile ve soğutma sıvısının doğru kullanımı sayesinde önlenebilir [19].

Yüksek hızlı imalat sistemlerinde, çalışma prensipleri gereği kesici takımlar, yüksek kırılma mukavemetine ve aşınma direncine sahip olmaları gerekmektedir. Çünkü, sert malzemelerin işlenmeleri takım talaş etkileşiminden dolayı, konvansiyonel işleme metoda göre, kesici takımlar çok daha fazla ısınırlar. Oluşan ısı, yüksek devirlerde ve ilerlemelerde azalarak takım ömrünü artırır. Carly Salomon 1931 yılında, sert malzemelerin işlenmesinde , yüksek hızlı kesme işlemini önermiş olup, günümüz imalat sektöründe de, yüksek hızlı imalat sistemleri konvansiyonel

sistemleri kullanılamaz hale getirmiştir. Günümüzde aşınmalara dayanıklı, çok çeşitli takım malzemesi (seramik, sermet, CBN vb) üretilmiştir [22].

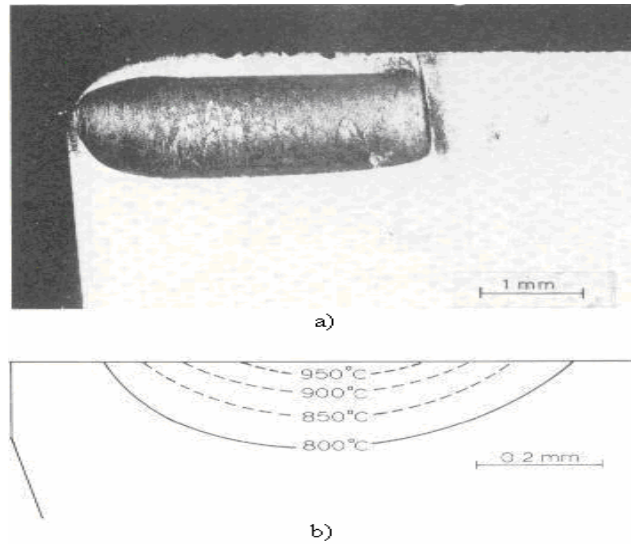
1976' da yayınlanan DIN 50320'ye göre aşınma; katı cismin yüzeyinden, tribolojik zorlanma sonucu sürekli ilerleyen malzeme kaybıdır. Şeklinde tanımlanmıştır.

Malzeme kaybına neden olan dörttür aşınma vardır. Bunlar; Adhesif aşınma, Abrasif aşınma, Korozyon aşınması veya tribokimyasal aşınma ve yüzey yorulması veya yorulma aşınmasıdır [20].

Sinterlenmiş karbürlü takımlarda oluşan aşınmalar; krater aşınması, Abrasyon aşınması, yapışma ve talaş sıvanması aşınması, plastik deformasyon, difüzyon aşınması, termal yorulma, talaş derinliğinde çentik olarak inceleyebiliriz.

### 3.8.1. Krater aşınması

Takım sıcaklığının yüksek olduğu talaş yüzeyinde Şekil 3.7'de görüldüğü gibi krater aşınması oluşmaktadır. Bu aşınma % 0.4C içerikli çeliğin WC- Co alaşımli takımla 180 m/ dak kesme hızında işlendiğinde ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte takım/talaş yüzeyinde sıcaklık dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 3.7. WC- Co alaşımli takımla %0.4 C içerikli çelik işlendiğinde takım talaş yüzeyindeki krater aşınması (a), Bu malzeme 180 m / dak ' da işlendiğinde takım yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımı (b) [21]

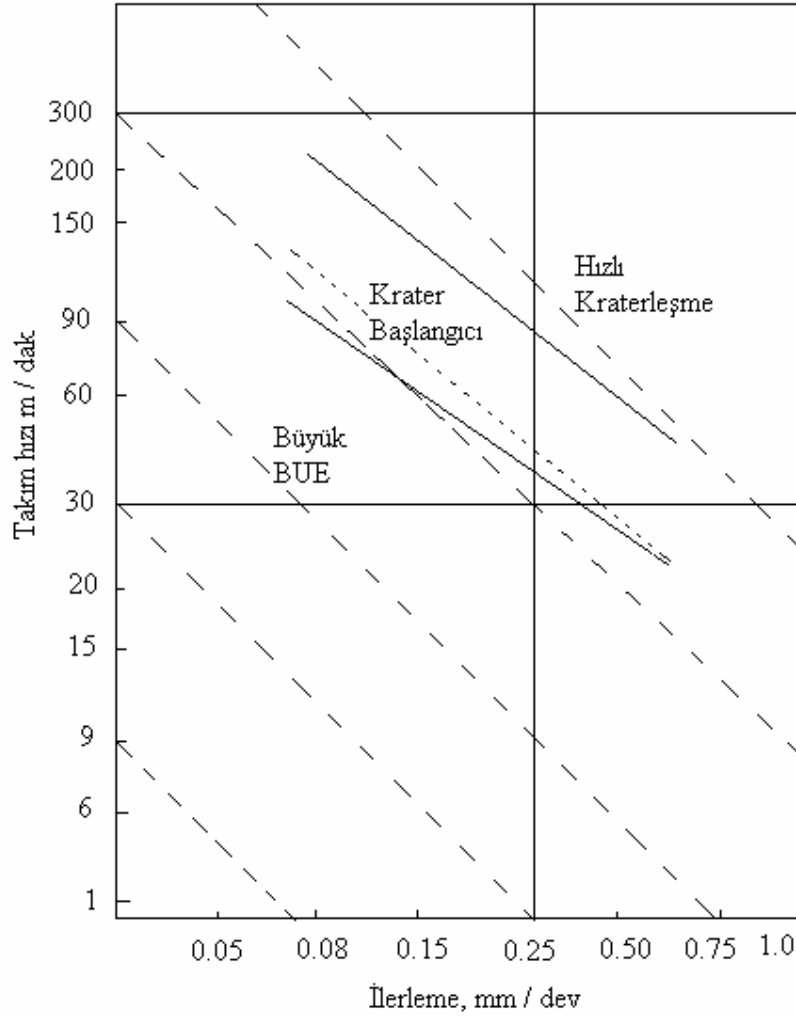


Bu aşınma takım ucu talaş yüzeyi ile takım üzerinden akan sıcak metal talaşın arasında kimyasal bir etkileşim sonucu meydana gelir, ve etkileşim takım malzemesinin talaş içine difüzyonunu gerektirebilir. Kraterleşme direncini iyileştirmek için kaplamalı takım kullanılabilir.

Kraterleşmenin oldukça yüksek talaş miktarında ortaya çıktığı ve bu aşınma tipi olan sinterlenmiş karbürü takımın özelliği Şekil 3. 8'de gösterilmiştir. Bu şekilde yatay doğrultuda ilerleme miktarı düşey doğrultuda kesme hızı logaritmik ölçekte çizilmiş ve koyu çizgi ile gösterilen çapraz doğrular birkaç dakika kesmeden sonra takımın şiddetli olarak bozulma sınırını göstermektedir.

Burada orta karbonlu çelik kesilmiş WC-% 6Co içerikli takımla kesme hızı ve ilerlemenin fonksiyonu olarak difüzyonla krater dışında olduğunu yaklaşık düz doğrunun geniş kesme şartlarında bulunduğu görülmektedir. Örneğin, 0.75mm ilerlemede 35m/dak' ya kritik hız düşerken 0.25mm'deki kesme hızı sınırı 90 m/dak olmuştur. Bu şekil ve çizelge, WC-Co alaşımlı çelikler kesildiğinde maksimum kesme hızı için talaş kaldırma miktarını sınırlandırmada kraterleşme difüzyon aşınmasının önemini göstermektedir.

Maksimum talaş kaldırma miktarı YHÇ takımlarından daha yüksek değildir. Bunun için WC-Co alaşımlı takımlar, karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerin işlenmesinde sıkça kullanılmaz. Bunlar dökme demir veya demirsiz metallerin işlenmesinde ve alaşımlı çeliklerin oldukça düşük hızlarda işlenmesinde daha uzun takım ömrü verirler.



Şekil 3.8. % 0,4 C içerikli çeliği kesmek için WC4 %6 Co içerikli takımla gerçekleştirilen kesme hızı-ilerleme miktarı işleme çizelgesi [21]

### 3.8.2. Abrasyon aşınması

Tungsten karbürün yüksek sertliği nedeniyle YHÇ'de olduğu gibi etkili bir mekanizma değildir. Bu sıkça yan kenar yüzeyinde görülür ve takım malzemesinin veya kaplamanın sertliği ile ilgilidir. Daha sert malzemeler daha büyük yankenar ve abrasyon aşınma direncine sahiptirler. Sinterlenmiş karbürü takımlar ve iş parçasında sert karbürler veya alümina artıkları mevcut ise veya döküm yüzeyindeki kum gibi küçük parçacıklar mevcut olduğu zaman abrasyon aşınmasına maruz kalır. Ara yüzeyde kayma şartları mevcutsa etkili aşınma tipi abrasyon olup, ısınmış yüzeyde keskin oluklar oluşmasına yol açar. Buda takım yüzeyinden kırılmış olan karbür parçacıklarının ufalanmasıyla neticelenir, sürekli işlem sonrasında daha çok

yivler oluşur. Abrasyon aşınma direncini artırmak için daha az kobalt içerikli ve daha ince dokulu WC-Co alaşımlarını kullanmak gerekir.

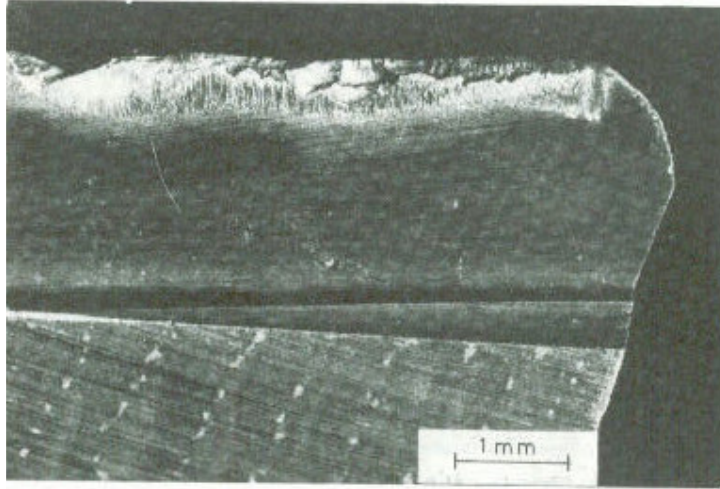
### 3.8.3. Yapışma veya talaş sıvanması aşınması

Kesme işlemi oldukça düşük hızlarda yapılırsa krater oluşması için takım kafi derecede yüksek sıcaklığa sahip olmadığı ve deformasyon işlemi yüksek değilse sürtünme aşınması meydana gelir. Bu işlemde iş parçasından talaş kesikli aktığı zaman genellikle talaş sıvanmasıyla birleşir. Talaş sıvanması, düşük kesme hızlarında meydana geldiğinden kesici uç bozulmadığı sürece ciddi bir problem olmayabilir. Kır dökme demirle işlendiğinde talaş sıvanması takımdan zor ayrılırken, düşük hızlarda çelik işlendiğinde talaş yığılması kolayca ayrılır. Bu yapışan talaş ayrıldığında, takım malzemesinden küçük zerrecikler uzaklaştırılırsa bu yapışma aşınmasıyla neticelenir. Bazı durumlarda büyük takım parçaları bile ayrılabilir. Talaş sıvanması ve yapışma aşınması;

- Kesme hızını artırarak,
- WC-Co alaşımlı takımların ince tanelisi seçilerek,
- Düzgün son bitirme yüzeyi için pozitif talaş açılı takımlar kullanılarak talaş sıvanması ve yapışma aşınması en aza indirilebilir.

Bu şekilde birçok çelik için tipik bir diyagram oldukça düşük talaş kaldırma miktarında talaş sıvanmasını göstermekte olup bu hem kesme hızına hem de ilerleme miktarına bağlıdır. Diyagramda talaş sıvanması doğrusu altındaki aşınma, kontrol edilebilir. Kesme sırasında talaş sıvanması, iş parçası takım üzerine sürekli olarak yığıldığından değişerek daha sonra ayrılmaktadır. Takım kenerına yığılan kısım aynı kalırken, dış kısımdaki tabaka kesilince takım aşınmasının uzun süre kesme yeteneği devam eder. Örneğin yukarıda ifade edildiği gibi dökme demir kesildiğinde WC-Co takım üzerinde oldukça yüksek hız ve ilerleme miktarında talaş yığılması oluşur. Kır dökme demirle bu sıkça kopmadığı için takım ömrü uzundur. Bu nedenle dökme demirlerin işlenmesinde WC-Co alaşımlı takımlar genellikle kullanılmaktadır[14].

Ancak, çelik işlendiğinde talaş sıvanmasının olduğu şartlarda WC-Co alaşımlı takım yapışmayla hızlı şekilde bozular. YHÇ'de olduğu gibi takım ucundan mikroskobik boyutta takım malzemesi ufalanır fakat bu YHÇ'de daha yavaş aşınma oluştururken, karbürü takımlarda hızlı aşınmaya sebep olur. Eğer takım üzerinde oluşan sıvanma sağlam ise ve bütün olarak ayrılırsa fasıllı kesmede olduğu gibi takım ucundan oldukça büyük parçalar koparabilir. Takım tezgahların da rijitlik yeterli değilse veya iş parçası titreşime maruz kalırsa takımdan geçen metal alaşım çok düzgün olmayabilir ve takımdan daha küçük parçalar ayrılabilir. Düzgün olarak akmayan metalde zorlanan lokalize olmuş çekme gerilmeleri nedeniyle ufak parçalar kırılarak ayrılır. Bu karbür takımlarda sıkça karşılaşılan takım kenarında talaşlama şeklinde aşınma Şekil 3.9'da gösterilmiştir[14].



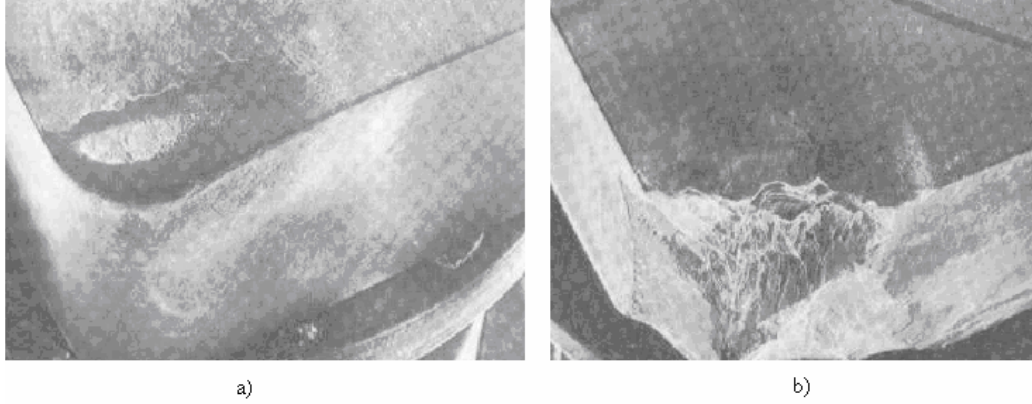
Şekil 3.9. Düşük hızda çelik işlendikten sonra karbürü takım ucu talaşlanması [21]

Çelik takımlar büyük sünekliğe ve tokluğa sahip olup, çekmeye karşı daha dayanıklı ve bunun için yapışma aşınmasına karşı daha büyük bir dirence sahiptir. Düşük hızlarda bir çok işlemlerde YHÇ'nin tercih edilmesinin en büyük sebeplerinden birisi budur. Bu işlemlerde yani yapışma ile üretilen aşınmış yüzeylerin difüzyonlaşmasıyla neticelenen parlatılmış yüzeylerle karşılaştırıldığında, yapışmayla aşınma miktarı takımın sertliği ile doğrudan ilgili değildir. WC-Co takımında en önemli faktör, tane boyutu yani, dokusu ince taneli alaşımlar kalın tanelilere göre çok daha dirençlidir. En yüksek aşınma dirençli olan karbür tipi en ince dokulu 1µm'dan küçük olan karbürdür. Aşınma miktarına, yapışmayla kobalt içeriğinin etkisi oldukça az olduğu görülür.

Titanyum yüksek ergime noktasına sahip bir metal olup kesme esnasında yüksek sıcaklıklar oluşur. Fakat WC- TiC' den daha yavaş hızla yayılır. Çelik dereceli takım ile, Ti ve alaşımları işlendiğinde difüzyona karşı daha düşük dirence sahiptir. WC-Co alaşımları her zaman bu amaçlar için kullanılır. Kubik karbürler aşınma ara yüzeyinde oluşuyorsa aşınma direnci bakımından avantajı yok karbürlerin kubik karbür parçacıklarının ilave edilmesiyle performansının diğeri ile karşılaştırılması aşınma işlemi tipine ve oluşan makenizmaya bağlı olarak değişmektedir. Bundan dolayı basit laboratuvar testleriyle belirlenen takım malzemesinin özel bir operasyon için aşınma makenizmasının doğru kontrolü sıkça optimum takım performansının seçilmesinde başlangıç noktası olabilir.

