



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Termokimyasal Yöntemle Bor ve Titanyum kaplı AISI D2 Kesici Takımlarının Kaplama Özelliklerinin ve Talaşlı İşlem Kabiliyetinin İncelenmesi

 Şenol ERTÜRK^{a,*},  Fehmi ERZİNCANLI^a

^a Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: senol14118@ogr.duzce.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.519356

ÖZET

Talaş kaldırma işlemlerinde kullanılan kesici takımların ömürleri aşınma nedeniyle sınırlıdır. Bu nedenle kesici takımların aşınma direncinin artırılması ekonomik kayıpların en aza indirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Uygulanan farklı kaplama yöntemleriyle, takımlar çok daha sert bileşiklerden oluşan malzemelerle kaplanıp aşınma direnci geliştirilebilmektedir. Kaplama sayesinde bir yandan takım sertliği artarken diğer taraftan tokluğu muhafaza edilebilmesi önemli bir avantajdır. Bu çalışmada AISI D2 çeliğinden üretilmiş kesici takımlar termo-reaktif difüzyon yöntemi ile 1 saat boyunca 950 °C ve 1050 °C de borla ve titanyumla kaplanmıştır. Kaplanan numuneler, SEM, x ışını, EDS analizi ve mikrosertlik testi yapılarak karakterize edilmiştir. Numunelerin aşınma direncini ve tornada işlenmiş yüzey pürüzlülüğünü gözlemek için talaş kaldırma testleri yapılmıştır. Talaş kaldırma deneyleri, DIN 1651 otomat çeliği üzerinde gerçekleştirilmiştir. Silindirik tornalama testlerinin uygulandığı çalışma da 38-73-138 m/dk ve 0,08, 0,12, 0,16 mm/dev olmak üzere üç farklı kesme hızı ve ilerleme değeri kullanılmıştır. Sonuçlar, borlama ve titanyumlama işlemleri uygulanan takımın sadece borlanan takıma göre %50 oranında daha iyi performans sergilediği göstermiştir. Yüzey pürüzlülüğü açısından genel olarak kaplanmış ve kaplanmamış takımlar arasında önemli bir fark olmadığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Termo-kimyasal kaplama, Borlama, Titanyumlama, Takım aşınması, Yüzey pürüzlülüğü

Investigation of Coating Properties and Machining Capability of Boron and Titanium Coated AISI D2 Cutting Tools by Thermochemical Method

ABSTRACT

The life of cutting tools used in machining operations is limited due to wear. Therefore, increasing of wear resistance of cutting tools is very important for minimizing the economic losses. By applying different coating techniques, tool materials can be coated with much harder compounds in order to increase wear resistance. Thanks to the coating, it is an important advantage on the one hand while increasing tool hardness, on the other hand to retain toughness. In this study, cutting tools made of AISI D2 steel are coated with boron and titanium at 950 °C and 1050 °C for 1 hour by thermo reactive diffusion method. The coated samples were characterised by SEM, X-ray diffraction, EDS analysis and micro hardness testing. Machining tests were carried out to observe wear resistance of the samples and machined surface roughness on a lathe. The machining tests were performed on DIN 1651 steels. Cylindrical turning tests are applied in the study, 38-73-138 m/min and 0,08, 0,12, 0,16 mm/rev three different cutting speeds and feed rate were used. The results showed that boronized and titanized samples exhibited approximately 50 % better performance than the samples which is only boronized. Generally, in terms of surface roughness, no significant differences were observed among the results of coated and uncoated samples.

Keywords: Thermo-chemical coating, Boronizing, Titanizing, Tool wear, Surface roughness

I. GİRİŞ

Mekanik parçaların maruz kaldığı aşınma ve korozyon, önemli ölçüde ekonomik kayıba sebep olmaktadır. Bu nedenle, zor şartlarda çalışan mekanik parçaların ekonomik ömürlerinin uzatılması amacıyla dış yüzeylere uygulanabilen farklı kaplama tür ve yöntemleri geliştirilmiştir [1]. Yüzey işlemleri, sertlik, yorulma, aşınma, korozyon, ısıl şok direnci gibi mekanik ve tribolojik özelliklerin bir veya birkaçını geliştirmek amacıyla uygulanmaktadır. Bu özellikler arasında parçanın aşınma ve korozyon direncinin artırılması yaygınlık ve önem açısından ilk sıralarda yer almaktadır. Kesici takımlarda ve sürtünerek çalışan makine elemanlarında ortaya çıkan aşınma problemlerini azaltmak için birçok yüzey iyileştirme işlemi uygulanmaktadır [2].

Borlama yüksek sıcaklıklarda difüzyona dayalı kimyasal reaksiyonla gerçekleşen bir yüzey sertleştirme işlemidir. Çelik esaslı malzemelere uygulandığında malzeme yüzeyinde sert borür tabakaları oluşur [3, 4]. Borlanan yüzeylerde genellikle yüksek aşınma ve düşük sürtünme direnciyle karakterize edilen FeB/Fe₂B/TiB/CrB/Cr₂B₃ gibi bileşikler oluşturularak çok iyi abrasif ve adhesif aşınma direnci elde edilmektedir [5]. Buna ilaveten, borlanan yüzeyler seyreltilmiş asidik ve alkalik ortamlara karşı da yüksek korozyon/erozyon direnci sergileyebilmektedir [6]. Borlama işlemi sonrasında istenirse çeliklere ısıl işlem de uygulanabilmektedir.

Günümüzde kesici takımların kaplanması fiziksel buhar biriktirme (PVD) ve kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemleri seri üretimde büyük firmalarca yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat bu sistemlerin yüksek mali yatırım gerektirmesi bir dezavantaj teşkil etmektedir. Buna karşın, termo reaktif difüzyon (TRD) yöntemi nispeten basit ve ekonomik bir kaplama yöntemi olup çelikler üzerinde sert ve korozyon direnci yüksek kaplamaların elde edilmesine imkan vermektedir [7]. Titanyum, vanadyum, tantalum, molibden gibi sert bileşik oluşturabilen metallere ait borür, nitrür, karbür, karbo-nitrür ve bor-nitrür bileşiklerinden meydana gelen kaplamalar uygulanabilmektedir. İşlem sonrasında elde edilen sert seramik katmanlar altlık malzemeyle reaksiyon sonucu meydana geldiğinden, metalürjik olarak birbirine bağlanmış yüksek mukavemetli altlık ve kaplama ara yüzeyi oluşur [8].

Birçok araştırmacı, farklı kaplamalar kullanarak etkilerini incelemişlerdir. Kolla Meheresh Gupta ve arkadaşları [9] üç tip PVD kaplı kesici takım (TiN, AlCrN ve TiAlN) geliştirmiş ve bu takımların kesme performansı C45 çeliğinin tornalamasında incelenmiştir. M. Staszuk ve arkadaşları [10] ALD+PVD hibrit kaplama malzemesi yapısının kaplama özellikleri üzerindeki etkisini belirlemişlerdir. Guangming Zheng ve arkadaşları [11] kesme parametrelerinin takım aşınma davranışı ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisine odaklanmıştır. Kaplamalı karbür aracı ile kesme parametreleri deneysel incelenmiştir [12-14]. Çalışmada tek veya çok katmanlı kaplamalı kesici takımın aşınma mekanizması, yapışma, ufalanma, yorulma, difüzyon, oksidasyon parametreleri incelenmiştir. Çalışmada tek veya çok katmanlı kaplamalı kesici takımın aşınma mekanizması, yapışma, ufalanma, yorulma, difüzyon, oksidasyon parametreleri incelenmiştir.