#### **3.8.4. Plastik deformasyon**

Kesme hızı veya ilerleme miktarı artırıldığında, talaş yüzeyinde basma gerilimi altında takımın deformasyonu nedeni ile talaş kaldırma miktarı sınırlanır. Yüksek sıcaklıklarda bile karbürü takımlarda sadece sınırlı bir deformasyona dayanabilir ve çatlaklara veya kırılmalara yol açar. Şekil 3.10'da takım / talaş yüzeyindeki kırılmalar ve oyuk gösterilmekte olup takım ucu aşırı yüklendiği için bu yüzey çekme gerilimine maruz kalır. Yüksek ilerleme miktarında yüksek sertlikteki malzemelerin kesilmesinde deformasyon ile kırılma daha olanaklıdır. Bu deformasyon direncini artırmak için düşük kobalt içerikli karbür dereceli takımlarla daha yüksek hız ile ilerleme miktarında kullanılmalıdır. Sinterlenmiş karbürü kesici takımlar, sertliği yüksek olan çelik malzemeleri kesmek için kullanılmakta fakat sertliği 500HV'yi aştığında takım ömrü çok kısa ve kesme hızları çok düşüktür. Standart takım geometrisi ile değişik sertlikteki çelik malzemeler işlendiği zaman aşırı deformasyona uğrayan karbürü takımlar bu şekilde de gösterilmektedir. Takım boşluk yüzeyi test öncesi leplenerek laboratuvarında optik olarak ve test sonrasında bu yüzey gözlenerek deformasyon miktarı bulunabilir. Keskin burunlu bir takım veya çok küçük burun yarı çapı takım, burunda deforme olmaya başlar ve kırılır. Bunun için büyük burun yarı çaplı takımlar kullanıldığında çok daha düşük hızlarda gerçekleşir. Bir çok kesme işlemleri için takım performansını belirlemek için doğru radyüslü burun seçilmelidir.



Şekil 3.10. Yüksek hız ve ilerlemede kesme sonrası karbürü kesici takım talaş yüzeyinde çukurlaşma (a), aşırı deforme olan kırılmış takım ucu (b) [25]

### 3.8.5. Difüzyon aşınması

Yüksek hız ve ilerleme miktarında çelik işlendiğinde tungsten karbür kobalt alaşımlı takımların talaş yüzeyinde krater oluşur. YHÇ'ine benzer çünkü ısı kaynağı aynı karakterde olup takım temas yüzeyi ince bir metalik akma bölgesi halindedir. Kesicide en düşük sıcaklığın olduğu yerde aşınmamış düz bir kısım oluşurken sıcaklığın yüksek olduğu kısımda derince aşınmış krater oluşmaktadır. WC-Co alaşımlı takımlarda kraterleşme işleminin takımdaki metal ve karbon atomlarının iş parçası içine yayıldığı, yüzeyi sardığı ve talaş içine taşındığına dair kuvvetli deliller mevcuttur. Bu çeşit aşınmada kobalt çelik içinde ara yüzeyde çözünerek WC katmanı oluşturur.

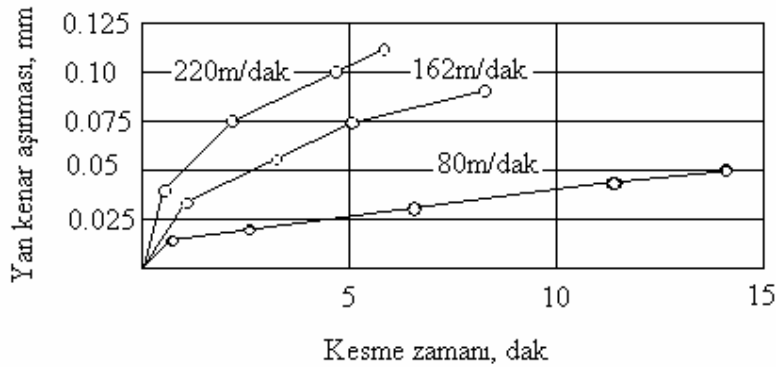
WC-Co'lu takımlarda kraterleşme 850-1500°C civarında meydana gelmekte bu sıcaklıkların ergime için düşük ancak bunların katı halde olmaları difüzyon için kafi derecede yüksek olduğunu göstermektedir. Aşınmış karbür uçlar HCl ile işleme tabi tutularak yapışmış demir ve çeliğin kaldırılmasıyla takım aşınmış yüzeyi ayrıntılı incelenebilir. Asitler kobalt bağlayıcı çözer, karbürü kimyasal reaksiyon oluşturmaz ve bu durum YHÇ takımlarında gerçekleşmez. Çelik işlendikten sonra WC-Co alaşımlı takımların yüzeyinde krater aşınması ve karbür taneleri yüzey boyuna oldukça düz görünümündedir. YHÇ'li takımlarda ara yüzeyde birkaç mikron kalınlığında katmanların atomik ölçekte etkileşim ve difüzyon ile aşınma ve yapısal değişiklikler gözlemlenirken, karbürü takımlarda ise yapısal değişiklikler

gözlenmez. Takım yüzeyinden ayrılan atom, iş parçası üzerine yayılmasından ziyade ergiyik aşınma tipindedir. Bu terim karmaşık olup aşınma miktarının sadece iş malzemesinin ve takımların birleşimine bağlı değil keza takım malzemesinin içinde karbürlerin termo-kimyasal bağlanmasına göre de değişmektedir. İş parçasının artmasıyla takım atomları çözünerek taşınır ve talaş yığılmasını büyük oranda sınırlı olarak uzaklaştırır. Daha önemlisi akma bölgesinde iş malzemesinde çok yüksek dislokasyon yoğunluğu mevcut ve dinamik değişmeye yeniden kristalleşmeye maruz kalmaktadır. Böyle yapılarda difüzyon miktarı ve ergimenin arttığı, keza takım gövdesinden daha çok takım ara yüzeyinde karbür tanelerinde çok daha fazla konsantre olmuş dislokasyonun mevcut olmasıdır. Bu yüksek kayma gerilimine maruz yüzeylerdeki karbon atomları ve metal kaybını hızlandırmaktadır. Takım malzemesinden küçük parçacıkların kaldırılması tarama elektron mikroskopu ile görülmeyecek kadar küçüktür ve boyutlar 5nm'den daha azdır.

Difüzyonun olması için her zaman bazı çözünebilirlikler olması lazım yaklaşık 1250°C demir içinde WC'nin %7'nin çözüne bildiğini göstermektedir. Difüzyon aşınma miktarı, malzemenin uyumluluğuna bağlı olup, farklı takım ve iş malzemeleri için difüzyon aşınma miktarında farklar oluşur. Aşınma miktarı, takımın sertliği veya mekanik özelliğinden ziyade kimyasal özelliğine daha çok bağlıdır. Bunun için daha sert olan ince dokulu karbürü takım difüzyon aşınmaya karşı daha dirençli olduğunu göstermez. Gerçekte kaba taneli alaşım ince tanelilere göre difüzyona karşı daha dirençlidir. Difüzyon aşınma miktarı takımdan atomların çözülmesine ve iş parçası içine yayılma miktarına bağlı olmakta, o zaman şu soru akla gelebilir. Takım malzemesinde hangi atomlar daha önemlidir. YHÇ'nde matriksten demir atomları iş parçası içine karbür parçacıkları izole oluncaya kadar yayılır ve gövdeye taşınır. Karbürü takımlarda da çok hızlı difüzyon karbürle kobalt atomlarının ve iş parçasının demir atomlarıyla bağlanmasıyla meydana gelir. Karbür parçaları izole olmadığı zaman hacimce karbürlerin çoğunluğunu oluşturur ve diğerlerini destekler. Kobalt takım dışına yayıldığı için demir atomu içeri yayılır ve kobalt gibi karbür yapıştırmada oldukça etkilidir. Karbon atomları küçük, demir içinde hızlı şekilde yayılır ve bunlar takımda tungstene çok kuvvetli bağlanır, kendi başlarına serbest duruma gelmez. Bu iş parçalarındaki karbon atomlarının ve tungstenin difüzyon miktarı aşınma miktarını kontrol eder, bu sadece sıcaklığa bağlı özellik değil takım

yüzeyine çok yakın iş malzemesinin akma miktarına da bağlıdır. Bu miktar 0.001-1µm arasında değişmektedir[14].

Yüksek miktarda oluşan yan kenar aşınmasında difüzyon aşınması etkili olabilir. Kaplanmış şartlar altında karbür taneleri boyunca aşınan düzgün yüzey difüzyon işleminin bir etkisinin sonucu olduğu düşünülmektedir. Kesme hızı artırıldığında difüzyona bağlı yan kenar aşınma miktarı da hızlı artar. Şekil 3.11'de karbürü takımlarla yüksek hızlarda çelik işlendiği zaman, kesme hızına karşılık gelen tipik yan kenar aşınma miktarlarını göstermektedir. WC- Co alaşımli takımlarda kobalt oranı difüzyonla aşınma miktarını etkiler. Kobalt içeriğinin artmasıyla yan kenar aşınma miktarı artar fakat takım deforme olmamışsa kesme için kullanılan genel dereceler içinde ise fark çok büyük değildir. Difüzyon esaslı aşınmanın hakim olduğu durumu göstermektedir.



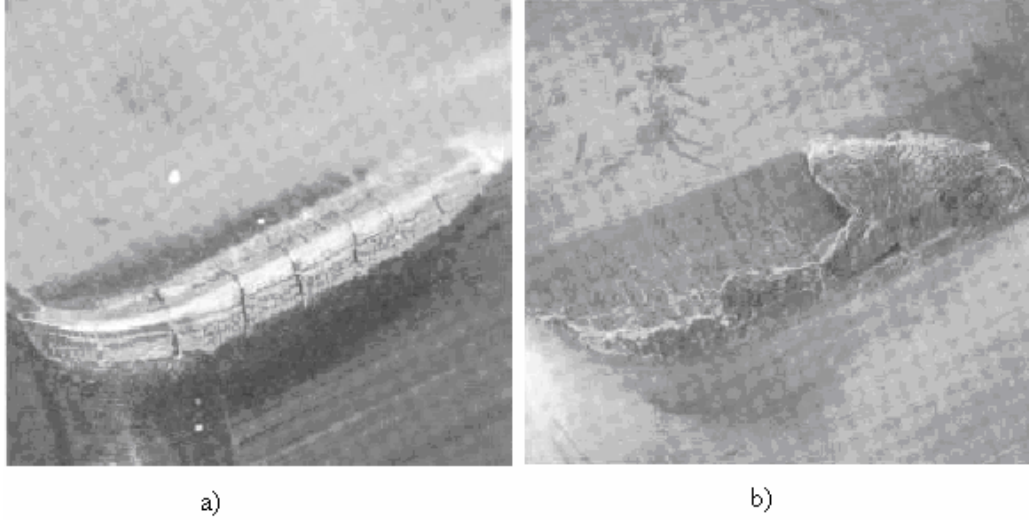
Şekil 3.11. WC- Co kesici takım ile çelik işlendiğinde kesme hızına göre yan kenar aşınma miktarının değişimi [14]

### 3.8.6. Termal yorulma

Karbürü takımlar frezeleme işleminde olduğu gibi bazen aralıklı kesme yapıldığında takım ucuna dik yönde bir seri basma gözlenir (Şekil 3.12). Bu termal çatlaklar iş parçası işlenirken oluşan ısıyla ve kesme işi bittiğinde takım soğuduğu zaman, takım yüzeyinde büzülme ve genişleme değişimine sebep olur. Çatlaklar ilk önce talaş yüzeyinde başlar sonra takımın yan kenar yüzeyinden aşağı doğru yayılır. Uzun fasıllı kesme ile yandaki çatlaklardan daha sonra kesici uca yakın paraleller oluşur. Bu termal ve yan çatlaklar birleşebilir ve takım malzemesinden küçük zerreler



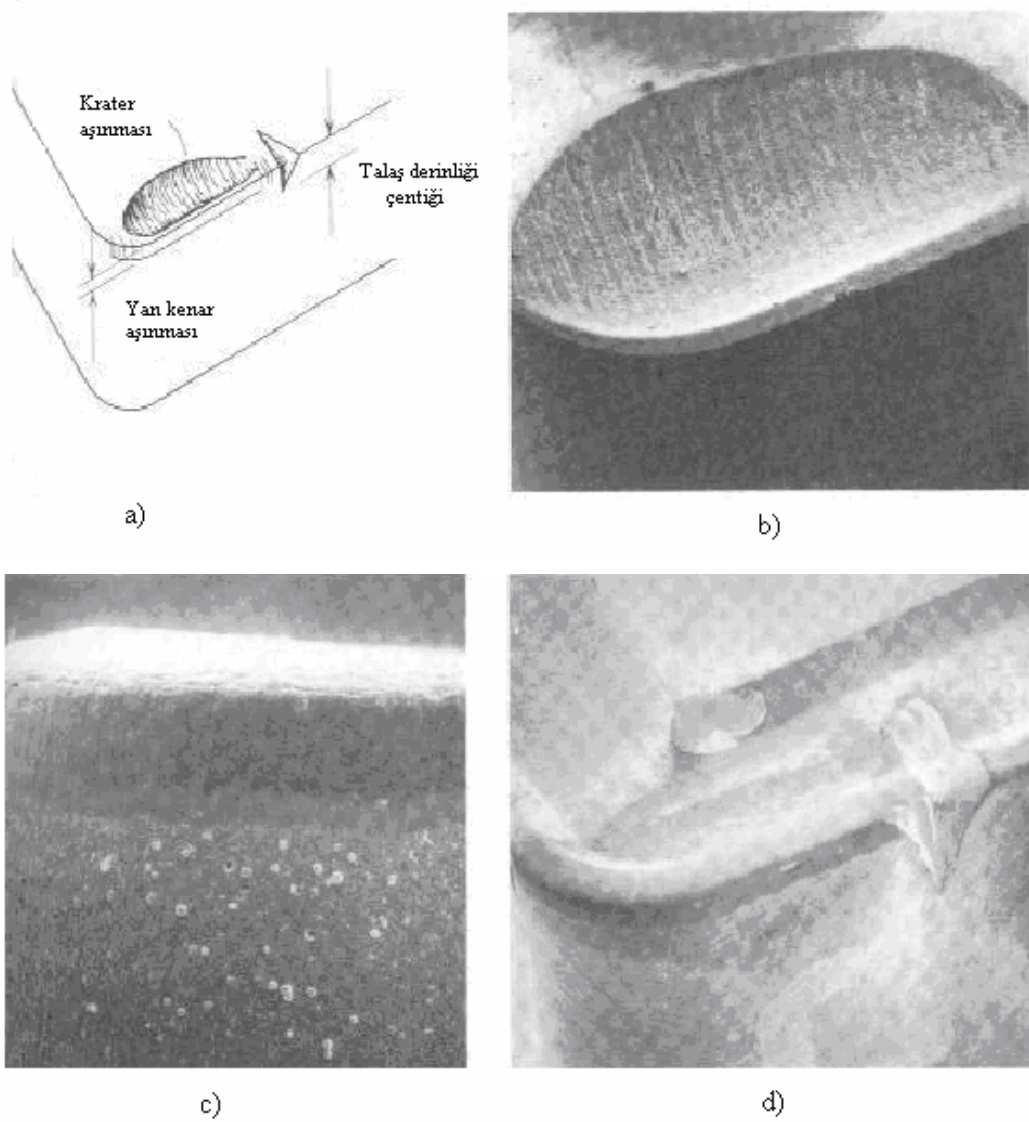
kopabilir. WC-Co takımların termal yorulma direnci genellikle TaC ilave edilerek iyileştirilmektedir.



Şekil 3.12. Karbürü takımda termal çatlaklar. Kesici uca dik ve mekanik çatlaklar kesici uca paralel (a), büyütme x15, Nikel esaslı alaşımın düşük hızda işlenmesi esnasında oluşan talaş sıvanması (b), büyütme x20 [21]

### 3.8.7. Talaş derinliğinde çentik

Bu tip aşınma talaş derinliği seviyesinde hem yan kenar yüzeyi hem de talaş yüzeyinde yüksek derecede lokalize olmuş aşınmadan meydana geldiği Şekil 3.13'de gösterilmiştir. Burada orta karbonlu çeliğin karbürü takımla işlenmesinde meydana gelen krater aşınması Şekil 3.13 (b)'de esmer dökme demirin işlenmesinde karbürün yan kenarı üzerinde oluşan abrasyon aşınması Şekil 3.13 (c)'de, nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde karbürü takım üzerinde oluşan talaş derinliği çentiği de Şekil 3.13 (d)'de gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Krater aşınmayla birlikte yan kenar ve talaş derinliğinde çentik aşınması(a), orta karbonlu çeliğin karbürle işlenmesinde oluşan krater aşınması(b), x15, esmer dökme demirin karbürle işlenmesinde yan kenar üzerinde oluşan abrazyon aşınması(c), x75, nikel esaslı süper alaşımların karbürle işlenmesinde oluşan talaş derinliği çentigi aşınması(d), x15 [21]

Fakat özellikle çentik; paslanmaz çelikler veya yüksek sıcaklık alaşımları gibi işlenirken genişleyen malzemelerde, genellikle karşılaşılr. Bu aşınma talaş malzemesinin atmosferle reaksiyonu veya oluşan testere dişlerinin abrazyonla sertleşmesiyle meydana gelir. Talaş derinliğinde oluşan bu çentik, takım kırılmasına yol açabilir. Bu tür aşınma aşağıdaki faktörlerle en aza indirilebilir. Bunlar kısaca şöyle sıralanabilir:

- Takım malzemesinin kırılma tokluğunun artırılması,
- Yuvarlak profiller için uç açısı veya diğer kesiciler için kenar kesme açısının artırılması,
- Kesici kenarların pahlanması,
- Çoklu talaş kaldırılarak talaş derinliğini değiştirme, yani az talaş derinliğiyle kesme yapılması,
- Çok paso vererek kesme işleminin gerçekleştirilmesi şeklinde özetlenebilir.

Kesici takım malzemesi fasıllı kesme işleminde termal şoka maruz kalmaktadır. Bu nedenle takım performansını belirlemede termal şok direnci önemli bir özelliktir. Takımın termal şokunu belirlemek için her hangi bir laboratuvar çalışması henüz yoktur. Ancak termal şoka karşı muhtemel direncini belirleyen ampirik parametreler sunulmuştur. Genellikle kullanılan bu parametreler şöyle ifade edilebilir:

$$T_i = \sigma k / E \cdot \alpha$$

Bu formülde;

- $\sigma$ : enine kırılma dayanımı,
- $k$ : termal iletkenlik,
- $E$ : elastik modülü,
- $\alpha$ : termal uzama kat sayısını göstermektedir.

Genellikle bu hesaplanan  $T_i$  değerinin daha yüksek olması daha iyi termal şok dirence sahip olduğunu göstermektedir. Çelik dereceli WC TiC-Co alaşımları ve TaC'de termal şok direnci ve kraterleşme daha iyidir.

### 3.9. Vickers Sertlik Muayene Metodu

Metropolitan Vickers Co, London S.W.1. firmasının icadı olan bu alet esas itibari ile Birinell metodu gibidir. Arasındaki fark çelik bilye yerine karışıklı yüzeyler N tepesi açısı  $136^\circ$  olan pramit şeklinde bir elmas kullanılmasıdır. Bu açıda 0.20-0.50 bilye

çapının ortalama değeri olan 0.375 bilye çapına tekabül eden bir çukur çapına iki teğetin kesit açısı olarak meydana gelmiştir. Burada pramidin hasıl ettiği çukurun köşegenleri ölçülür. Vickers sertlik sayısı Sv aşağıdaki formülden de elde edilir [23].

$$S_v = P/F = P \cdot 1.8544 / E \text{ (kg/mm)}$$

P=Muayene yükü

F=Pramidin hasıl ettiği çukurun yüzey büyüklüğü(mm<sup>2</sup>)

G=Çukur köşegeninin uzunluğu

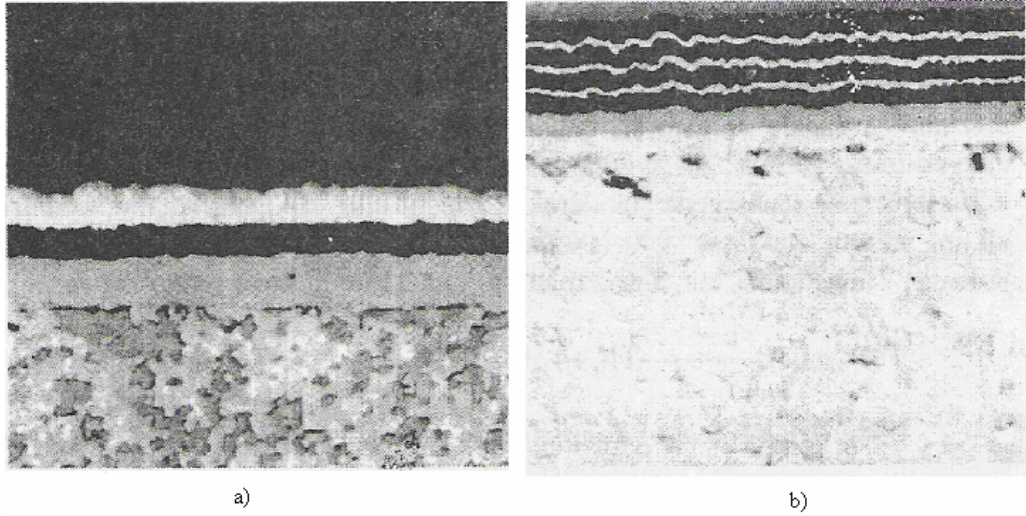
### 3.10. Sinterlenmiş Karbürlü Takımların Kırılması

Gevrek kırılma, özellikle karbürlü kesici takımlar, diğer sert metaller ve seramik takım malzemeleri için önemli bir kırılma şeklidir. Maksimum çekme gerilmesi kritik bir değere ulaştığı zaman malzemeler, genellikle gevrek tarzda kırılırlar. Karbürlü kesici takımların kırılma dayanımını karakterize etmek için çok yaygın olarak kullanılan test, 3 veya 4 noktalı eğilme testi ile ölçülen kesme dayanımıdır. Çoğu tungsten karbürlü takımların çekme dayanımı yaklaşık 2030 MPa olup ancak bu çekme dayanımı kullanılan bağlayıcı arttığında artar. Örneğin; %6 Co içeren bir takımın çekme dayanımı yaklaşık 710 MPa iken % 20 Co' lu takımın ortalama dayanımı 2240 MPa dır. Yapılan bazı gözlemleri doğrulamak için 22x22x200 mm çubuk şeklinde 22.5x2.5 mm disk şeklinde ve 6.4 mm kare ve 22.5 mm uzunluğunda tungsten karbürlü takımdan özel olarak üretilen yüksek basma dayanımlı numuneler teste tutulabilir fakat iş parçaları test öncesi elmasla taşlanıp ve parlatılmalıdır [24].

### 3.11. Kaplamalı Karbür Uçlar

Daha iyi kesme işlemi için yapılan araştırmalar, sinterlenmiş karbürlü takımların TiC, TiN ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi malzemelerle değişik metotlarla kaplanmasına yöneliktir. Kaplanmış karbür uçlar daha uzun takım ömrü, daha fazla üretim artışı, daha kolay talaş akmasını sağlamaktadır. Kaplama; kesme kuvvetini, oluşan ısıyı ve aşınmayı büyük oranda azaltarak geçici bir yağlayıcı görevi yapmaktadır. Bu, özellikle daha kaliteli yüzey elde edilmek istenildiğinde, kesme esnasında daha yüksek hızların

kullanılmasına imkân sağlar. Kaplamanın yağlayıcı ve talaş yapışmasını önleme özelliği talaş kaldırmada oluşan gerilim ve ısı miktarını büyük oranda azaltır, dolayısıyla takım ömrünü hayli artırmaktadır. Kullan-at tipli uçlardan gerekli avantaj sağlamak için çelik dereceli takımların talaş yüzeylerine yaklaşık 0.25 mm kalınlığında ince bir tabaka kaplanarak üretilmektedir. Bu tabakanın esas görevi termal iletkenliğe sahip tok WC-Co alaşımlarından oluşmaktadır. Toz metalürji teknikleriyle otomatik pres aracılığıyla bu tür kompozit üretimi mümkündür. Tabakalı bu uçların kullanımıyla klasik sinterlenmiş karbürlere göre hem çelik hem de dökme demirin işlenmesinde, daha yüksek kesme hızıyla daha az aşınma miktarı sağlanmaktadır.



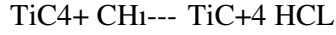
Şekil 3.14. Karbürlü Takım Üzerine Çok Katlı Kaplamalar. % 85 WC - %9 ( Ti, Ta, Nb ) C - %6 Co, TiC/Al/TiN ile 10µm kalınlığında kaplanmış a ), % 88 WC - % 8 ( Ti, Ta, Nb ) C - %5 Co, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiC ile kaplanmış tabakayı desteklemek için TiC/TiN ile kaplanmış kesit b) [25]

Kaplamalı kesicilerin ilk gelişimi, karbür uçlar üzerine çok ince sert bir tabakanın kimyasal buharlaştırma (CVD) metoduyla kaplanmasına 1980'li yıllarda başlanmıştır. Bu metot ile, takım üzerine yaklaşık 10µm' den daha az kalınlıkta ince bir tabaka sıkıca bağlanmakta, kaplama maddesi olarak TiC, TiN, Ti(C, N), HfN ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kullanılmaktadır. Şekil 3.14'de sinterlenmiş karbürlü takım ana malzemesi özü ve ana malzeme üzerine yapılan çok katlı kaplamalı takımların kesitleri gösterilmektedir. Burada TiN'ün, ise daha düşük sürtünme katsayısı verdiği ve BUE'ı azalttığı için daha ince olduğundan dış tabakada, ortada Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yüksek sıcaklıklarda kimyasal kararlılığı ve abrasive aşınma direnci sağladığından dolayı

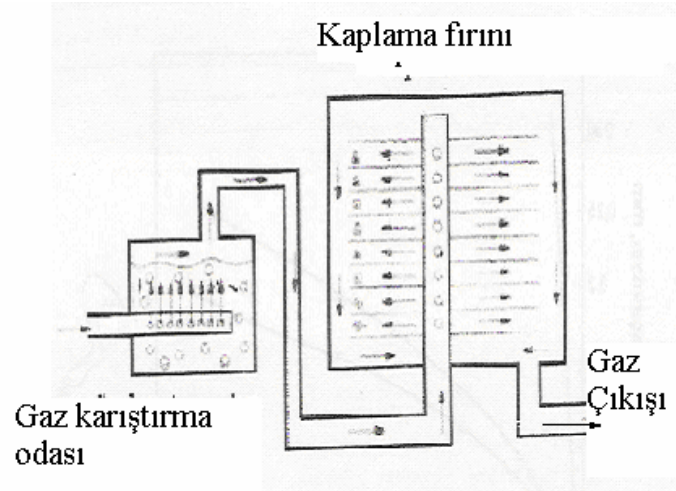
ikinci katman olarak ve TiC' de' ana malzeme üzerine, dayanım ve aşınma direnci daha iyi olduğu için, ilk katmanı oluşturmaktadır.

Bu kaplamalı takımlarda kaplama işlemi, kesicileri kapalı bir yerde hidrojen gazı akımında (atmosfer akımı veya azaltılmış basınç altında) ısıtılarak, metal ve metal olmayan bileşimler buharlaştırılarak kaplama yapılır. Örneğin, TiC kaplama elde etme işleminde,  $TiCl_4$  buharı Ti atomu elde etmede ve  $CH_4$  ise kaplama için karbon atomları sağlamada kullanılır. Genellikle sıcaklık 800-1100°C civarında olup sıcaklık çevrimi bir kaç saat sürer. İşlem parametrelerinin optimizasyonu ile uniform kalınlıkta tabaka, ana karbür malzemesine sıkıca bağlanmasıyla ve uniform yapılaşmaya dirençli bir takım elde edilir. Kaplamaların tane büyüklüğü çok ince olup bir mikronun 1/10 büyüklüğü çapında eşit eksen-tanelidir. TiN kaplamalar bazen kaplama yüzeyine normal eksenli olan sütunlar halinde oluşabilmektedir. Karbür uçları kaplamada farklı işlemlerden ve bu malzemelerin bileşiminden oluşabilir. İlk kaplama işleminde, gri renkli TiC kaplama maddesi, metan titanyum tetraklorür ve hidrojen arasında reaksiyona sokulur. Sıcaklığı yaklaşık 1000°C olan bir fırında sinterlenmiş karbür ana malzemesi yüzeyine 0.005 mm kalınlığında TiC katmanı kaplanır. Bu işlemle, kaplanmamış takım sertliğine göre 3 kat artış ve takım ömründe ise yaklaşık 5 kat artış sağlanmıştır. TiN kaplamaların katı çözültisi içeren katmanlarla kaplanan değişik türleri üretilmektedir.  $Al_2O_3$  kaplamalar TiC' den daha kolay farkedilebilir fakat yalıtıcıdır. Ancak karbür ve nitrür katmanları iyi iletkenlik özelliğine sahiptir [25].

Bugün ticari kaplamaların kalınlıkları 1-2 µm olan nitrür, karbür ve alüminyum oksit gibi bir kaç katmandan oluşabilmektedir. Karbürü takımları kaplamak amacı ile kullanılan bir CVD işlemi ünitesi Şekil 3.15 de gösterilmiştir. Kaplamalar ana malzeme üzerine elektro-kaplama işleminde olduğu gibi kimyasal reaksiyonlarla bu ünite de atomların birikmesi ile ana malzeme üzerinde maksimum yoğunlukta ve oldukça ince dokuda katmanın elde edilmesi gerekir. Bu aygıtta gaz karıştırma bölümünde metan ile titanyum tetraklorür gazı reaksiyona sokularak TiC oluşturulur. Bu gaz karışımı, karbürü takım uçların yaklaşık 900-1000°C sıcaklıkta ısıtıldığı kaplama ünitesine yollanır. Tungsten karbür, TiC kaplamayı oluşturan reaksiyonu kataliz eder.



Metan içine azot konularak da titanyum nitrür (TiN) kaplama yapılabilir. Sıcaklık, gaz konsantrasyonu ve akma usulü gibi kritik değişkenlerin kontrolü, ana malzemeye kaplamanın yapışıp yapışmadığından emin olmak için gereklidir. Ana malzemeye yapışan kaplamanın, kesme basınçlar ve sıcaklık şartlarını kopma olmadan sürdürmesi için diğer kaplama uygulamalarından daha iyi olması lazımdır. Yapışan kaplama, tane boyutu ve şekli, sıcaklığı veya basıncı değiştirilerek kontrol edilir.



Şekil 3.15. Karbürlü Kesici Takımlara (TiC, TiN vb.) Kaplamalar Uygulanmasında Kullanılan CVD ünitesi [25]

Diğer bir işlemden, kesici uçların üzerine üç veya daha fazla katlı kaplamanın yapılmasıdır. En içteki tabakada aşınmaya dirençli ve dayanıklı TiC oluşturulur. Bunu yüksek sıcaklıklarda kimyasal kararlılık ve tokluk sağlayan kalın bir  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tabakası takip eder. Üçüncü işlem ise  $\text{Al}_2\text{O}_3$  üzerine altın renkli TiN'den oluşan çok, ince tabakanın PVD ile oluşturulmasıdır. Bu da talaş yapışmasını azaltarak daha düşük sürtünme katsayısının elde edilmesini sağlar.

## BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

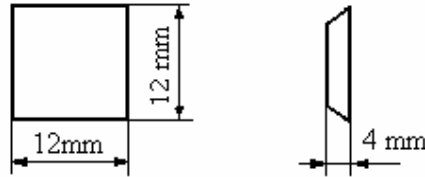
### 4.1. GİRİŞ

Bu çalışmada, ISO P25, WC –Co bazlı kesici takımlar sırasıyla 900°C, 1000°C ve 1100°C sıcaklıklarda 1- 2- 4 saat sürelerde borlama işlemine tabi tutulmuştur. Borlama işlemi sonrasında oluşan borür tabakalarının morfolojileri, optik ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla incelenmiştir. Ayrıca borür tabakalarının zaman ve sıcaklığa bağlı olarak kalınlıkları ve yüzeyden itibaren matrise doğru sertlik dağılımları ölçülmüştür.

Son olarak 1000°C ve 1100°C sıcaklıklarda 2 ve 4 saat sürelerde borlama işlemine tabi tutulan ISO P25, WC- Co kesici takımların aşınma özellikleri ve kesme kuvvet analizleri yapılmıştır.

### 4.2. Deneyde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, ticari olarak elde edilebilen SPUN 120412 kodlu ISO P25 türde WC-Co esaslı kesici takımlar borlama işlemine tabi tutuldu. Tablo 4.1’ de gösterildiği gibi parçaların nominal bileşimi ağırlıkça %69.5 WC, %21 TiC/Ta(Nb)C ve %9.5 Co dan oluşmaktadır. Numunelerin ebadı 12x12x4 mm’dir.