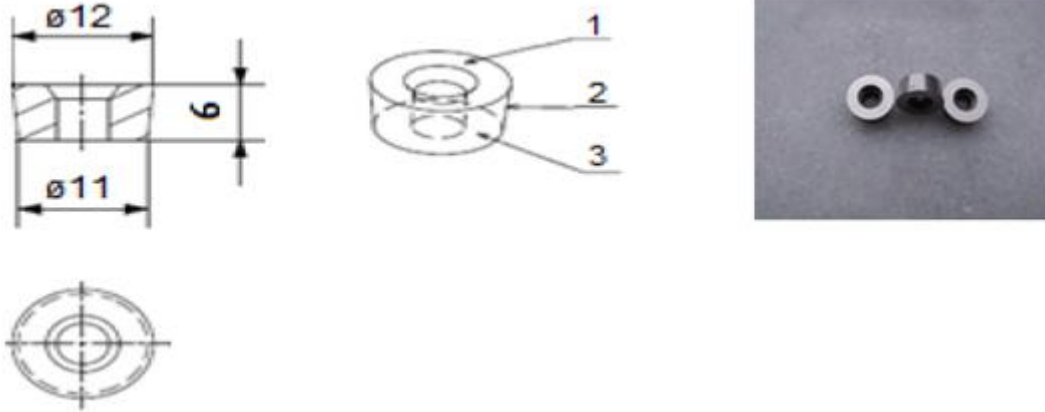
Bu çalışmada AISI D2 çeliği, düşük maliyeti, kolay bulunabilirliği ve özelliklerinden dolayı Termokimyasal kaplamaya uygun bir çelik olduğu için bu çelikten üretilen kesici takımlar TRD yöntemiyle borlama ve titanyumlama işlemine tabi tutularak elde edilen kaplamanın karakterizasyonu yapılmıştır. Daha sonra, talaş kaldırma testleri uygulanarak, kaplanan ve kaplanamayan numunelerin aşınma davranışları deneysel olarak incelenmiştir.

II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

A. AISI D2 KESİCİ TAKIM NUMUNELERİ

Deneylerde kullanılan kesici takım numuneleri, dairesel kesitli AISI D2 çeliğinden Şekil 1’de görülen geometri ve ölçülerde kesici takım olarak kullanılabilecek şekilde üretilmiştir. Numuneler üzerinde

homojen bir kaplama tabakası elde edebilmek için 1, 2 ve 3 nolu yüzeyler taşlandıktan sonra 1200 grit zımpara ile parlatılmıştır.



Şekil 1. AISI D2 kesici takım numunelerinin geometrik yapıları

D2 çeliğinin ısı ve mekanik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. D2 çeliğinin ısı ve mekanik özellikleri

Özellik	Soğuk iş çeliği (D2)
Sertleştirme (°C)	1190-1230
Menevişleme (°C)	540-570
Menevişlemeden sonra elde edilen yaklaşık sertlik (HRC)	64-66
Oda sıcaklığındaki yaklaşık yoğunluk	8,1 g/cm ³

DeneySEL çalışmada kullanılan AISI D2 çeliğinin spektral analizi Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. AISI D2 takım çeliğinin spektral analizi

Çeliğin Cinsi	Kimyasal Bileşim (% Ağırlıkça)										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	W	V	Fe
AISI D2	1,756	0,271	0,291	0,0353	0,0107	11,560	0,214	0,609	0,0150	1,00	84,106

B. TERMOKİMYASAL YÖNTEMLE BORLAMA İŞLEMİ

Borlama işlemi 1200 °C sıcaklığa çıkabilen $\pm 1^\circ\text{C}$ işlem hassasiyetine sahip elektrikli fırında gerçekleştirilmiştir. İşlemlerde 3 mm kalınlığında AISI 316L paslanmaz çelikten yapılmış $\varnothing 70 \times 100$ mm ölçülerinde ağız kapatılabilen silindirik potalar kullanılmıştır. Borlama katı ortamda gerçekleştirilmiştir. Bor kaynağı olarak Ekabor-2 ve deoksidan olarak Ekrit tozu karışımları kullanılmıştır. Ekabor borlama ürünlerinin özellikleri Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Ekabor borlama ürünlerinin özellikleri [15]

Tip	Tane Boyutu (μ)	Yoğunluk Kompakt (gr/cm^3)	Özellik
EKabor 1	≤ 150	1,80	Yüzey kalitesi en yüksek tabaka için; parça yüzeyine yapışmaya eğilimli
EKabor 2	≤ 850	1,50	Mükemmel yüzey kalitesi: işlem sonrası parçadan kolaylıkla ayrılma
EKabor 3	$\leq 1,400$	0,95	Çok iyi yüzey kalitesi: işlem sonrasında toz akıcılığı hala iyidir
EKabor HM	≤ 150	0,95-1,50	Çok iyi yüzey kalitesi: sert metal, küçük delik ve kalın tabakalar için
EKabor WB	220-350	0,95	Oksijensiz gaz atmosferde, akışkan yatakta borlama için
EKabor Pasta	-	1,90	Daldırma, fırça ile sürme ve püskürtme ile uygulanabilir, inert gaz altında çalışılmalı
EKrit	≤ 420	1,55	Örtü malzemesi, borlama süresince toz borlama ürünlerine oksijen sızmasını önler

Borlama işlemi 950 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 1’de ki ebatlarda hazırlanan kesici takım numuneleri şekil 2’ deki gibi hazırlanan borlama tozu ile doldurulmuş olan potanın içerisine gömülmüş ve potanın kapağı sıkıca kapatılmıştır. Her bir borlama işlemi için yeni toz karışımları kullanılmıştır. Pota içerisine de, numune aralarında ve numune ile pota kenarı arasında en az 12 mm borlama tozu olacak şekilde yerleştirme yapılmış ve işlem sıcaklığına çıkartılmış olan elektrikli fırına yerleştirilmiştir. Borlama sonrası numuneler oda sıcaklığına kadar pota içerisinde soğutulmuşlardır.

Kapak
Şamot
Ekrit= %25
Ekabor 2 =%35
NUMUNELER
Ekabor 2= %25
Ekrit= %15

Şekil 2. Borlama potasının hazırlanması

C. TERMOKİMYASAL YÖNTEMLE TİTANYUMLAMA İŞLEMİ

Titanyumlama işleminde kullanılan kimyasal tozların karışımı ağırlıkça %50 ferro-titanyum, %25 alumina (ticari saflıkta), %15 Amonyum klorür (NH_4Cl) ve %10 naftalin (C_{10}H_8) den oluşmaktadır. Ferro titanyum analizi Tablo 4’ de verilmiştir.