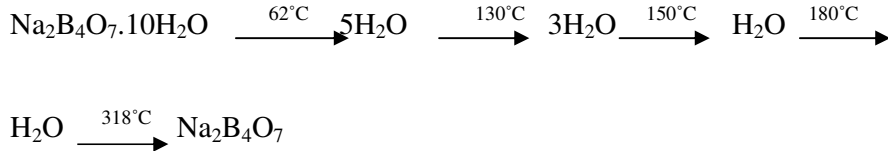


Şekil 4.1. Metalografik inceleme için kullanılan numuneler

Boraks; 300°C sıcaklıkta bir saat, 600°C sıcaklıkta üç saat tutulmak süreti ile kristal suyu uçurulan ve 850°C’de bir saat bekletilerek sıvı hale getirildikten sonra



atmosferik şartlarda aşırı soğumayla camsı hale getirilmiştir. Boraks teorik olarak %36.52 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %16.25 Na<sub>2</sub>O ve %47.23 H<sub>2</sub>O ihtiva etmekte olup ergime noktası 741°C ve yoğunluğu, 1.73 gr/cm<sup>3</sup>'tür. Boraksın ısıtılması sonucunda oluşan su kaybı aşağıdaki şekilde gerçekleşmektedir [4].



Borik asit; (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>), 110°C'de 3 saat ve 400°C'de bir saat tutularak 600°C civarında ergitilmiş ve havada termal şoka tabi tutulmak suretiyle camsı hale getirilmiştir. Borik asit teorik olarak %56.3 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içermektedir ve yoğunluğu, 1.51 gr/cm<sup>3</sup>'tür.

Ferro- silisyum; %70 Si, %0.1 C, %1 Al, < %0.05 S ve geri kalanı demirden oluşan bir kimyasal bileşime sahiptir ve ticari saflıktadır.

Borlama işlemi, 900°, 1000°C ve 1100°C sıcaklıkta 1- 2- 4 saat süreyle atmosferik şartlarda yapılmıştır. Banyo içerisindeki bileşim ± 5 °C sıcaklık hassasiyetindeki elektrik direnç fırınına yerleştirilmiş ve bu banyo işlem sıcaklığına çıkarılarak numuneler ergimiş bileşim içerisine yerleştirilmiştir. Her yarım saatte bir banyo karıştırılmış ve her deney için yeni bir banyo hazırlanmıştır. Borlama işlemi sonrasında numuneler oda sıcaklığına kadar havada soğutularak yüzeydeki curuflar ve banyo kalıntıları temizlenmiştir.

Tablo 4.1 Deney malzemesi kimyasal bileşimleri

Sert malzeme türü	WC (Ağırlıkça, %)	TiC+Ta(Nb)C (Ağırlıkça, %)	Co (Ağırlıkça, %)
SBF	69,5	21,0	9,5

### 4.3. DeneYlerde Kullanılan Araç ve Gereçler

- 1200°C kapasiteli elektrik direnç fırını,
- Paslanmaz çelik pota,
- Metalografik sistemler,
- Mikrosertlik cihazı,
- Optik mikroskop,
- Elektron mikroskobu,
- X ışınları difraktometresi,
- Öğütme makinesi,
- Dinamometre,
- Torna Tezgahı.

### 4.4. DeneYlerin Yapılışı

110°C'de 3 saat ve 400°C'de bir saat tutularak 600°C civarında ergitilmiş ve havada termal şoka tabi tutulmak suretiyle camsı hale getirilmiş borik asit ve 300°C sıcaklıkta bir saat, 600°C sıcaklıkta üç saat tutulmak suretiyle kristal suyu uçurulan ve 850°C'de bir saat bekletilerek sıvı hale getirildikten sonra atmosferik şartlarda aşırı soğumayla camsı hale getirilen boraks halkalı değirmende öğütülerek toz haline getirilmiştir.

Ağırlıkça %65 boraks, %15 borik asit, %20 ferro- silisyum karıştırılarak paslanmaz çelik potalara dökülmüştür. Elektrik fırınına yerleştirildikten 10 dakika sonra çıkarılan sıvılaşmış karışım içerisine, numuneler titizlikle yerleştirilmiştir. Homojen dağılımı sağlamak için her yarım saatte bir banyo karıştırıldı. Her deney için ayrı ayrı banyo düzeneği hazırlanmıştır. Bu deneyler 900 – 1000 - 1100° C sıcaklıklarda ve 1- 2- 4 saat sürelerde gerçekleştirilmiştir.

Borlama işleminden sonra numuneler banyodan çıkarılmış ve havada soğutulmuştur. YüzeYe yapışmış olan banyo kalıntıları, kaynar suda uzun süre tutularak temizlenmiştir.

#### 4.5. Metalografik Çalışmalar

Şekil 4.1’de kullanılan numuneler, 300- 600- 1200’lük elmas disk ile aşındırılmış 1-0.25 µm elmas solüsyonla parlatılmıştır. Hazırlanan numuneler NİCON-ECLİPSE L-150marka optik mikroskop yardımıyla incelenmiştir. Ayrıca, tabaka kalınlığı ölçümleri de cihazın bünyesinde bulunan aparatlardan yararlanılmıştır.

Elde edilen fazların çok belirgin bir şekilde ayırt edilebilmesi için numuneler iletken bakalite alınarak altın kaplama yapılmış sonra, SEM görüntülerinden yararlanılmıştır.

#### 4.6. Sertlik Ölçümleri

ISO P25, WC –Co bazlı kesici takımların ( sırasıyla 900°C, 1000°C ve 1100°C sıcaklıklarda 1- 2- 4 saat sürelerde borlama işlemine tabi tutulan borlanmış numunelerin ) mikrosertlik ölçümleri, metalografik olarak hazırlandıktan sonra 10 gr yük altında FutureTech FM 700 mikro sertlik ölçme cihazında Vickers sertlik ucu kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri yüzeyden 5µm mesafeden başlayarak malzeme içine kadar aynı doğrultuda ölçümler yapılmıştır. Sertlik ölçümleri en az 5 ölçüm yapılarak gerçekleştirilmiştir.

#### 4.7. X Işınları Analizi

Borür tabakasında yer alan fazların belirlenmesi ve özelliklerinin tesbiti için kullanılan yöntemlerden biri olan X- ışınları difraksiyon analizidir. Bu analiz yöntemi, analiz edilecek numune üzerine genellikle Cu veya Co gibi hedef bir elementten elde edilen K $\alpha$  karakteristik X- ışını demetinin gönderilmesi temeline dayanmaktadır. Gönderilen ışın demeti numunelerin üç boyutlu kristal yapısında difraksiyona uğrayarak, paternler halinde elde edilmektedir. Bu paternler, bileşimi belirli standart malzemelerden elde edilen paternler ile karşılaştırılarak incelenmektedir. Borlanmış tüm örneklerin faz analizleri Rigaku X-RD D MAX 2800 PC marka X- ışını difrakometresi ile CuK $\alpha$  radyasyonu kullanılarak yapılmıştır.

#### **4.8. Elektron Mikroskobu Çalışmaları (SEM - EDS)**

Kaplama tabakasındaki elementlerin dağılımını ve morfolojisini incelemek amacıyla JEOL- JSM- 6060 LV marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Ayrıca yüzeyden itibaren içeri doğru borür tabakasının belirli bölgelerinden çizgisel elementer analizi ve noktasal elementer analizi yapılmıştır. Her malzemenin farklı borlama sıcaklığı ve süresi için mikroyapı görüntüleri elde edilmiştir.

#### **4.9. Mekanik Karakterizasyon Çalışmaları**

İşleme amaçlı kullanılan kesici takımların mekanik olarak karakterize edilmesinde bir çok karakterizasyon yöntemi kullanılmaktadır. Bununla birlikte en çok kullanılan ve çalışma performansının bir göstergesi olarak kabul edilen Karakterizasyon yöntemleri; aşınma deneyi, kesme kuvveti ölçüm deneyi ve işlenen iş parçasının yüzey pürüzlülüğü ölçümüdür.

##### **4.9.1. Aşınma davranışları**

12x12x4mm ebatlarındaki kaplanmış WC –Co bazlı kesici takımlar ve kaplanmamış WC –Co bazlı kesici takımlar torna tezgâhına bağlanarak, AISI 1040 çeliği işlenmiş, kesici takım üzerindeki aşınmalar mikroskopta incelenmiş ve aşınma miktarları ölçülmüştür.

##### **4.9.2. Kesme kuvveti ölçümleri**

12x12x4mm ebatlarındaki kaplanmış WC –Co bazlı kesici takımlar ve kaplanmamış WC –Co bazlı kesici takımlar torna tezgâhına bağlanmış AISI 1040 çeliği işlenerek kesici takım üzerine gelen kuvvetler dinamometre ile bilgisayar ortamında ölçülmüştür.

#### 4.9.3. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri

Kaplanmış WC –Co bazlı kesici takımlar ile kaplanmamış WC –Co bazlı kesici takımların AISI 1040 çeliğini işlemesi neticesinde iş parçasındaki yüzey pürüzlülük değerleri belirli zaman aralıklarında ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır.

## BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR

### 5.1. Metalografik Çalışmalar

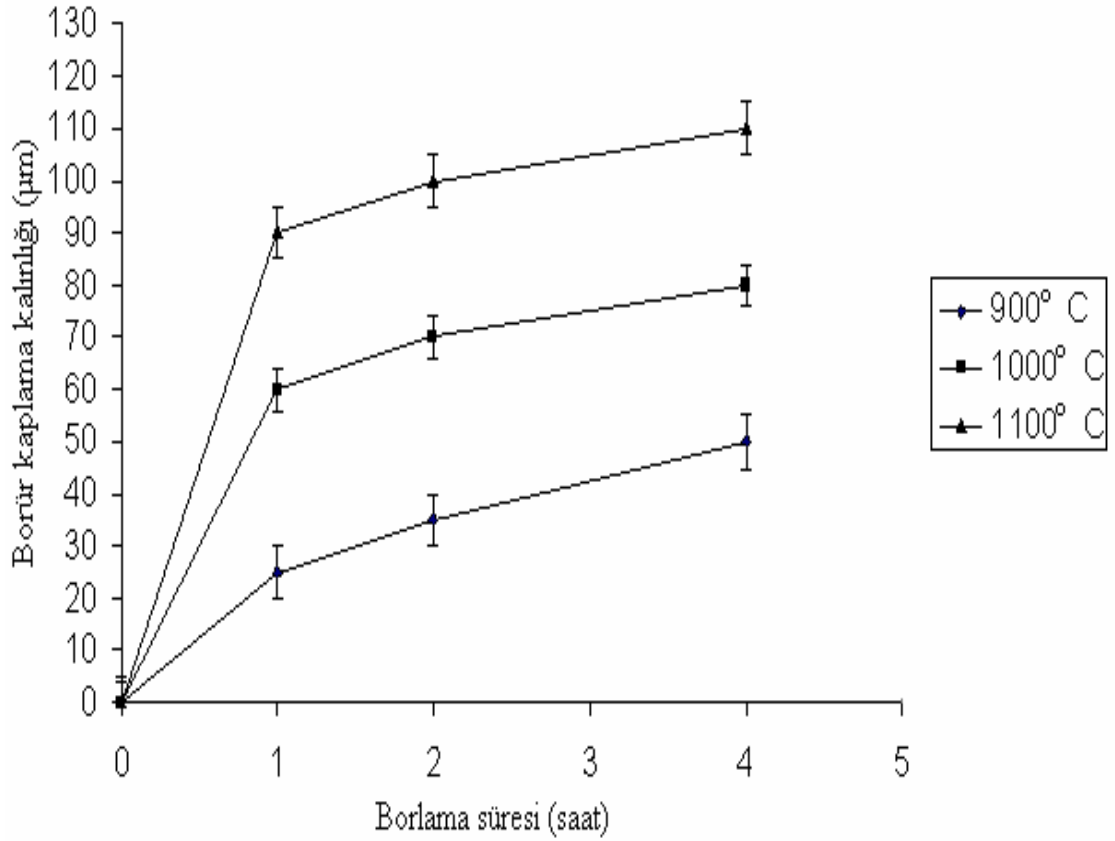
Metalografik incelemeler sonucunda, WC –Co bazlı kesici takımlar sırasıyla 900°C, 1000°C ve 1100°C sıcaklıklarda 1- 2- 4 saat sürelerde borlama işlemine tabi tutularak, banyo bileşenlerinin takım yüzeyinden içeriye doğru sıcaklık ve zamana bağlı olarak difüzyon şeklinde borür tabakası oluşmaktadır. Bu borür tabakalarının kalınlıkları Tablo 5.1’de sıcaklık ve zamana bağlı olarak karşılaştırılmıştır. Burada malzemenin kimyasal bileşimini oluşturan ( WC, TiC+Ta(Nb)C ) karbürlerin 900° C ve 1000° C’de küçülmeye ve kenarlardaki keskin köşelerin yuvarlaklaşmaya başlaması ve yeni fazların ( CoW<sub>2</sub>B<sub>2</sub>, CoWB, CoB, W<sub>3</sub>CoB<sub>3</sub>, TiB<sub>25</sub>, TiB<sub>100</sub>, WB<sub>4</sub> ) oluşması kesici takımın sertleşmesine neden olmaktadır.

Tablo 5.1. SBF kesici takımın borlama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak borür tabaka kalınlık değerleri

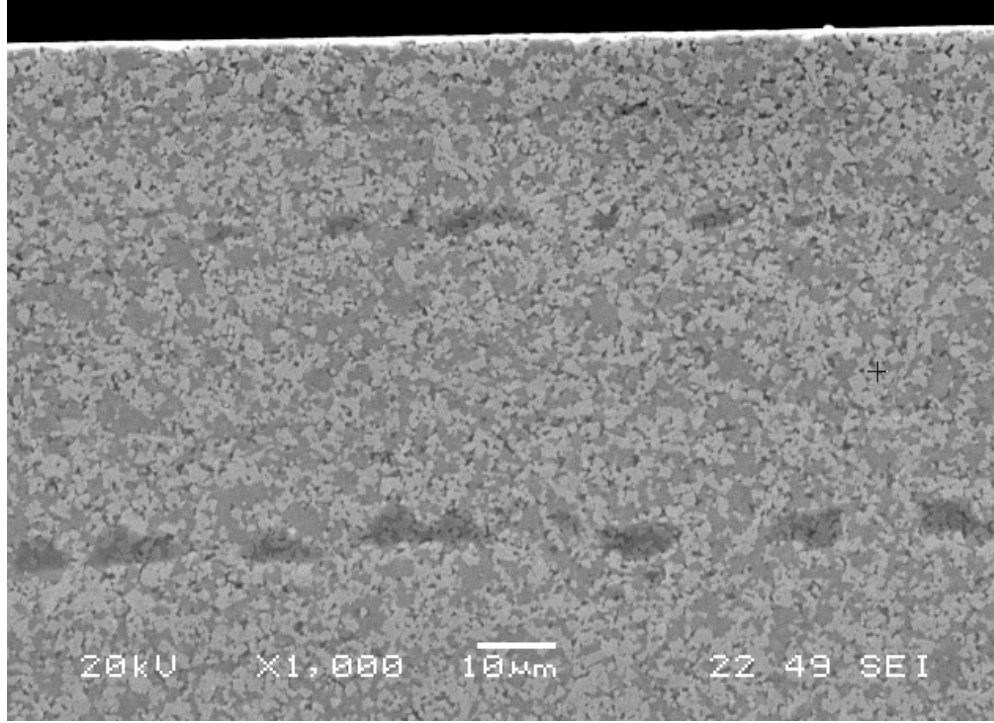
Banyo bileşenleri GEW%	Borlama Sıcaklığı (° C)	Borlama Süresi (saat)	Borür Tabaka Kalınlığı (µm)
%65 boraks %15 borik asit %20 ferro-silisyum	900° C	1	25 ±5
		2	35 ±5
		4	50 ±5
	1000° C	1	60 ±6
		2	70 ±6
		4	80 ±6
	1100° C	1	90 ±8
		2	100 ±8
		4	110 ±8

Banyo sıcaklığı  $1100^{\circ}\text{C}$  'ye çıkmasıyla malzemenin kimyasal bileşimini oluşturan ( WC, TiC+Ta(Nb)C ) karbürlerin çözünmeye başlamasına ve karbürlerin çözünmesine neden olmakta dolayısıyla sertliğin bir miktar azalmasına neden olmaktadır.

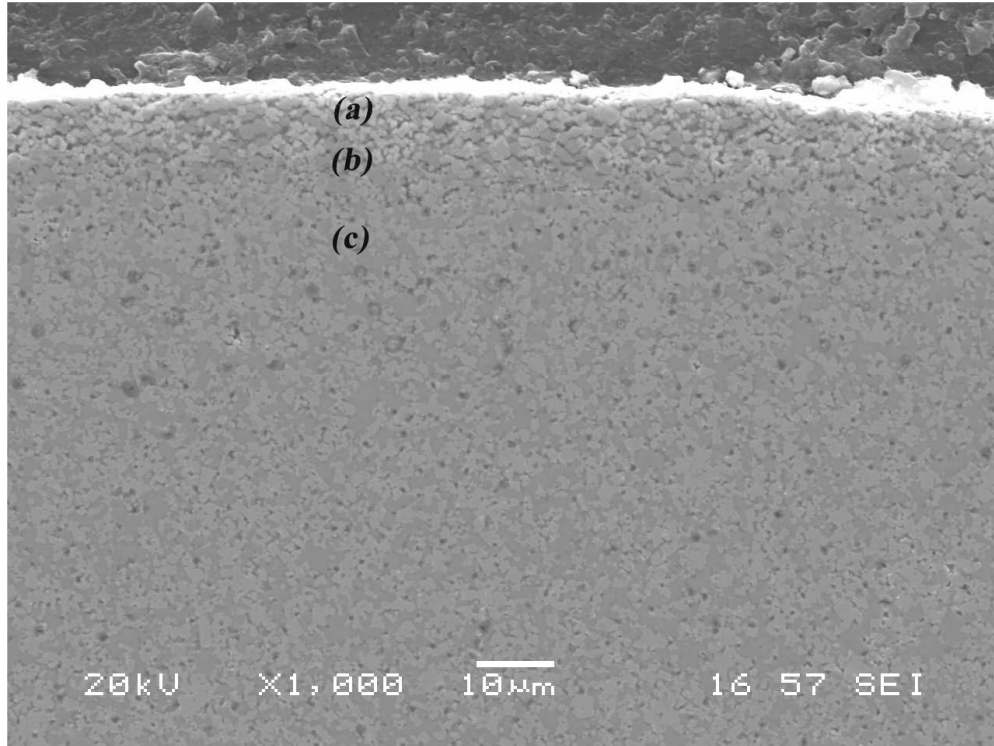
Şekil 5.1, işlem süresi ve sıcaklığına göre borlanmış bölgenin kalınlığındaki değişim görülmektedir. Şekil 5.1'de görüldüğü gibi borlanmış bölgenin kalınlığı işlem süresi ve sıcaklığının artmasıyla artmaktadır. Borlama işlemi difüzyon kontrollü bir prosestir ve difüzyon derinliği metalik malzemenin sıcaklık ve işlem süresiyle gelişir.



Şekil 5.1. WC- Co kesici takımın borlama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak borür tabaka kalınlığındaki değişimler.



a)



b)

Şekil 5.2. WC- Co esaslı malzemelerin, a) işlem görmemiş , b) borlanmış (1000° C, 4h ) SEM görüntüleri



Şekil 5.2' de işlem görmüş ve işlem görmemiş numunelerin SEM mikrograflarının arasındaki fark karşılaştırıldığında, açık bir şekilde Şekil5.1b' de işlem gören numunede bor difüze olan bölgenin olduğu görülmektedir.Şekil 5.1b'de görüldüğü gibi numunelerin mikrograflarında üç farklı bölge ortaya çıkmıştır. Bu bölgeler, borlanmış bölge (a), geçiş bölgesi (b) ve altlık (c) olarak tanımlanabilir.

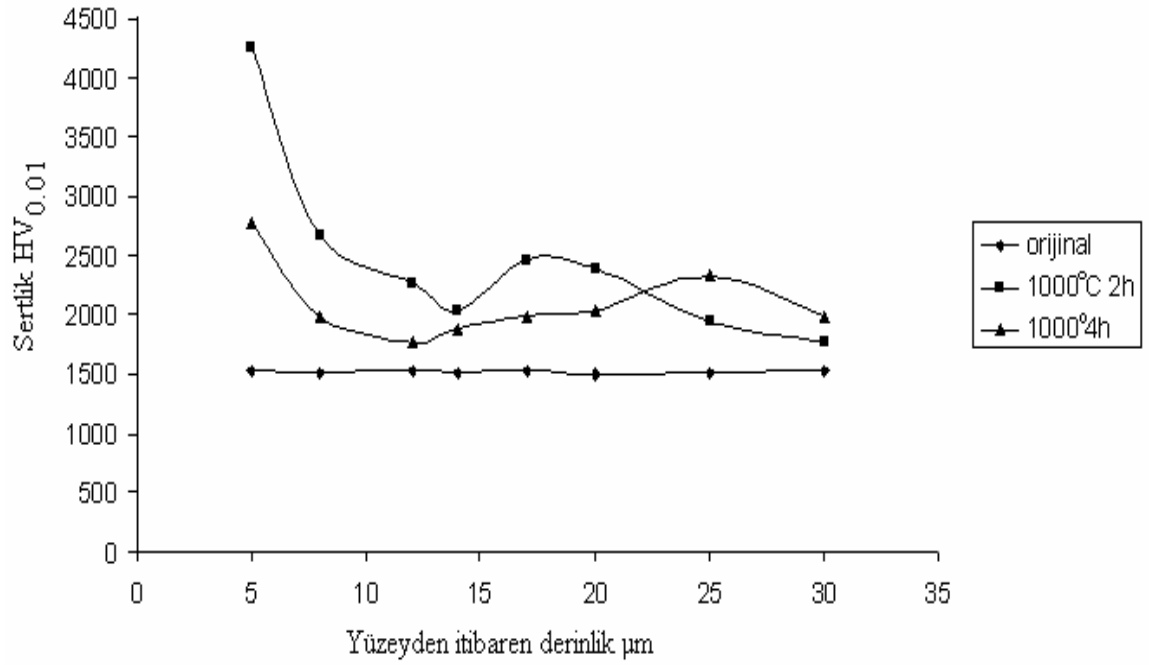
Bor difüze edilmiş bölgede tungsten karbür partiküllerinin daha küçük ve yuvarlaklaştığı gözlenmektedir. Halbuki reaksiyonun gerçekleşmediği partiküllerin olduğu yerler olan daha derin bölgelerdeki partiküller köşeli ve blok şekilli olup işlem görmemiş malzemelerin mikroyapısına benzemektedir.Üstelik borlanmış bölgelerin tane sınırları arasındaki yeni faz kobalt bağlayıcı fazından daha geniştir.Bu yüzden yüzey kaplaması veya tabakasından daha ziyade bor difüze olmuş bölge oluşmuştur.

Özellikle yüzey bölgesinde WC tanelerinin bulutsu görünüşü bor difüzyonunun anlaşılmasını sağlamıştır. Bu özellikler, bor karbür, bor nitür, bor tozu ve bor oksitten herhangi biri kaynak olarak kullanıldığında borlanmış WC- Co malzemelerin genel karakteristiğidir [26]. Kaynak olarak bu malzemelerin kullanılması matris içinde aynı karakteristik bulutsu şeklin oluşmasına sebep olmaktadır.

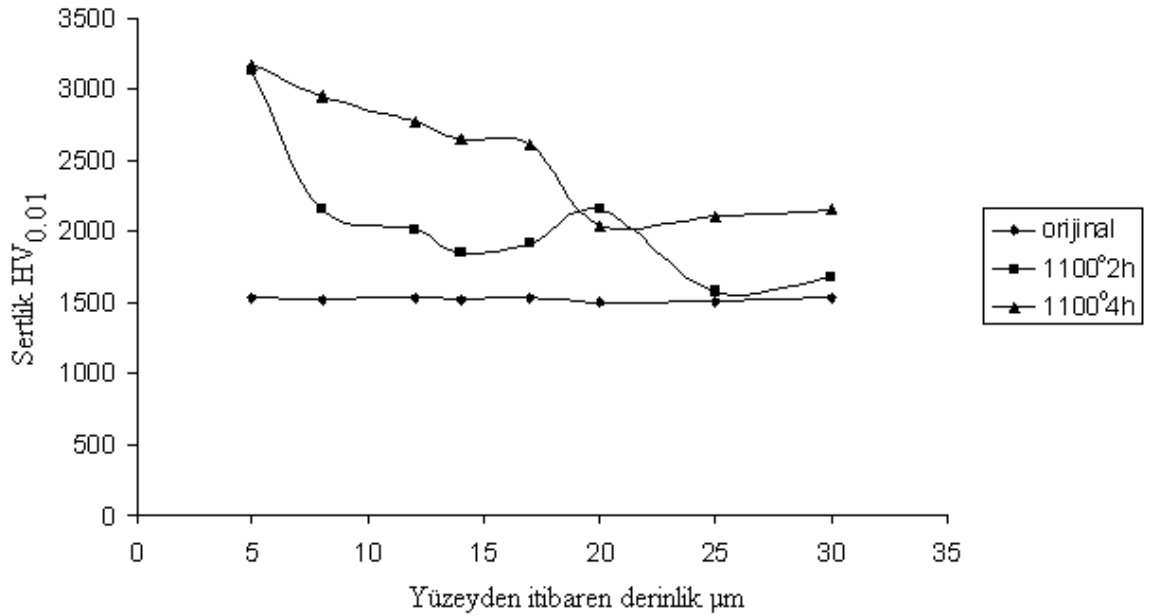
## 5.2. Sertlik Ölçümleri

Sertlik ölçümleri borlama süresi ve malzeme bileşimine bağlı olarak, borlama işleminin malzeme sertliği, kırılma tokluğu ve aşınma gibi mekanik özelliklerine etkisinin ortaya çıkarılması açısından önem arz etmektedir. Sertlik ölçümleri malzeme yüzeyine dik yada büyüme yönünde sabit yük kullanılarak gerçekleştirilir [4]. Borlama işlemine tabi tutulan farklı sıcaklık ve sürelerdeki borlanmış malzemelerin sertlik ölçümleri yüzeyden itibaren belirli bir derinliğe kadar 10gr yük altında ölçülmüş; borür tabakası, geçiş zonu ve matris bölgelerinin sertliği tesbit edilmiştir. Yapılan sertlik ölçümleri, sıra sertlik şeklinde en az 5 farklı ölçümün ortalama değerleri ve standart sapmaları alınarak tesbit edilmiştir. Farklı sıcaklık ve

sürelerde borlanan WC-Co esaslı kesici takımlar için yüzeyden 5µm seviyeden başlayarak içe doğru ölçülen sertlik değerleri Şekil 5.3-5.4'da verilmektedir.



Şekil 5. 3. Kaplanmamış ve 1000°C de 2 ve 4 saat süre ile borlanmış WC-Co esaslı kesici takımın sertlik ölçüm değeri



Şekil 5.4. Kaplanmamış ve 1100°C de 2 ve 4 saat süre ile borlanmış WC-Co esaslı kesici takımın sertlik ölçüm değeri

Sertlik değerlerindeki artış borlama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak değişmektedir. Aynı şekilde malzeme bileşimine bağlı olarak borür tabakası ve matris sertlikleri değişiklik arz etmektedir. Borlanmış bölgenin, geçiş bölgesinin ve matrisin sertliği, 1000°C, 2 saat borlanmış numunede yüzeyden iç kısma doğru yapılan ölçümlerde maksimum ortalama mikro sertlik değeri 3600 HV<sub>0.01</sub>, yüzeyden 5-8 µm arası derinlikte elde edildi. Ortalama sertlik 20µm derinlikten matrise doğru yavaş bir şekilde azalmaktadır. Bu değerde ana malzemenin sertlik değerine uymaktadır. Yüzey bölgesi reaksiyonun olmadığı iç bölgelerden borlanmış bölge 2.5 kez daha serttir.

Zahariev ve arkadaşları, [26] K10 türü WC-Co parça üzerinde termo kimyasal olarak elde edilebilen WCoB bileşiminin tabakası için 3300 HV sertliğini rapor etmişlerdir. 3000-4500 HV arasındaki mikro sertlik değerleri, genellikle borlanmış malzemenin yüzeyinde WCoB, W<sub>2</sub>CoB<sub>2</sub> ve W<sub>2</sub>CoB<sub>6</sub> gibi çok bileşenli borür fazlarının oluşumuna bağlanmaktadır [28,29]. Böyle sert borürler, borlanmış WC-Co parçaların aşınma direncinde işlem görmemiş malzemelerinkiyile karşılaştırıldığında 3 kat gelişim sağladığı rapor edilmektedir. Bu da yalnızca sertlik gelişimine değil aynı zamanda yüksek mukavemet ve WC-Co bazlı malzemelerde elde edilen çoklu borürlerin sonucunda karakteristik morfolojiye bağlanmaktadır [28,29].

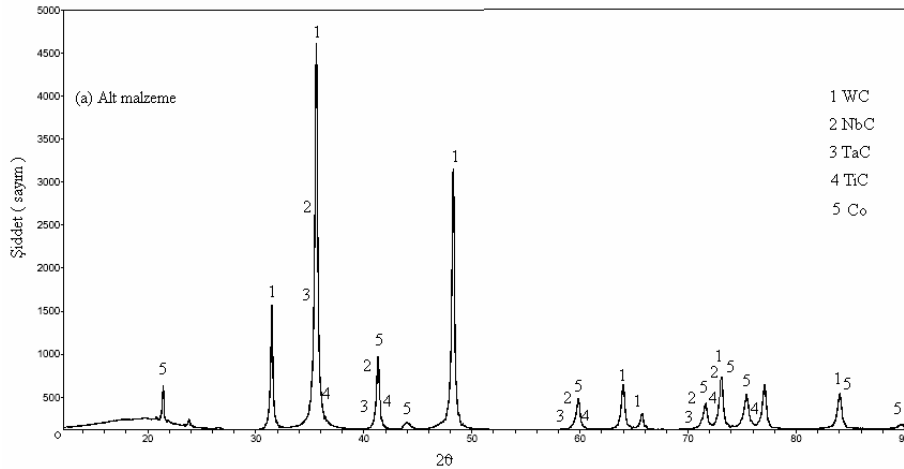
WC-Co parçaların yüzeyinde kobalt borürleri elde etmenin diğer bir yararı da CoB fazının böyle malzemelerin üzerine elmas kaplama uygulamalarını desteklemesidir. Elmas kaplı CoB ara tabakalı WC-Co takımlar kobaltın zararlı karışımından uzak bir mikro yapı çok daha iyi yapışma sergilemektedir. Borlama prosesi Co'ı yüzey bölgelerinde kimyasal olarak inert ara metalik CoB fazına dönüşerek etkisizleşir. Borür tabakasının sertliği malzemenin bünyesinde yer alan karbürlerin miktarına ve cinsine göre değiştii de düşünülebilir.

Sertlik ölçümleri sonucunda elde edilen yüksek sertlik değerleri CoW<sub>2</sub>B<sub>2</sub>, W<sub>3</sub>CoB<sub>3</sub>, CoWB gibi çok bileşenli borür fazların oluşumundan kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bu yüksek sertlik değerleri altlık malzemenin sertliğini yaklaşık 2,5 kat artırmaktadır. Bununla birlikte bu sertlik değerleri elde edilen çoklu borür yapıların karakteristik morfolojilerine de bağlanabilir.

### 5.3. X Işınları Analizi

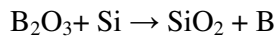
WC-Co bazlı malzemelere eriyik tuz banyosunda borlama yapılarak termokimyasal difüzyon işlemine tabi tutulmuş olup yüzey bölgesinde oluşan yeni fazların analizleri X-ray difraksiyon spektrometresinde (XRD) saniyede  $0.070^\circ$ 'lik adımda  $20-100^\circ$  arasındaki  $2\theta$  açısıyla  $1.5405\text{\AA}$ 'lik dalga boyunda Cu  $K\alpha$  radyasyonu ile gerçekleştirilmiştir.

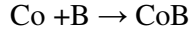
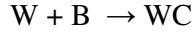
Şekil 5.5' de kaplanmamış WC-Co esaslı malzemenin XRD analizi gösterilmektedir. WC- Co esaslı altlık olarak kullanılan malzemeye yapılan XRD difraksiyon analizi sonuçlarına bakıldığında yapıda dominant (baskın) fazın WC olduğu bunun yanı sıra ikincil faz olarak NbC'ün varlığı görülürken yapıda az miktarda TaC, TiC ve Co'nun olduğu tespit edilmiştir. Yapıda amorf (düzensiz) veya tanımlanmayan pik tespit edilmemiştir.