Tablo 4. Ferro-titanyumun kimyasal bileşimi

Malzeme	Ti	Al	Si	P	S	N	C	Mn	Size
Ferro Titanyum	72,80	4,69	0,18	0,006	0,006	0,19	0,20	1,50	10-50 mm

Kaplama potasının tabanına alumina, hemen üstüne kaplama tozu, numune, kaplama tozu, alumina ve çok az naftalin ilavesi ile kapak kapatılmakta ve şamot çamuru ile sızdırmazlık sağlanmıştır (Şekil 3). İşlem sıcaklığına çıkarılan fırına daha önce hazırlanmış olan potalar yerleştirilmiştir. Her deney için toz

karışımı yeniden hazırlanmıştır. Termokimyasal titanyumlama işlemi 1050°C sıcaklıkta 1 saat süreyle gerçekleştirilmiştir. Kaplama işlemi sonrasında numuneler açık atmosferde oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur.

Kapak
Şamot
Al ₂ O ₃
Numuneler Karışım
Al ₂ O ₃

Şekil 3. Titanyumlama potasının hazırlanması

D. MİKROYAPI İNCELEMELERİ

Termo-kimyasal yöntemle borlama ve titanyumlama işlemine tabi tutulan kesici takım numuneleri kesilip bakalite alma işleminden sonra metalografik numune hazırlama teknikleri ile 400–600–800–1000–1200 zımparalarla zımparalama işlemine tabi tutulmuştur. 1200 zımpara ile zımparalama işleminden sonra 0,3 µm 'luk alumina solüsyonla parlatma işlemi yapılmıştır. Daha sonra numuneler %3'lük Nital ile dağlanarak mikroyapılar ortaya çıkarılmıştır. Metalografik olarak hazırlanan numuneler optik mikroskop ile incelenmiştir.

Kaplama tabakasında oluşan fazların ve özelliklerinin belirlenmesinde X- ışını difraksiyon (XRD) analizi kullanılmıştır. Kaplama tabakasındaki elementlerin dağılımını ve morfolojisini incelemek amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve elementler analizi spektrometresi (EDS) yapılmıştır. Her malzemenin farklı borlama ve titanyumlama sıcaklığı ve süresi için mikroyapı görüntüleri elde edilmiştir.

Kaplama tabakalarının ve matrisin sertlik ölçümleri mikrosertlik cihazında 50 g yük altında knoop sertlik ucu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçme işlemleri kaplama tabakasının dış yüzeyinden gerçekleştirilmiştir.

E. TALAŞ KALDIRMA DENEYİ

Kaplanan numunelerle çapı 50 mm olan otomat çeliği üzerinde talaş kaldırma deneyi gerçekleştirilmiştir. Deneyde iş parçası olarak kullanılan DIN 1651 otomat çeliğinin kimyasal bileşimi Tablo 5'de verilmiştir. Talaş kaldırma işlemi, 0,25 mm sabit talaş derinliği kullanılarak her bir deney için iş parçası üzerinde 200 mm boyunda bir mesafe işlenerek gerçekleştirilmiştir. Bu mesafenin ilk 40 mm ve son 40 mm'lik kısımları üzerinde yüzey pürüzlülük ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Böylece takım aşınmasının yüzey pürüzlülüğüne etkisini belirlemek mümkün olmuştur. İşlem sonunda kesici takım serbest yüzeyinde meydana gelen takım aşınması optik mikroskopta ölçülmüştür. Deneyler 7kW gücünde üniversal torna tezgahında 38, 73, 138 m/dk kesme hızlarında ve 0,08, 0,12, 0,16 mm/dev ilerleme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde soğutma sıvısı kullanılmamıştır.

Tablo 5. Deneysel çalışmada kullanılan DIN 1651 otomat çeliğinin kimyasal bileşimi

Malzeme	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
OTOMAT ÇELİĞİ (DIN 1651)	97,9	0,042	<0,05	1,193	0,062	>0,170	0,094	0,010
	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
	0,074	0,001	0,0096	0,0762	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0100
	Pb	Sn	B	Ca	Zr	As		
	0,295	0,0137	0,0105	0,0001	0,0023	0,0142		

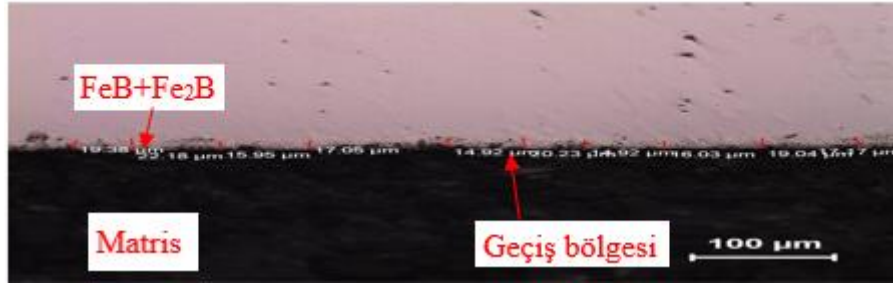
Kesici takım şeklinde hazırlanan kaplamasız, borlanmış ve titanyum kaplı üç farklı kesici takım numuneleri ile otomat çeliğinin tornalanması sonucunda kesme hızı- yüzey pürüzlülüğü ve ilerleme hızı yüzey pürüzlülüğü etkileri incelenmiştir.

Her bir deney için 200 mm boyundaki iş parçası üzerinde ilk 40 mm ve son 40 mm'lik kısımları üzerinde yüzey pürüzlülük ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Böylece takım aşınmasının yüzey pürüzlülüğüne etkisini belirlemek mümkün olmuştur.