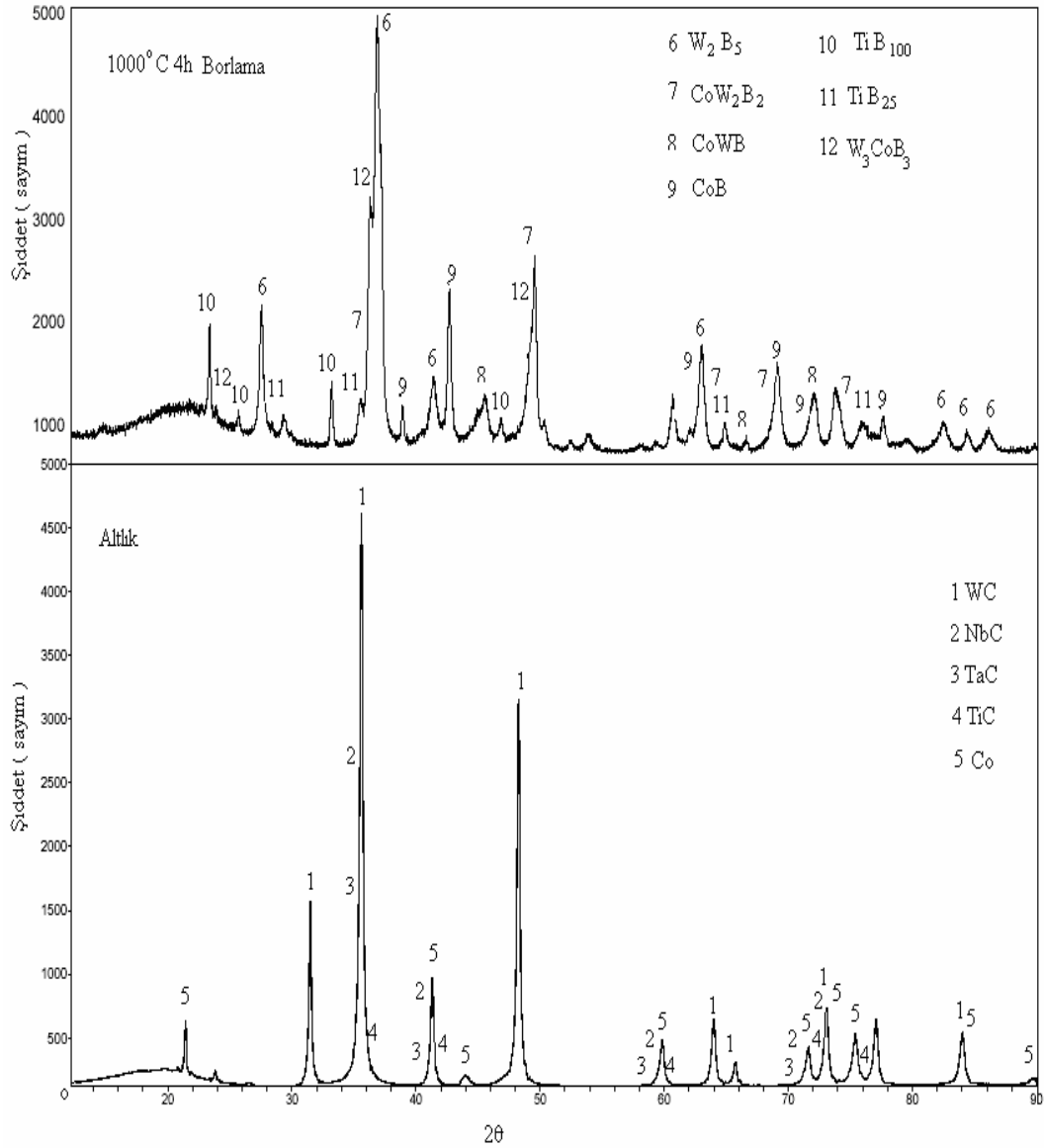
Şekil 5.5. Kaplanmamış WC- Co esaslı malzemeye ait X- ışını difraksiyonu.

$1000^\circ\text{C}$  sıcaklıkta 4 saat boyunca sıvı tuz banyosunda (%65 boraks, %15 borikasit ve %20 ferro-silisyum) tutulan altlık malzemesi üzerinde gerçekleşen kaplama işlemi sonrası yüzeyden alınan X- ışını difraksiyon analizi Şekil 5.6'da görülmektedir. X- ışını difraksiyon analizine bakıldığında borlanmış bölgede  $W_2B_5$  fazı dominant olarak görülmektedir. Bununla birlikte yapıdaki diğer fazlar  $CoW_2B_2$ ,  $CoWB$ ,  $CoB$ ,  $W_3CoB_3$ ,  $TiB_{25}$ ,  $TiB_{100}$ ,  $Ta_3B_4$ ,  $WB_4$  olarak tespit edilmiştir. Oluşan bu yeni fazlar sıcaklığın etkisi ile aşağıdaki şekilde gerçekleşmektedir.





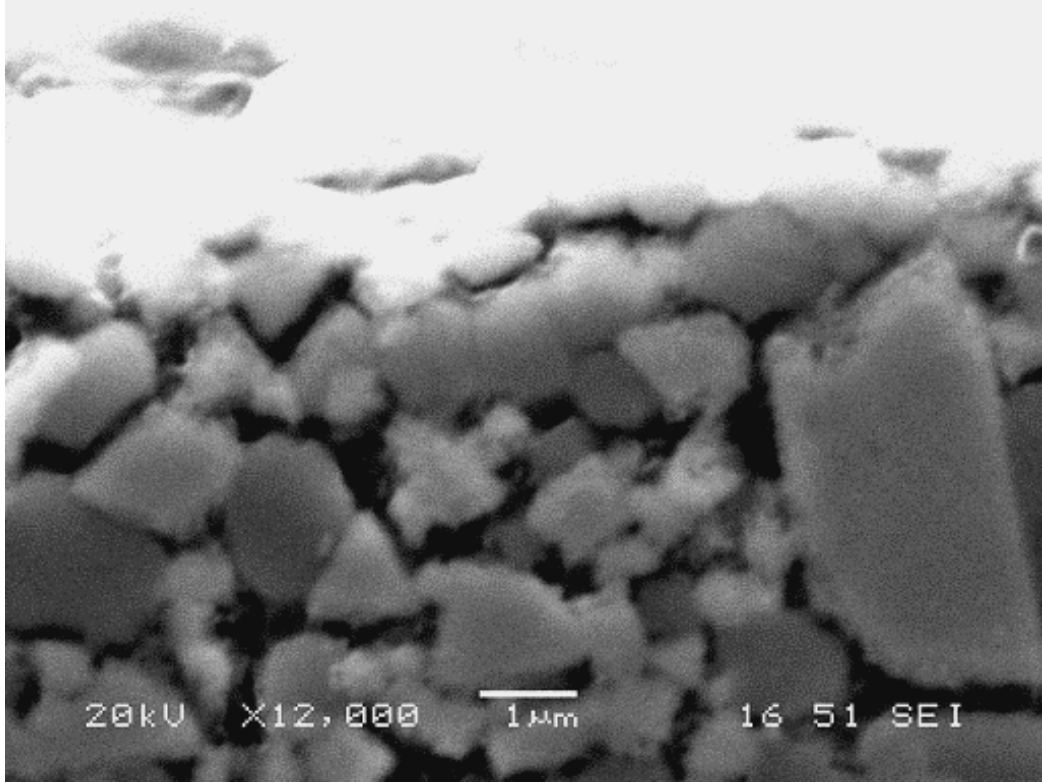
Boraks Silisyum ile tepkimeye girerek Silisyum oksijen ile etkileşip bor atomu açığa çıkıyor. Bor ile kesici takımında bulunan Tungsten, Kobalt, Titanyum ve Tantalum atomları birleşerek  $CoW_2B_2$ ,  $CoWB$ ,  $CoB$ ,  $W_3CoB_3$ ,  $TiB_{25}$ ,  $TiB_{100}$ ,  $WB_4$  fazlarını oluşturuyor.



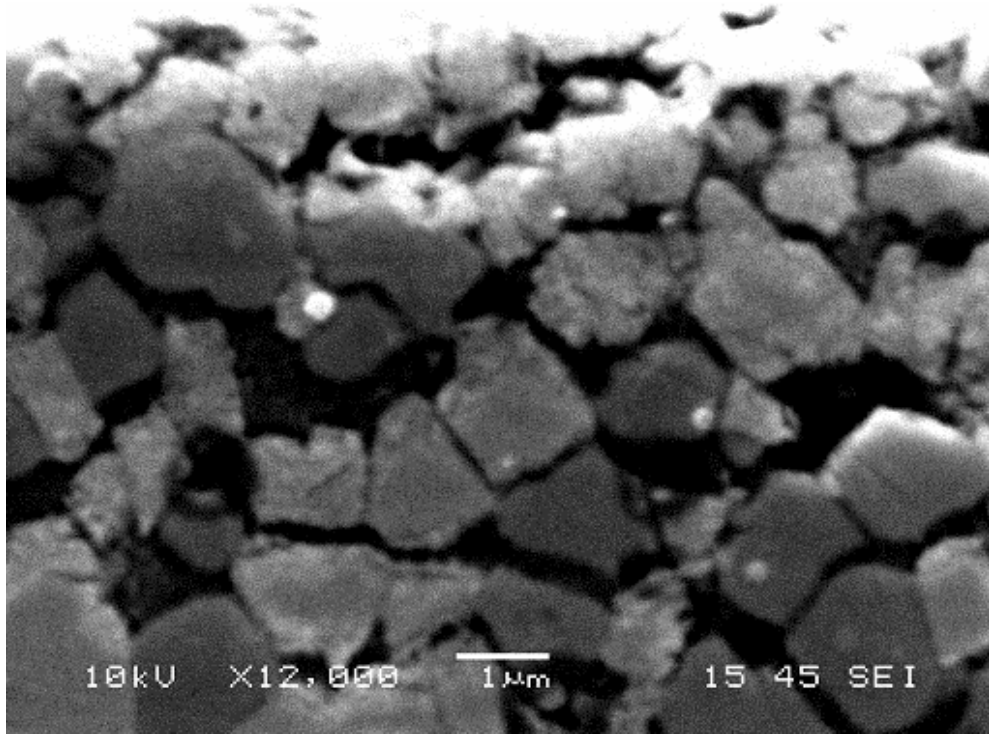
Şekil 5.6. Borlanmış WC-Co numune ile borlanmamış numunelerin X-ray difraksiyon analizleri

#### 5.4. Taramalı Elektron Mikroskobu Çalışmaları (SEM - EDS)

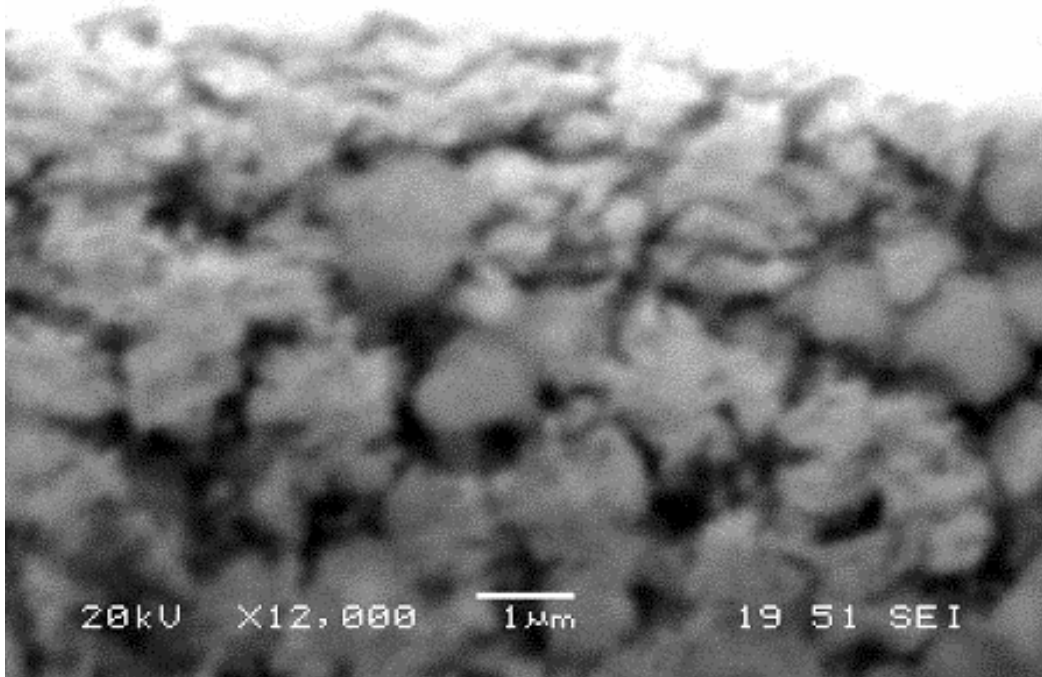
Şekil 5.2 (b)'deki mikrografda, işlem görmüş numunede borlanmış bölgede üç farklı bölgenin varlığı görülmektedir. Fazlar onların görünüşleri arasındaki açık kontrast sebebiyle kolaylıkla ayırt edilebilir; (i) açık gri, (ii) koyu gri ve (iii) siyah. Bu fazların her birine Şekil 5.11'de görüldüğü gibi EDS analizi yapılmıştır. Şekil 5.11 a'da açık gri faz, temelde W, Co ve C'dan oluşmaktadır ki buda tungsten karbür olduğunu göstermektedir. Şekil 5.11 (a)'da görülen WC tanelerinin kenarlarında dönüşümlerin gerçekleştiği görülmektedir.. Bu da WC partikülleri ile bor atomları arasındaki reaksiyondan kaynaklanmaktadır. Şekil 5.11 (b)'de görülen koyu gri faz, temelde Ti, Ni ve C'dan oluşur.



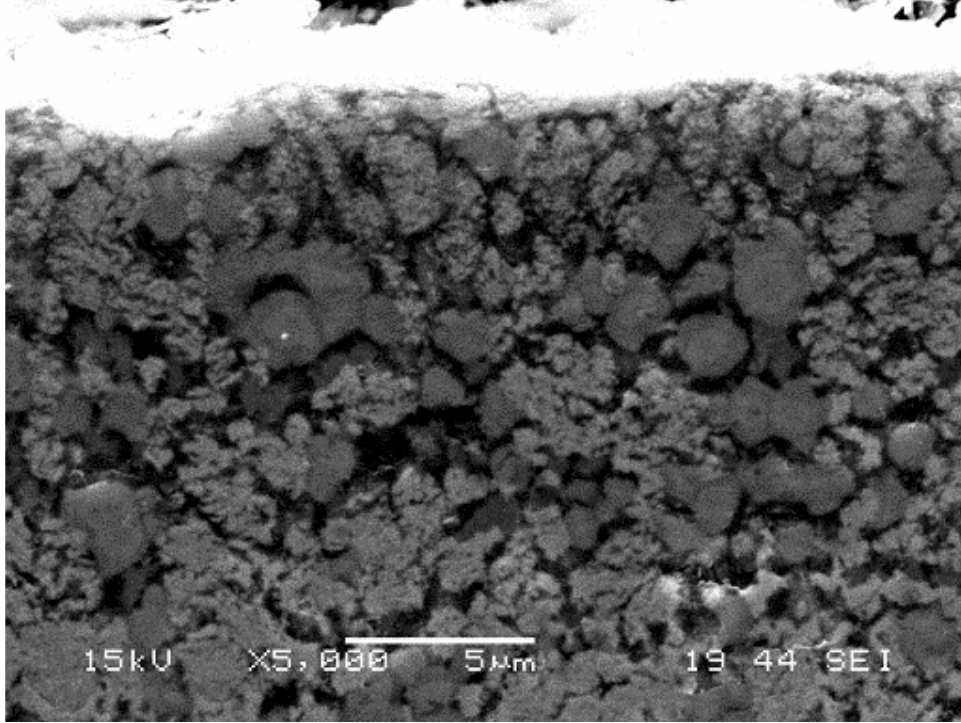
Şekil 5.7. Reaksiyon sıcaklığı 1000° C olan numunenin 2 saat süre ile termokimyasal borlama işlemi sonrası genel görüntüsü



Şekil 5.8. Reaksiyon sıcaklığı 1000° C olan numunenin 4 saat süre ile termokimyasal borlama işlemi sonrası genel görüntüsü



Şekil 5.9. Reaksiyon sıcaklığı 1100° C olan numunenin 2 saat süre ile termokimyasal borlama işlemi sonrası genel görüntüsü

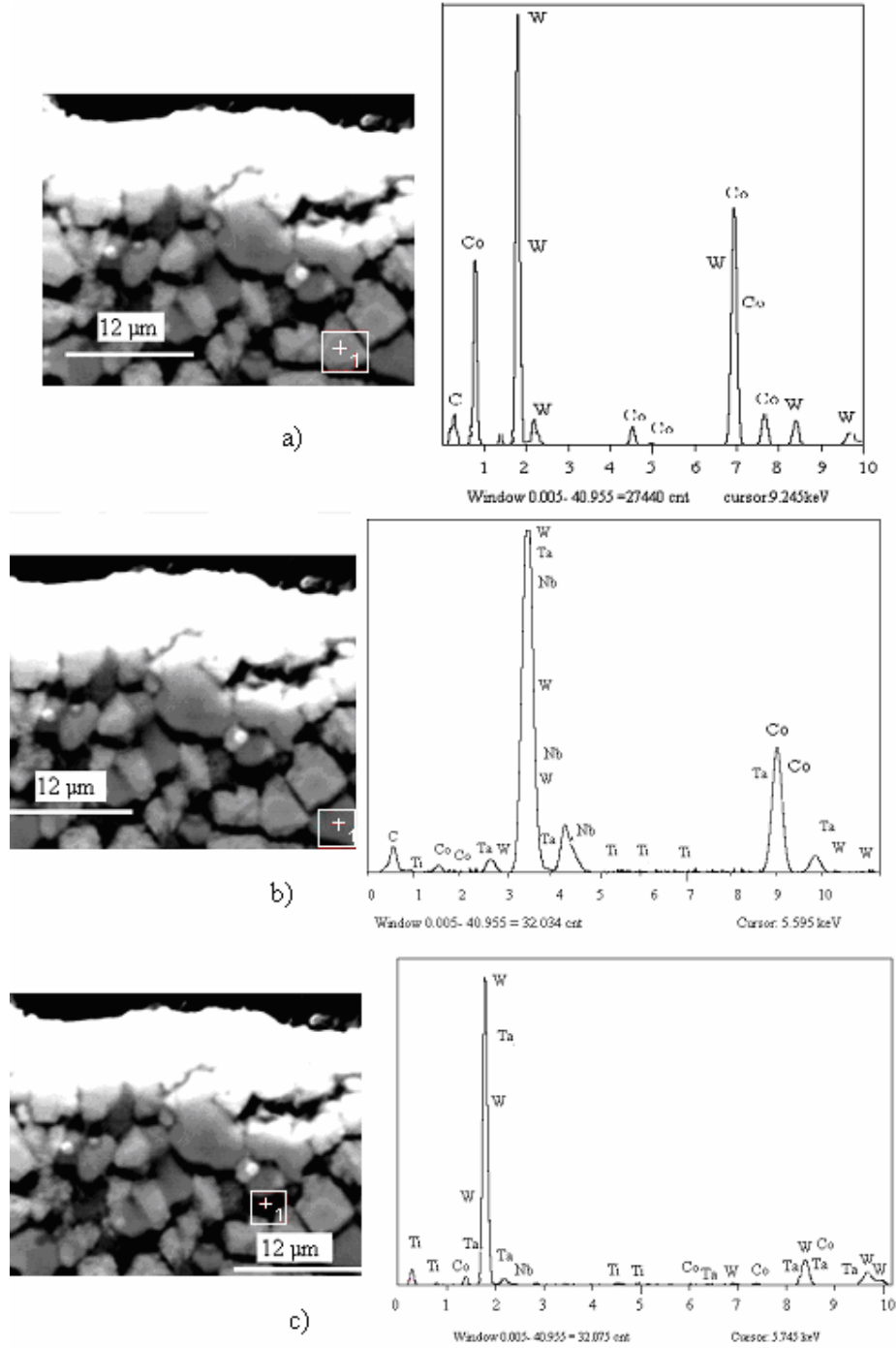


Şekil 5.10. Reaksiyon sıcaklığı 1100° C olan numunenin 4 saat süre ile termokimyasal borlama işlemi sonrası genel görüntüsü

Bu da matriks içerisinde Ni ve Ti'un karbürlerinin mevcudiyetini göstermektedir. Şekil 5.11 (c)'deki siyah faz, W, Co, Ti ve Ta elementlerini içermektedir.

Şekil 5.11 (c)'deki EDS analizleri, güçlü bir şekilde siyah fazın çoklu Co ve W borür bileşenleri olabileceğini göstermektedir. Bu fazlar büyük olasılıkla  $W_2CoB_2$  veya WCoB dür. Hem Sinha [27] hem de Zahariev'in [26] rapor ettiğine göre  $W_2CoB_2$  ve WCoB fazları çekme kalıpları, Brozar-HM kullanılarak termokimyasal olarak borlanmış ISO K10 türü WC-Co parçalarda ve  $B_4C$  tozlarında bulunmuştur.





Şekil 5.11. Reaksiyon sıcaklığı 1000° C olan numunenin 4 saat süre ile termokimyasal borlama işlemi sonrası borlanmış WC-Co numunenin yüzey bölgelerinde ayrı şekilde görülebilen farklı fazların EDS analizleri. Küçük kareler analizlerin yapıldığı yerleri göstermektedir a) WC partikülleri b) Ta(Nb)C c) yeni oluşmuş fazın Co, W ve Ta ile karşılaştırılması

## 5.5. Mekanik Karakterizasyon Çalışmaları

İşleme amaçlı kullanılan kesici takımların mekanik olarak karakterize edilmesinde bir çok karakterizasyon yöntemi kullanılmaktadır. Bununla birlikte en çok kullanılan ve çalışma performansının bir göstergesi olarak kabul edilen karakterizasyon yöntemleri; aşınma deneyi, kesme kuvveti ölçüm deneyi ve işlenen iş parçasının yüzey pürüzlülüğü ölçümüdür.

### 5.5.1. Aşınma davranışları

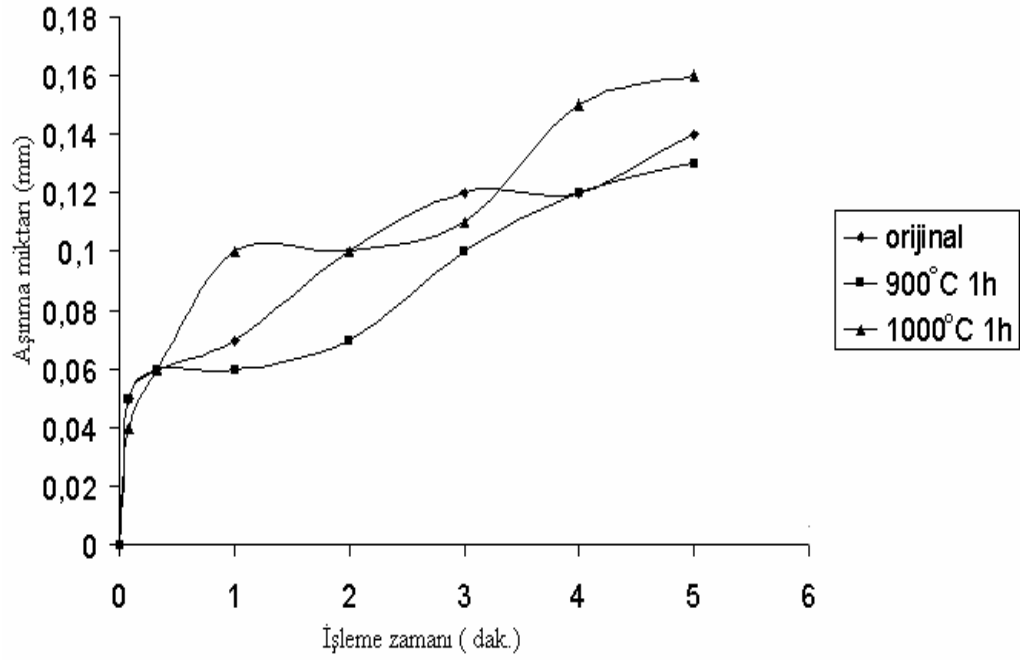
12x12x4mm ebatlarındaki kaplanmış WC –Co bazlı kesici takımlar ve kaplanmamış WC –Co bazlı kesici takımlar torna tezgâhına bağlanmıştır. Tablo 5.2’ de kimyasal bileşenleri verilen ve sertliği 145 HV olan 41mm çapında AISI 1010 çeliği 0.5 talaş derinliğinde, 1000 dev/ dk hızda ve 0,09 mm/dev ilerleme ile işlenerek kesici takım üzerindeki aşınmalar mikroskopta incelenmiş ve aşınma miktarları ölçülmüştür.

Tablo 5.2 İşleme tabi tutulan AISI 1010 çeliğinin kimyasal bileşenleri

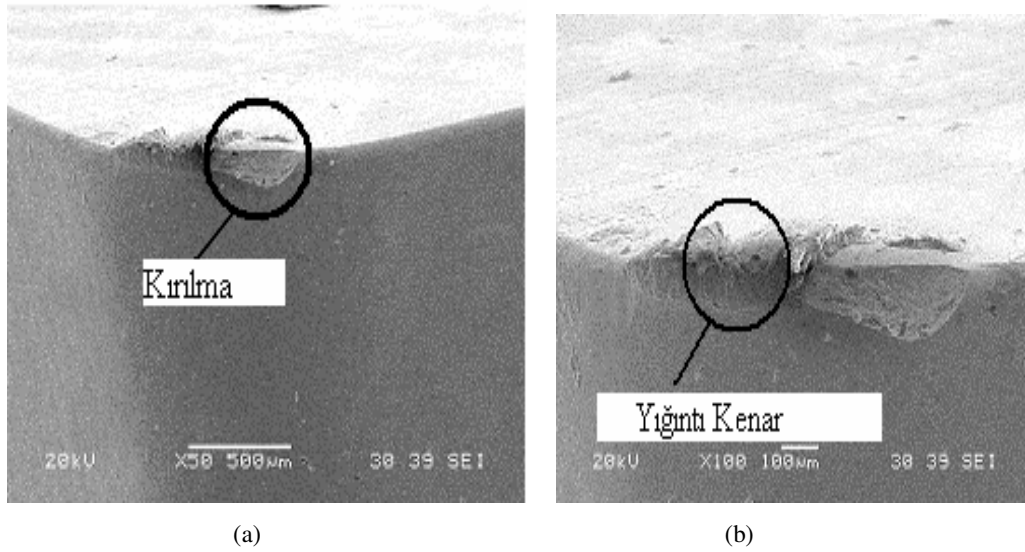
% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Cr	% Mo	% Ni	% Cu	% Al
0,13	0,23	0,48	0,012	0,024	0,01	0,023	0,02	0,015	0,02

Şekil 5.12’de ölçülen değerlere bakıldığında kaplanmış kesici uçların 5 dakikalık kesme testi neticesinde kaplanmamış kesici uçlardan daha fazla aşındığı gözlemlenmiştir. Grafiklere bakarak yorumlanacak olursa kaplama sıcaklığının artmasıyla karbürlerin kenarlarında çözünme başlamış olması aşınmayı olumsuz etkilemiştir diyebiliriz.

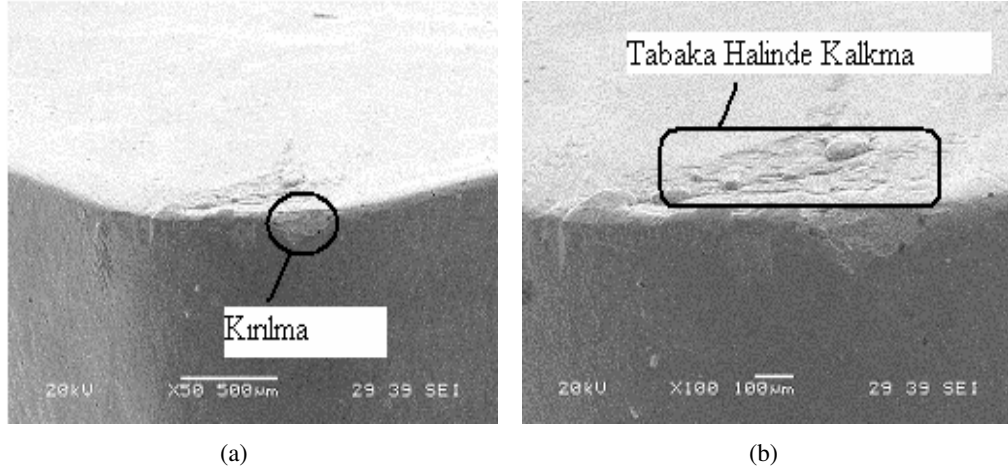
Şekil 5.14 – 15’e bakıldığında kesici takım aşınması genelde kırılma ve tabaka halinde kalkma şeklinde görülmüştür. Aşırı kırılğan yapının buna sebep olduğu düşünülmektedir.



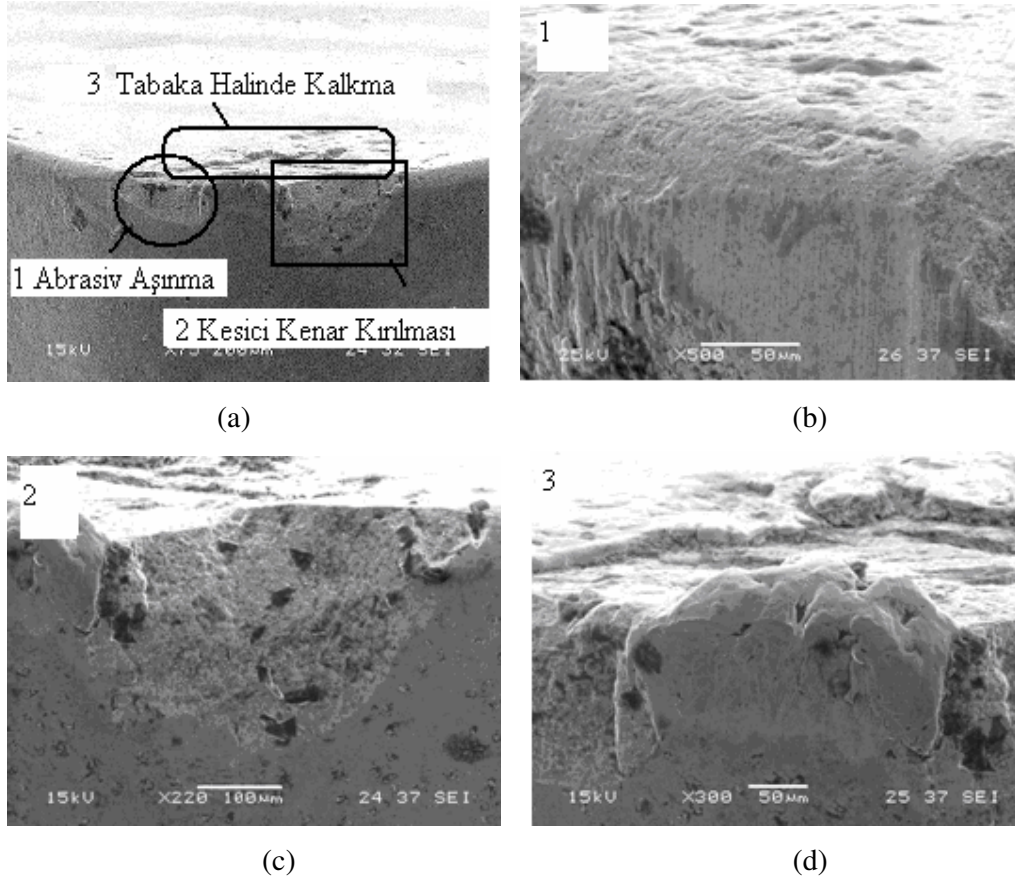
Şekil 5.12. Borlanmamış ve reaksiyon sıcaklığı 900 – 1000°C 1 saat süre ile termokimyasal borlama işlemi sonrası kaplanmış WC- Co kesici takımın aşınma grafiği



Şekil 5.13. AISI 1010 çeliğinin işlem görmemiş kesici uç ile işlenmesi neticesinde oluşan burun kırılması(a) ve yığıntı kenar oluşumu(b).



Şekil 5. 14. AISI 1010 çeliğinin 900 °C 1 saat süre ile borlanmış kesici uç ile işlenmesi neticesinde oluşan burun kırılması (a) ve tabaka halinde kalkma (b)

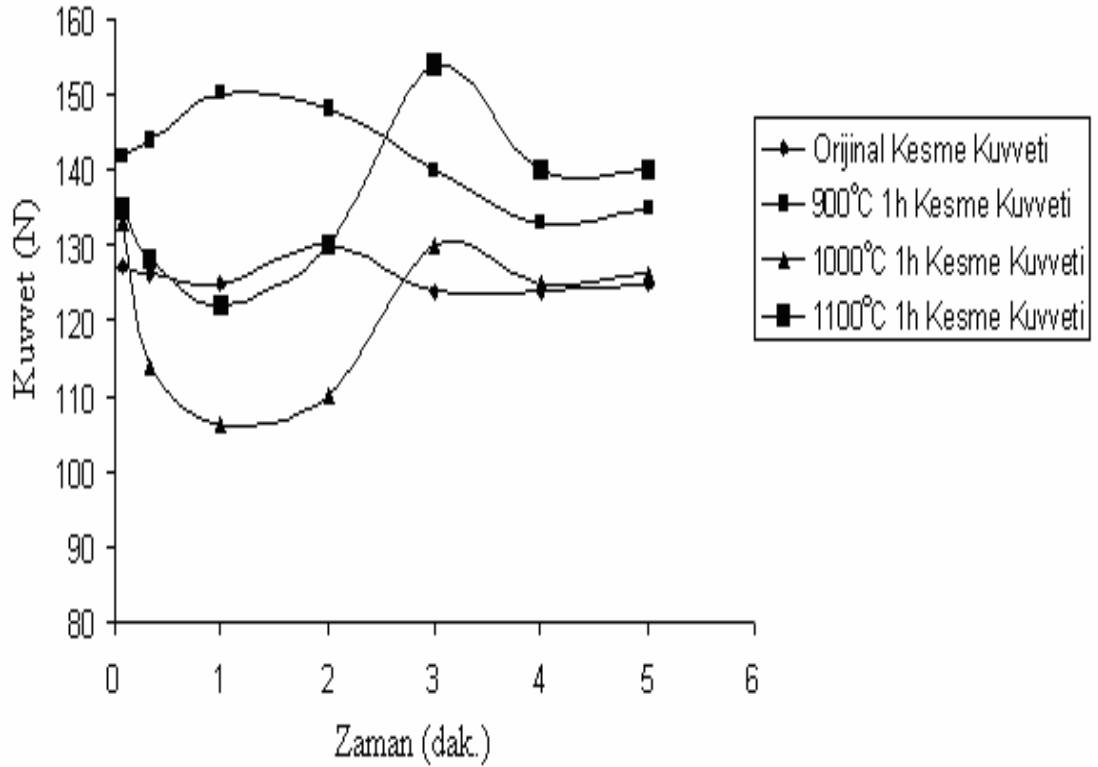


Şekil 5. 15. AISI 1010 çeliğinin 1000 °C 1 saat süre ile borlanmış kesici uç ile işlenmesi neticesinde oluşan kesici kenar kopması(c), yardımcı kenar aşınması(b) ve krater aşınması (d).