IV. DENEY SONUÇLARI

A. BORLANAN KESİCİ TAKIMIN MİKROYAPI ÖZELLİKLERİ

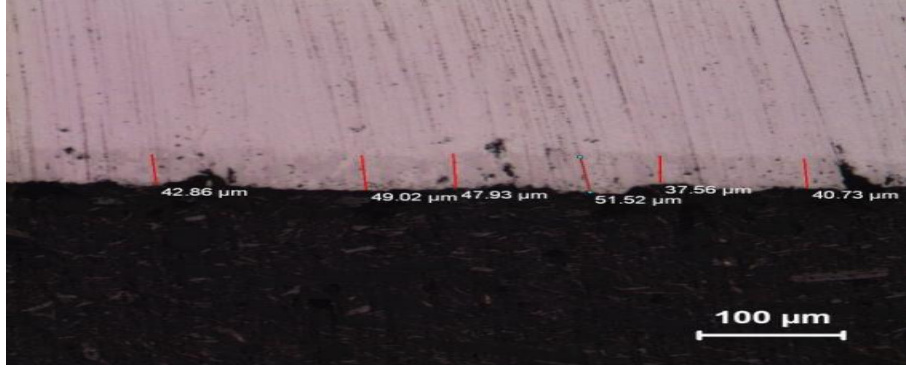
Metalografi teknikleri ile hazırlanan borlanmış AISI D2 kesici takım numunelerinin optik mikroskop incelemeleri neticesinde, kaplama işlemine tabi tutulan bütün kesici takımlarda kaplama tabakası açık bir şekilde görülmektedir. Yüzeyde bir tabaka halinde kaplamanın gerçekleştiği, kaplamanın matristen farklı bir renk arzemesi nedeniyle ayırt edilmiştir. İncelemelerde kaplanan yüzeylerde düz, homojen ve süreklilik arzeden bir tabakanın oluştuğu görülmüştür. Numuneler üzerinde yapılan optik mikroskop incelemeleri sonucunda, kaplama işlemine tabi tutulan bütün numunelerde kaplama tabakası, kaplama-matris arayüzeyi ve matris açık bir şekilde görülmüştür. Oluşan borür tabakasının kalınlığının borlama süresi ve sıcaklığına, çeliklerin bileşiminde bulunan alaşım elementlerine bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Sırasıyla borlanmış bölge, geçiş bölgesi ve altlıktan oluşmaktadır. Çalışmada elde edilen mikroyapı görüntülerinin literatürde yer alan benzer çalışmalarla uyum içinde olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmada AISI D2 numuneler üzerinde 950 °C sıcaklık ve 1 saat sürede gerçekleştirilen borlama işlemi sonucunda, yüzey bölgesinde 15-25 µm kalınlığında borür tabakasının oluştuğu SEM incelemeleri sonucunda tespit edilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. 950 °C sıcaklıkta 1 saat borlanan AISI D2 çeliğinin mikroyapısı

B. TİTANYUMLANAN KESİCİ TAKIMIN MİKROYAPI ÖZELLİKLERİ

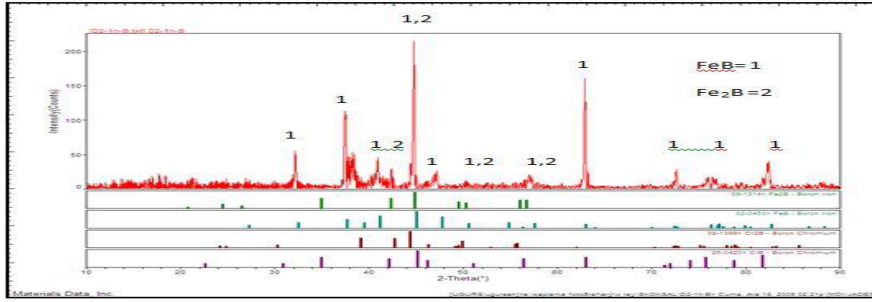
D2 kesici takım numunelerinin borlanmasından sonra aynı numuneler 1050 °C' de 1 saat süre ile titanyum ile reaksiyona sokulmuşlardır. İşlem sonucunda D2 numunelerinde x ışınında yapılan incelemede 1-2 µm titanyumlanmış tabakanın meydana geldiği görülmüştür (Şekil 5).



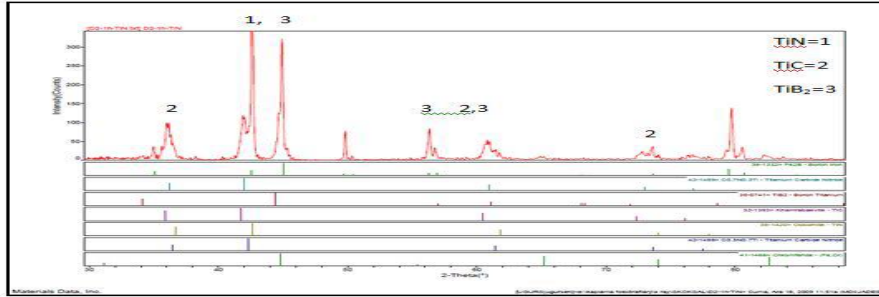
Şekil 5. 950 °C sıcaklıkta 1 saat borlanan ve ardından 1050 °C' de 1 saat titanyumlanan AISI D2 çeliğinin mikroyapısı

C. X IŞINI DİFRAKSİYON ANALİZİ

Kaplama tabakasında oluşan fazları tespit edebilmek için x- ışınları difraksiyon analiz yöntemi kullanılmıştır. D2 numunelerinin X ışını analizi Şekil 6 ve Şekil 7' de sırası ile verilmiştir. X ışını analiz sonucunda, borlanan çeliklerin yüzeylerinde FeB ve Fe₂B borürleri oluşmuştur (Şekil 6), Borlama işleminden sonra titanyumlanan D2 çeliklerinde TiN, TiC, TiB₂ bileşiklerinin varlığı X ışını incelemeleri ile tespit edilmiştir (Şekil 7).



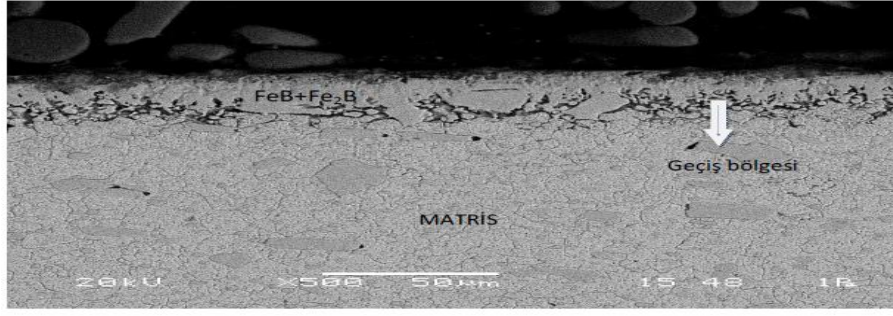
Şekil 6. 950 °C sıcaklıkta 1 saat borlanan AISI D2 çeliğinin x- ışını analizi



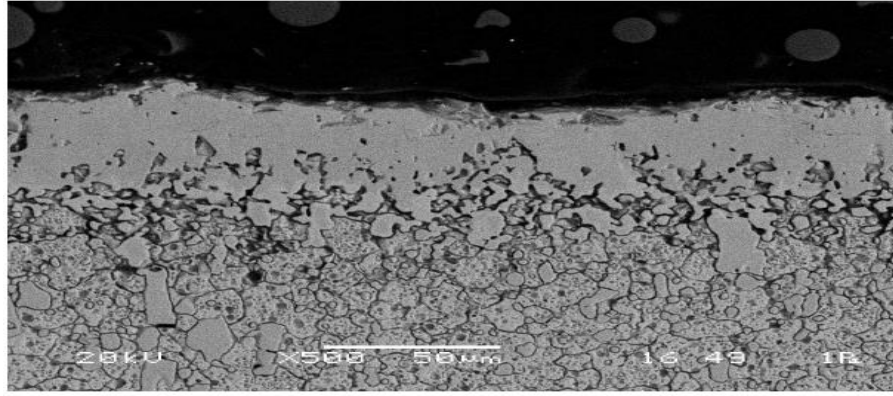
Şekil 7. 950 °C sıcaklıkta 1 saat borlanan ve ardından 1050 °C'de 1 saat titanyumlanan AISI D2 çeliğinin x- ışını analizi

D. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) İNCELEMESİ

Taramalı elektron mikroskobu ile kaplanmış D2 çeliklerinin yüzeyinde oluşan kaplama tabakasının yapısı ve elementlerin tabaka içerisinde lineer dağılımları incelenerek bazı bölgelerin noktasal analizleri gerçekleştirilmiştir. Genel olarak kaplama tabakasının dış yüzeyinin koyu renkli olarak görülen FeB fazından, iç kısımlarda daha açık renkli Fe₂B fazından meydana geldiği görülmektedir (Şekil 8, 9).