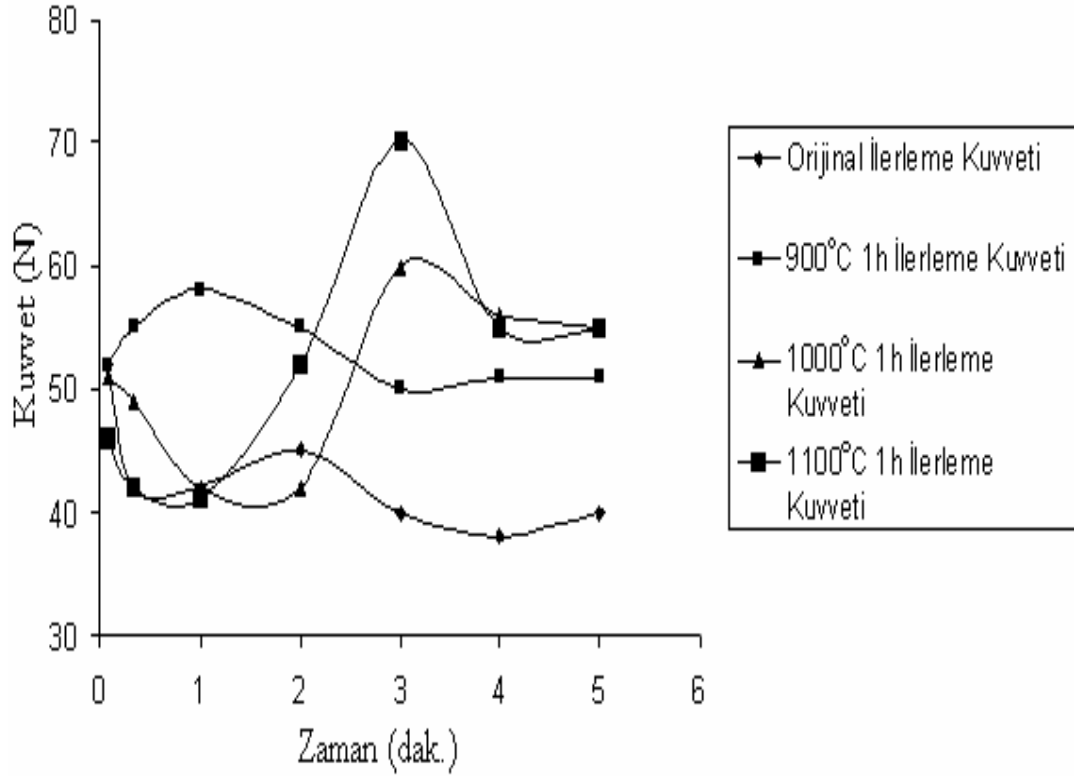
### 5.5.2. Kesme kuvveti ölçümleri

12x12x4mm ebatlarındaki kaplanmış WC –Co bazlı kesici takımlar ve kaplanmamış WC –Co bazlı kesici takımlar torna tezgâhına bağlanmış Tablo 5.2’ de kimyasal bileşenleri verilen ve sertliği 145 HV olan 41mm çapında AISI 1010 çeliği 0.5 talaş derinliğinde, 1000 dev/ dk hızda ve 0,09 mm/dev ilerleme ile işlenerek kesici takım üzerine gelen kuvvetler dinamometre ile bilgisayar ortamında ölçülmüştür.

Şekil 5.16’ya bakıldığında yapılan kesme ölçüm deneylerinde kaplanmış kesici uçların kesme kuvvetleri, kaplanmamış kesici takıma göre %10 daha yüksek çıkmıştır. Bu artışı kaplanan kesici takım uç profilindeki yüksek sıcaklık nedeni ile oluşan geometrik değişiklik neticesinden kaynaklana bileceği tahmin edilmektedir.



Şekil 5.16. Borlanmamış, 900° C, 1000° C ve 1100° C 1 saat süreyle borlanmış WC- Co kesici ucun zamana bağlı kesme kuvvetleri

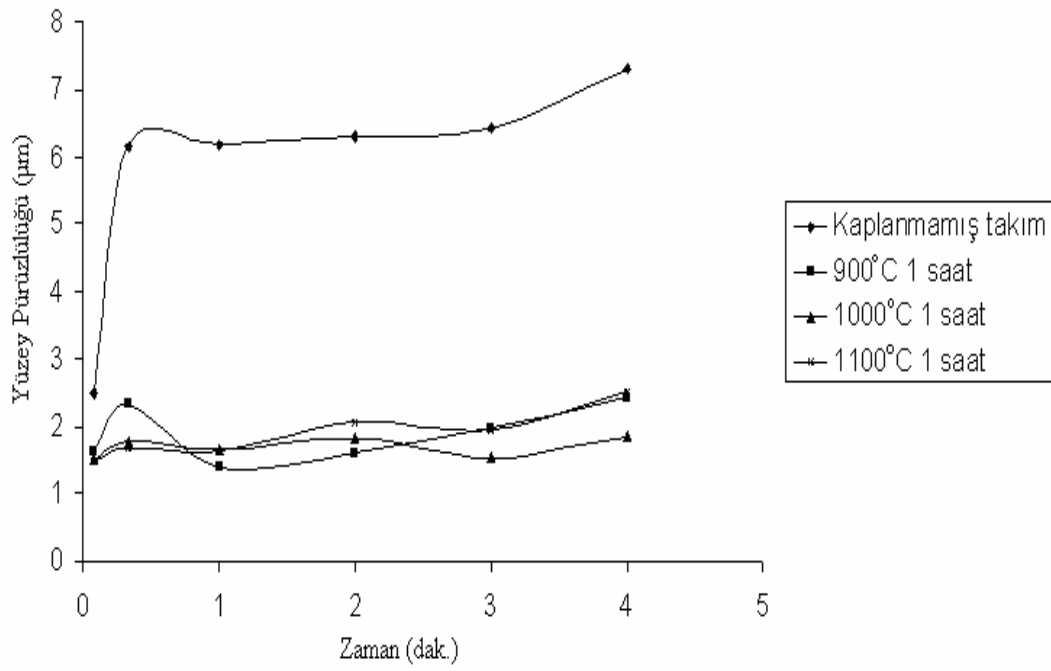


Şekil 5.17. Borlanmamış, 900° C, 1000° C ve 1100° C 1 saat süreyle borlanmış WC- Co kesici ucun zamana bağlı ilerleme kuvvetleri

### 5.5.3. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri

Kaplanmış WC –Co bazlı kesici takımlar ile kaplanmamış WC –Co bazlı kesici takımlar torna tezgâhına bağlanmış Tablo 5.2’ de kimyasal bileşenleri verilen 41mm çapında AISI 1010 çeliği; 0.5 talaş derinliğinde, 1000 dev/ dk hızda ve 0,09 mm/dev ilerleme ile işlenmiş bu işleme sonrasında iş parçasındaki yüzey pürüzlülük değerleri belirli zaman aralıklarında ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.18’e bakıldığında yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde iyi sonucu veren değerler kaplanmış uçlarda görülmektedir. Kaplanmış uç ile yapılan işlemede işlenen malzemenin yüzey pürüzlülüğü değerinde yaklaşık %56 oranında bir iyileşme gözlenmiştir.



Şekil 5.18. Kaplanmamış ve kaplanmış WC- Co kesici ucu ile işlenen AISI 1010 çeliğinin yüzey pürüzlülüğü

## BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 6.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, ISO P25, WC –Co bazlı kesici takımlar sırasıyla 900°C, 1000°C ve 1100°C sıcaklıklarda 1- 2- 4 saat sürelerde borlama işlemine tabi tutulmuştur. Borlama işlemi sonrasında oluşan borür tabakalarının morfolojileri, optik ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla incelenmiştir. Ayrıca borür tabakalarının zaman ve sıcaklığa bağlı olarak kalınlıkları ve yüzeyden itibaren matrise doğru sertlik dağılımları ölçülmüştür. Kaplanan takımlar talaş kaldırma testlerine tabi tutularak aşınma davranışı incelenmiştir.

- Sertlik ölçümleri sonucunda elde edilen yüksek sertlik değerleri  $CoW_2B_2$ ,  $W_3CoB_3$ ,  $CoWB$  gibi çok bileşenli borür fazlarının oluşumundan kaynaklanmaktadır. Difüzyon bölgesindeki sertlik değeri, ana matrise kıyasla ortalama 2.5 kat artırmıştır.
- Yapılan borlama işlemi sonrasında oluşan borlanmış bölgenin kalınlığı işlem süresi ve sıcaklığının artmasıyla artmaktadır.
- Borlanmış malzemede üç farklı bölgenin varlığı görülmektedir. Bu bölgeler; borlanmış bölge (a), geçiş bölgesi (b) ve altlık (c) olarak tanımlanabilir.
- Kaplanan kesici takım yapısındaki WC tanecikleri sıcaklık ve sürenin artmasına bağlı olarak çözüldükleri tespit edilmiştir. 1100 °C de yüksek oranda şekil bozukluğu ve çözülmeye uğradıkları belirlenmiştir.



- 900 °C kaplanan takım ilk 5 dakikalık kesme periyodunda kaplanmamış ve 1000 °C kaplanmış takımlara nazaran daha düşük bir aşınma oranı göstermiştir. Son iki takım aşınma oranları arasında önemli bir fark olmadığı gözlenmiştir.
- Aşınma deneyinde takım aşınması genelde kırılma ve tabaka halinde kalkma şeklinde görülmüştür. Aşırı kırılğan yapının buna sebep olduğu düşünülmektedir.
- Yapılan ölçümlerde, kaplanmış kesici uçların kesme kuvvetleri, kaplanmamış kesici takıma göre %10 daha büyük çıkmıştır.
- Mikro yapıda daha çok WC ve Co reaksiyona girerken TiC ve Ta(Nb)C taneciklerinin nispeten daha az reaksiyona girdiği görülmüştür. Buna delil olarak TiC ve Ta(Nb)C taneciklerinin düşük oranda şekil bozuklukları sergilemeleri gösterilebilir.
- Yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde kaplanmış uçlar daha iyi sonuç vermiştir. Kaplanmış uç ile yapılan deneylerde işlenen malzemenin yüzey pürüzlülüğünde ortalama %56 oranında bir iyileşme görülmüştür.

## 6.2. Öneriler

- Farklı talaş kaldırma şartları uygulanarak takımların aşınma davranışları, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri detaylı olarak incelenebilir.
- Borlama işlem şartları değiştirilerek, farklı sıcaklık, zaman ve banyo ortamının etkisi araştırılabilir.
- Borlama işlemi, farklı kesici takım malzemelerine de uygulanabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] HOLMBERG, K., MATTHEWS, A., Coating Tribology, Elsevier Science B. V., pp.1-33, 1994
- [2] KULAKSIZ, Ö., ÇAKIR, Ö., Metal Meslek Bilgisi, MEB, Ajans- Türk Matbaacılık Sanayi A.Ş., Ankara 1995
- [3] ŞAHİN, N., Tesviyecilik Meslek Teknolojisi 3, Kozan ofset, Ankara, 2000
- [4] ŞEN, Ş., Termokimyasal Borlama İşlemiyle AISI 5140, AISI 4140 ve AISI 4340 Çeliklerinin Yüzey Performanslarının Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Kasım 1998
- [5] ÖZBEK, İ., Borlama Yöntemiyle (AISI M50, AISI M2) Yüksek Hız Çeliklerinin ve AISI W1 Çeliğinin Yüzey Performanslarının Geliştirilmesi, Doktora Tezi, 1998
- [6] ŞAHİN, S., BAYÇA, S., Borlama, Mühendis ve Makine, Mayıs 2004, Sayı 532
- [7] <http://www.etibor.com.tr>
- [8] <http://www.odevsitesi.com.tr>
- [9] KARAKAN, M., ALSARAN, A., Plazma Borlama, Mühendis ve Makine, Eylül 2002, Sayı 512
- [10] ÖKTEM, Z., Takım Çeliklerinin Termoreaktif Difüzyon Yöntemiyle Vanadyum Karbür Kaplanması , Doktora Tezi, Ekim 1997
- [11] ÖZKAN, Ö., İPEK, M., Kesici Takım Malzemeleri, Mühendis ve Makine, Mayıs 2003, Sayı 532

- [12] GÖKNİL, A., Kesici Takımların Tuz Banyoları, Koruyucu gaz atmosferli Fırın ve Vakum ocaklarında Isıl İşlemi, Metal Dünyası Dergisi, Haziran 1995
- [13] AKKURT, M., Takım Tezgahları Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Teknolojisi, Gayrettepe, Haziran 1985
- [14] ŞAHİN, Y., Talaş Kaldırma Prensipleri 2, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara 2001
- [15] ŞAHİN, Y., Talaş Kaldırma Prensipleri 1, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara 2000
- [16] 'Properties and Selection Nonferrous Alloys and Special- Purpose Materials', ASM HANDBOOK, Volume 2
- [17] AVUNCAN, G., Talaş Kaldırma Ekonomisi ve Kesici Takımlar, Makine Takım Endüstri A.Ş. Mayıs 1998
- [18] KRAR, S., OSWALD, J., Technology of Machine Tools, 4<sup>th</sup> Edition, International Edition 1991
- [19] ÇAKIR, C., Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri, Vipaş A.Ş., Bursa 2000
- [20] GÜVEN, A., ÖZCAN, M., Sade Karbonlu Çeliklerin Mineral Ortamlarda Abrasif Aşınmasında Malzeme Sertliğinin Aşınma Üzerine Etkisi, Mühendis ve Makina, Cilt 46, Sayı 545
- [21] TRENT, E.M., Metal Cutting, Buuerworth Heinemann, 1991
- [22] YALÇIN, B., ÖZSOY, A., Tornalama Kesici Takımlarda Aşınma Davranışlarının İyileştirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7-1 (2003) 52-57
- [23] PAMİR, C., Teknoloji, MEB, İstanbul 1969
- [24] ŞAHİN, Y., İmal Usulleri, Gazi Kitabevi Haziran 2003
- [25] DAVIS, J. R., Tool Materials, ASM SPECIALTY HANDBOOK, 2<sup>th</sup> Edition, Haziran 1998

- [26] ZAHARIEV, Z. T., MARINOV, M. I., J. Alloys Comp. 201 (1993) 1
- [27] SINHA ,A.K., ASM Handbook, 3<sup>rd</sup> edition, 1991, p 437
- [28] ZAHARIEV, Z., PETROV, K., CHRISTOV, M., J. Less Common Met. 82 (1981) 57.
- [29] MERCURIO, D., PETROV K., PESHEV, P., ZAHARIEV Z., J. Less Common Met. 67 (1979) 59.

## ÖZGEÇMİŞ

27- 03-1980 yılında ERZURUM'da doğmuştur. İlk öğrenimini ERZURUM'da ve orta öğrenimini SAKARYA'da tamamlamıştır. 1999 yılında Dumlupınar Üniversitesi Simav Teknik Eğitim Fakültesi Talaşlı Üretim Öğretmenliğini kazanmıştır. 2003 yılında şeref öğrencisi ünvanıyla mezun olduktan sonra aynı yıl Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde İngilizce hazırlık sınıfını başarıyla tamamlayarak Makine Eğitimi bölümünde Yüksek Lisans'a başlamıştır.

Halen Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi bölümünde lisansüstü çalışmalarını devam ettirmektedir.