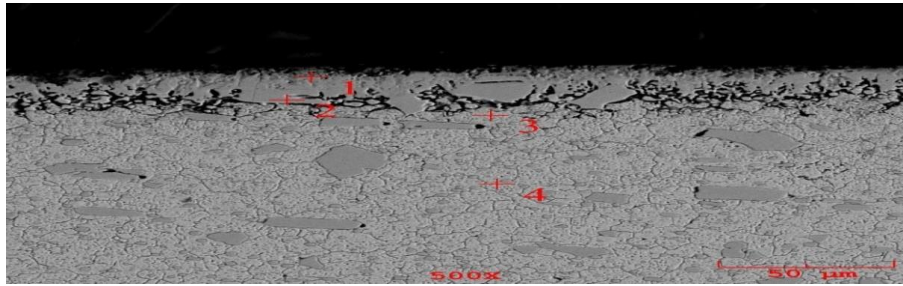


Şekil 8. 950 °C sıcaklıkta 1 saat borlanan AISI D2 çeliğinin SEM-BEI görüntüsü

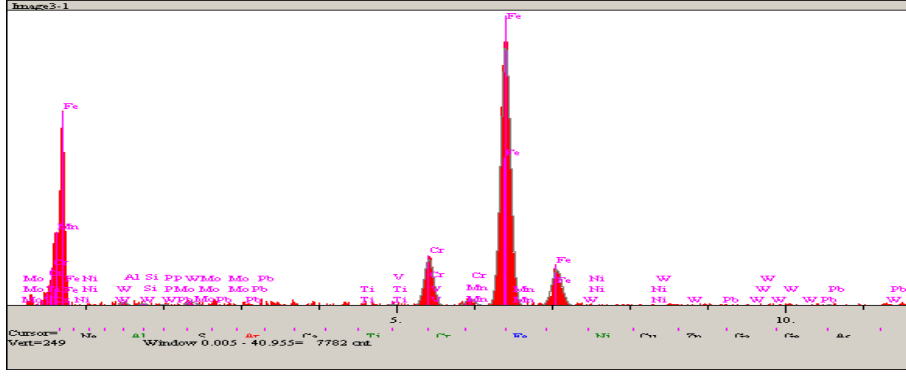


Şekil 9. 950 °C sıcaklıkta 1 saat borlanan ve ardından 1050 °C'de 1 saat titanyumlanan AISI D2 çeliğinin SEM-BEI görüntüsü

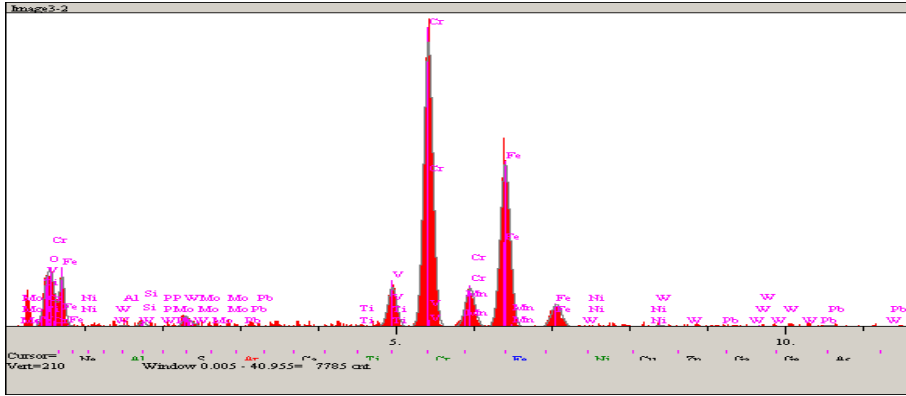
Borlanan ve ardından titanyumlanan D2 çeliklerinin bazı bölgelerinden noktasal analizleri alınarak kaplama tabakası içerisinde bulunan elementler incelenmiştir (Şekil 10-18). Yapılan incelemelerde numunelerin yüzeylerinde titanyum oranlarının düşük olduğu görülmüştür. Bunun nedeni kaplamadaki titanyum oranından, kaplama sıcaklığından ve kaplama süresinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Oluşan borür tabakasının kalınlığının da borlama süresi ve sıcaklığına, çeliklerin bileşiminde bulunan alaşım elementlerine bağlı olarak değiştiği görülmüştür.



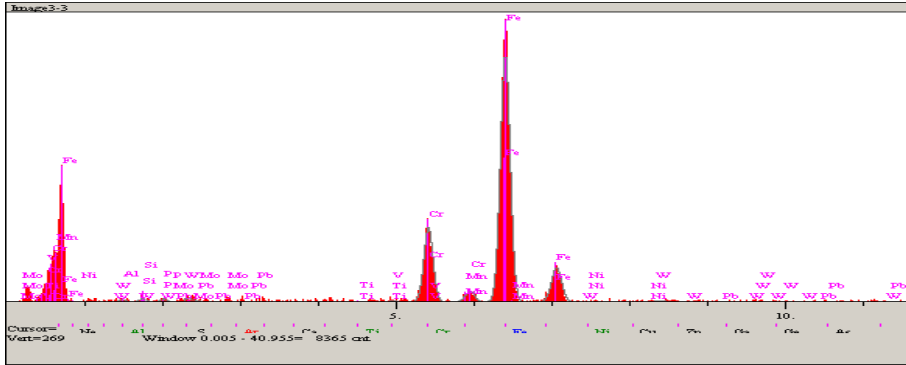
Şekil 10. 950 °C sıcaklıkta 1 saat borlanan AISI D2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinde lineer analiz alınan bölgeler



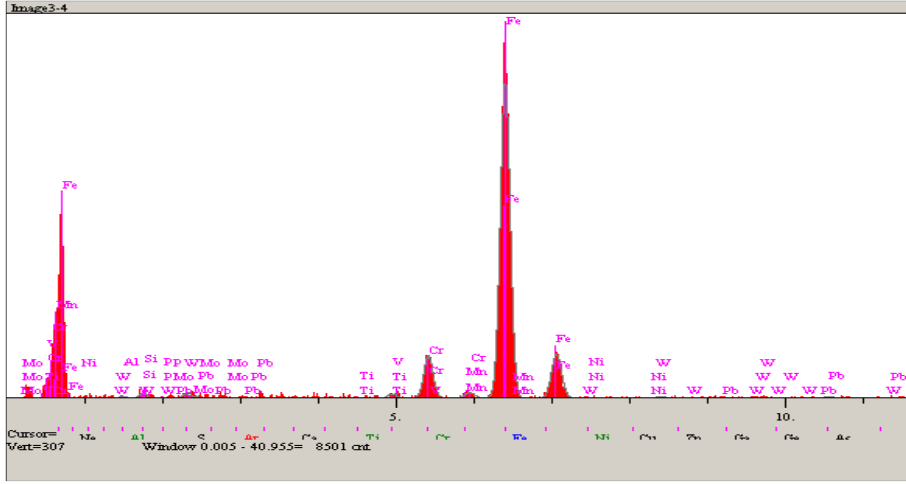
Şekil 11. 950 °C sıcaklıkta 1 saat borlanan AISI D2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinden alınan 1. Noktanın noktasal analiz diyagramı



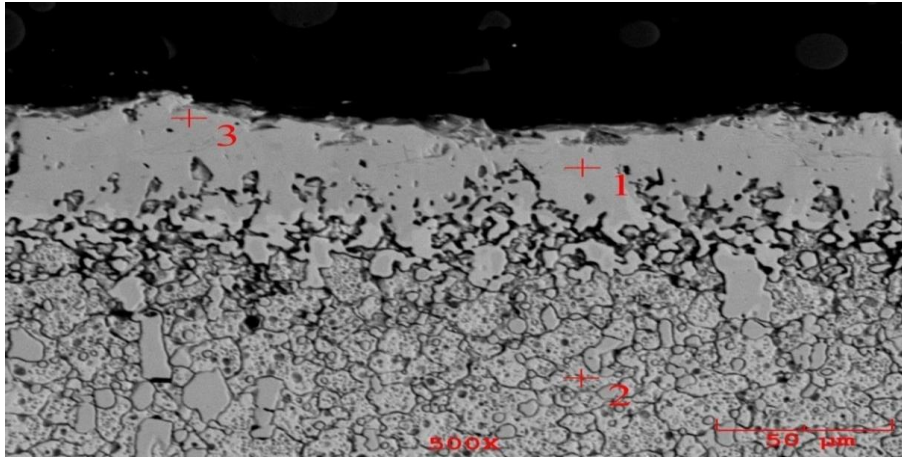
Şekil 12. 950 °C sıcaklıkta 1 saat borlanan AISI D2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinden alınan 2. Noktanın noktasal analiz diyagramı



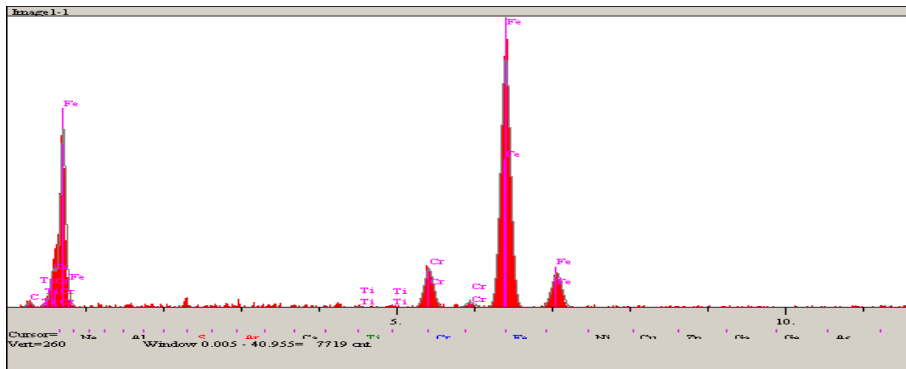
Şekil 13. 950 °C sıcaklıkta 1 saat borlanan AISI D2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinden alınan 3. Noktanın noktasal analiz diyagramı



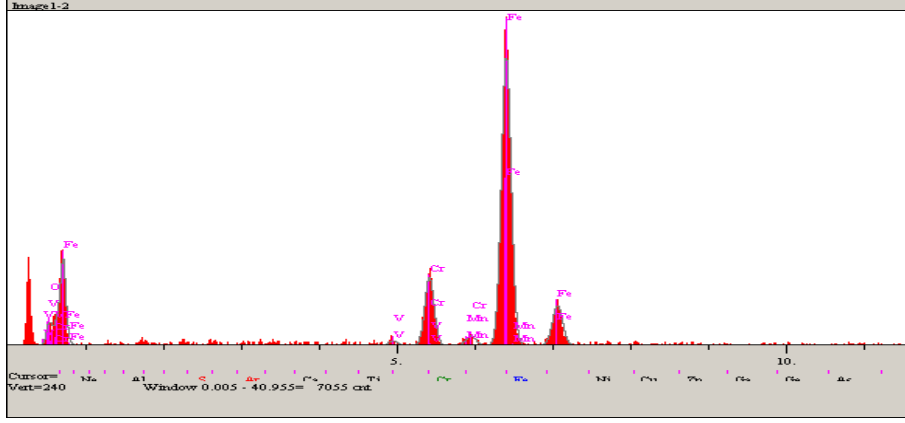
Şekil 14. 950 °C sıcaklıkta 1 saat borlanan AISI D2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinden alınan 4. Noktanın noktasal analiz diyagramı



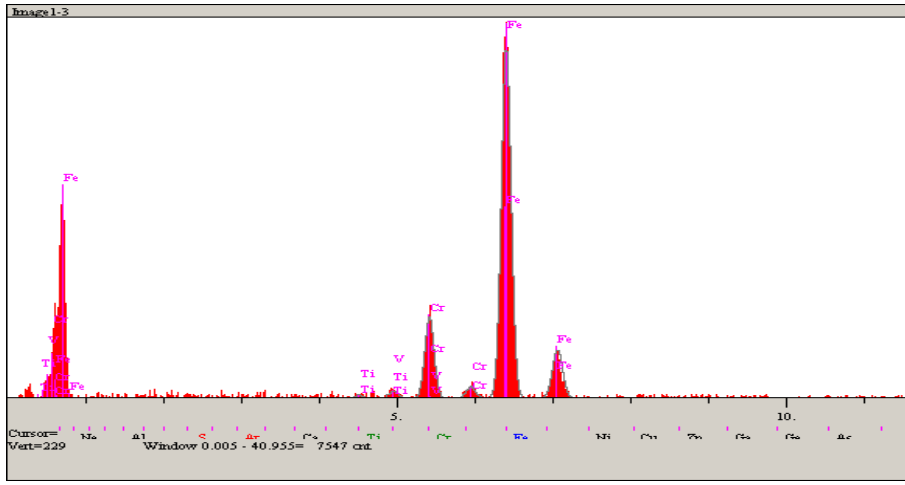
Şekil 15. 950 °C sıcaklıkta 1 saat borlanan ve ardından 1050 °C' de 1 saat titanyumlanan AISI D2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinde lineer analiz alınan bölgeler



Şekil 16. 950 °C sıcaklıkta 1 saat borlanan, ardından 1050 °C' de 1 saat titanyumlanan AISI D2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinden alınan 1. Noktanın noktasal analiz diyagramı



Şekil 17. 950 °C sıcaklıkta 1 saat borlanan, ardından 1050 °C' de 1 saat titanyumlanan AISI D2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinden alınan 2. Noktanın noktasal analiz diyagramı



Şekil 18. 950 °C sıcaklıkta 1 saat borlanan, ardından 1050 °C' de 1 saat titanyumlanan AISI D2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinden alınan 3. Noktanın noktasal analiz diyagramı

E. SERTLİK ÖLÇÜMÜ

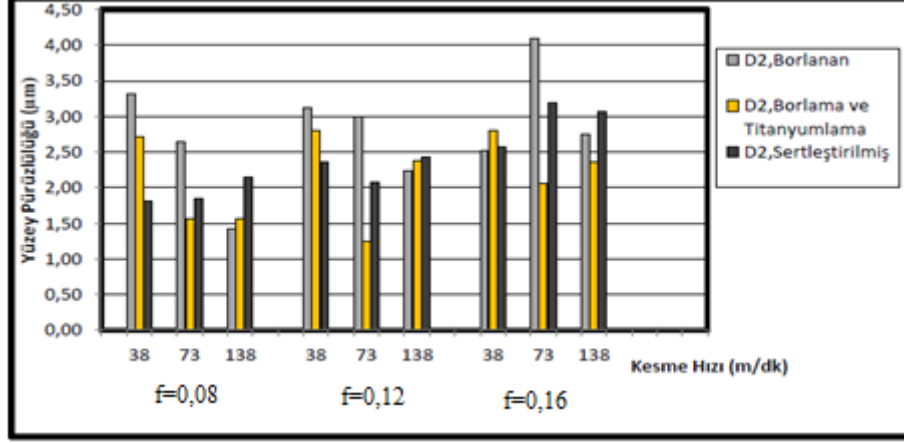
Sertlik ölçümleri borlanan ve titanyumlanan numunelerin yüzey sertliği, kırılma tokluğu ve aşınma gibi mekanik özelliklerine etkisinin ortaya çıkarılması açısından önemlidir. Sertlik ölçümleri kaplanan numunelerin yüzeyine dik doğrultuda ilerleyerek gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları Tablo 6' da verilmiştir. Kaplama yüzeyine dik yapılan sertlik ölçümlerinde borlanan kesici takımların sertliğinin 2000 HV, borlanan ve ardından titanyumlanan D2 kesici takımlarının sertliğinin ise 2800 HV olduğu belirlenmiştir. Tablo incelendiğinde en yüksek sertliğe sahip numunelerin titanyum ile kaplanan, sonra borlanan, daha sonra da ısıl işlem uygulanan numuneler şeklinde sıralandığı görülmektedir.

Tablo 6. Sertlik ölçüm değerleri

Çeliğin adı	Kaplama adı	Uygulanan yük (gr)	Ölçülen sertliği (yaklaşık)	HV sertliği (yaklaşık)
D2	Bor	50	1442 HK	2000 HV
	Borlama+titanyumlama	50	2517 HK	2800 HV
	Isıl işlem		60 HRC	690 HV
	İşlem görmemiş	100	335 HK	350 HV

F. TAKIM TÜRLERİNİN VE İŞLEM PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ

Kesici takım olarak üretilen kaplanmış ve kaplanmamış D2 numunelerle otomat çeliği üzerinde talaş kaldırma testi yapılarak yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması incelenmiştir. Sonuçlar Şekil 19’da gösterilmiştir.

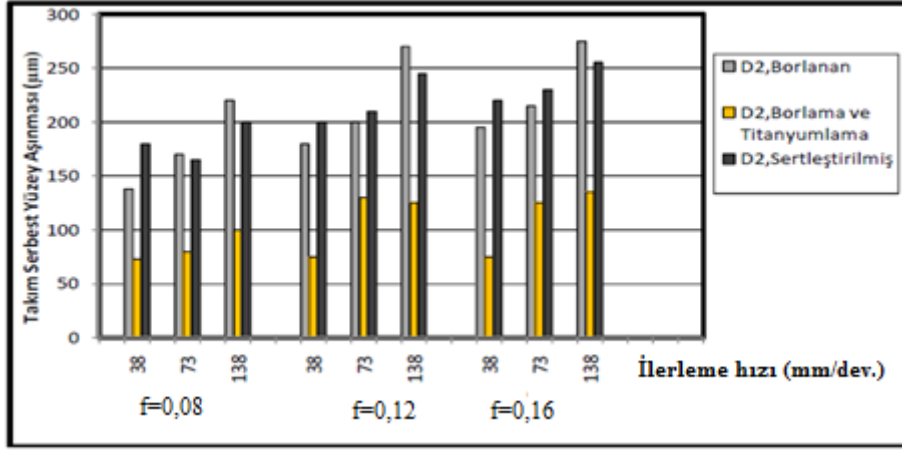


Şekil 19. Farklı AISI D2 kesici takımlarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Şekil 19 incelendiğinde ilerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin de genel olarak arttığı görülmüştür. Bunun, ilerleme hızındaki artışın yüzey üzerindeki geometrik etkisinden ve artan talaş yükünden kaynaklandığı düşünülmektedir [16]. Kesme hızındaki artış genel olarak yüzey pürüzlülüğünün düşmesine neden olur. Sonuçlar nispeten bu beklentiye uygundur. Özellikle düşük ilerleme hızında bu durum daha açık bir şekilde gözlenmektedir. Bazı yüksek kesme hızı ve ilerleme şartlarında, yüzey kalitesinin düşmesi fazla miktarda takım aşınmasından kaynaklanabilir. Sonuçlar değişkenlik gösterdiğinden, takım cinsinin yüzey kalitesine etkisi hakkında belirgin veya genel bir hükme varılamamıştır.

G. TAKIM AŞINMASI

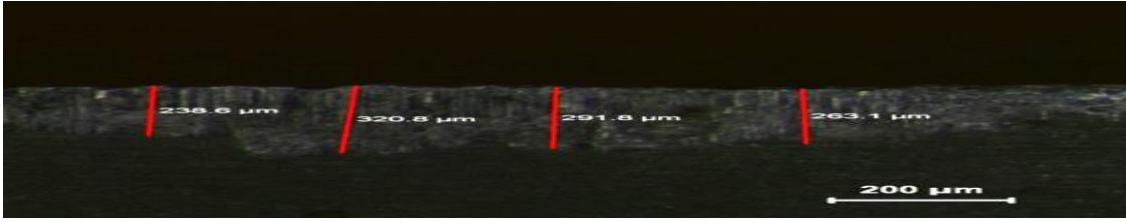
Takım aşınması sonuçları, farklı takım malzemesi ve işlem parametrelerine göre Şekil 20 de verilmiştir. Takım aşınma kriteri olarak “serbest” yüzeyde meydana gelen aşınma miktarı dikkate alınmıştır. Serbest yüzeydeki aşınma bölgesinin genişliği kesici kenara dik olarak ölçülerek elde edilen değer aşınma miktarı olarak dikkate alınmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, kesme hızı ve ilerleme hızı arttıkça kesici takımlarda meydana gelen aşınma miktarının arttığı görülmüştür. Tüm sonuçlar dikkate alındığında ısıl işleme sertleştirilmiş takım ile sadece borlama yapılan takım arasında aşınma direnci açısından önemli bir fark olmadığı belirlenmiştir. Bunun nedeni kaplamadaki bor tabakası kalınlığını etkileyen bor miktarı, kaplama sıcaklığı ve kaplama süresi olarak düşünülmektedir. Grafiğe bakarak, borlama ve titanyumlama işlemi yapılan takım diğerlerine kıyasla yaklaşık %50 oranında daha az aşındığı söylenebilir. Çünkü titanyum kaplamalar yüksek sertliği ve ısı geçirgenliğinin düşük olması nedeni ile talaşın takıma ısı transferini engellemektedir ve takımın ısınarak yumuşamasını önlemektedir. Sürtünme katsayısı düşük olduğundan dolayı talaş kaldırma esnasında sürtünme kuvvetleri azalmakta ve buna bağlı olarak takımın ısınması önlenerek plastik deformasyonu gecikmektedir.



Şekil 20. Kesici takım türü ve işlem şartlarına göre oluşan takım aşınması

H. TAKIM SERBEST YÜZEY AŞINMASI

AISI D2 çeliğinden üretilen ve borlama işlemi, borlama ve titanyumlama işlemi, sertleştirme işlemi uygulanan kesici takımlarla torna tezgahında 200 mm boyunda otomat çeliği işlenmesi sonucunda kesici takımların talaş ve serbest yüzeylerinde meydana gelen aşınmaların fotoğrafları verilmiştir (Şekil 21, 22).



Şekil 21. Talaş kaldırma işlemi sonrasında kesici takımın serbest yüzeyinde meydana gelen aşınmalar



(a)



(b)

Şekil 22. 950 °C'de 1 saat süre ile borlanan, AISI D2 kesici takım ile $V=38$ m/dk kesme hızında, 0,16 mm/dev. İlerleme de otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında kesici takımda meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey

V. SONUÇ

Bu çalışmada, AISI D2 çeliğinden üretilmiş kesici takım numuneler üzerinde termo-kimyasal yöntemle borlama ve borlama-titanyumlama işlemi gerçekleştirilmiştir.

- Metalografik incelemelerde borlanan AISI D2 numuneler üzerinde FeB ve Fe₂B fazlarından oluşan 15-25 µm kalınlığında bir tabakanın oluştuğu ve bir geçiş bölgesiyle matrise bağlandığı belirlenmiştir.
- Borlama işleminden sonra titanyumlanan numuneler üzerinde yaklaşık 2-4 µm kalınlığında TiB₂, TiN ve TiC bileşiklerinin oluştuğu görülmüştür.
- Borlanan yüzeylerin ortalama 2000 HV, titanyumlanan yüzeylerin ise 2800 HV sertliğe sahip olduğu görülmüştür. Bu değerler, kaplamasız sertleştirilen numuneye göre yaklaşık 3 ve 4 kat daha fazladır.
- Kesme deneyleri sonucunda borlanan ve titanyumlanan numuneler diğerlerine kıyasla yaklaşık %50 oranında daha az aşınmıştır.
- Genel olarak, işlenen yüzeyin pürüzlülüğü kesme hızıyla ters, ilerleme hızıyla doğru orantılı olarak değiştiği belirlenmiştir. Fakat bazı yüksek kesme ve ilerleme hızı şartlarında pürüzlülük değerinin yükseldiği ve bunun aşırı takım aşınmasından kaynaklandığı belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğüne etkisi bakımından, tüm takımlar benzer davranış sergilemiş, takımlar arasında önemli bir fark olmadığı görülmüştür.

VI. KAYNAKLAR

- [1] S. Söderberg, M. Sjöstrand and B. Lyungberg “Advances in coating technology for metal cutting tools,” *Metal Powder Report*, c. 56, s. 4, ss. 24-30, 2001.
- [2] C. Bindal, “Az alaşımlı ve karbon çeliklerinde borlama ile yüzeye kaplanan borürlerin bazı özelliklerinin tespiti,” Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İ.T.Ü, İstanbul, Türkiye, 1991.
- [3] I. Ozbek and C. Bindal “Mechanical properties of boronized AISI W4 steel,” *Surface and coating technology*, c. 154, s. 1, ss. 14-20, 2002.
- [4] K. Genel, I. Ozbek and C. Bindal “Kinetics of boriding of AISI W1 steel,” *Material science and engineering*, c. 347, s. 1, ss. 311-314, 2003.
- [5] C. K. N. Oliveira, I. C. Casteletti and A. Lombardi Neto “Production and characterization of boride layers on AISI D2 steel,” *Vacuum*, c. 84, s. 6, ss. 792-796, 2010.
- [6] K. Matiasovsky, M. Chrenkova-Paucirova, P. Fellner and M. Makyta “Electrochemical and thermochemical boriding in molten salts,” *Surface and coating technology*, c. 35, s. 1, ss. 133-149, 1998.
- [7] H. Tozan, “Termo-reaktif difüzyon yöntemiyle çelikelerin bor-titanyumlanması ve özelliklerinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Endüstrisi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2004.
- [8] T. Arai, “Termoreactive deposition/diffusion process for surface,” in *Heat treating*, 10. baskı, c. 4, Materials park, OOH: ASM International handbook, 1991, ss. 448.
- [9] K. M. Gupta, K. Ramdev, S. Dharmateja and S. Sivarajan “Cutting Characteristics of PVD Coated Cutting Tools,” *Materials Today: Proceedings*, c. 5, s. 1, ss. 11260-11267, 2018.

- [10] M. Staszuk, D. Pakuła, G. Chladek, M. Pawlyta, M. Pancielejk and P. Czaja “Investigation of the structure and properties of PVD coatings and ALD + PVD hybrid coatings deposited on sialon tool ceramics,” *Vacuum*, c. 154, s. 8, ss. 272-284, 2018.
- [11] G. Zheng, R. Xu, X. Cheng, G. Zhao, L. Li and J. Zhao “Effect of cutting parameters on wear behavior of coated tool and surface roughness in high-speed turning of 300M,” *Measurement*, c. 125, s. 1, ss. 99-108, 2018.
- [12] S. Chinchankar and S. K. Choudhury “Wear behaviors of single-layer and multi-layer coated carbide inserts in high speed machining of hardened AISI 4340 steel,” *Journal of Mechanical Science and Technology*, c. 27, s. 5, ss. 1451–1459, 2013.
- [13] A. K. Sahoo and B. Sahoo “Experimental investigations on machinability aspects in finish hard turning of AISI 4340 steel using uncoated and multilayer coated carbide inserts,” *Measurement*, c. 45, s. 8, ss. 2153–2165, 2012.
- [14] Q. An, C. Wang, J. Xu, P. Liu and M. Chen “Experimental investigation on hard milling of high strength steel using PVD-AlTiN coated cemented carbide tool,” *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, c. 43 s. 3, ss. 94–101, 2014.
- [15] W. Fichtl, N. Trausner and A. G. Matuschka, *Boronizing with EKabor*, ESK GmbH, 1998.
- [16] Ş. Ertürk, “Termo-kimyasal yöntemle kaplanmış farklı kesici takım malzemelerinin talaşlı işlem kabiliyetinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Endüstrisi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2010.