



**PhD Research Article / Doktora Çalışması Araştırma Makalesi**  
**CHARACTERIZATION OF FUNCTIONALLY GRADED TiCN AND TiBCN**  
**COATING OF CUTTING TOOLS**

**Cem ERTEK<sup>\*1,2</sup>, Ayşegül AKDOĞAN EKER<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yıldız-İSTANBUL*

<sup>2</sup>*Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Yıldız-İSTANBUL*

**Received/Geliş: 26.03.2013 Accepted/Kabul: 13.05.2013**

---

**ABSTRACT**

Shortening the processing time and increasing the efficiency have been a need in machining at all times. In addition to continuous developments in materials of cutting tools provided by the search every passing day, coating the surfaces of the existing cutting tools has been evaluated as more economical and more efficient solution. Studies deal with coating of cutting tools was started in the 1970s and coated tools were recognized as an important development in machining. Titanium carbide (TiC), titanium nitride (TiN), titanium carbonitride (TiCN), cubic boron nitride (CBN), chromium nitride (CrN) and aluminum oxide (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) are among the most widely used coating materials. Coating studies focused on especially high-speed steel and sintered carbide cutting tools as they have wide application area. In traditional coatings, are coated in the form of layers. As a result of occurring high temperatures during metal cutting, the different thermal expansions take place between the layers. Different expansions cause micro-cracks and this reduces the coating life. As a result of efforts to prevent the formation of these cracks, functional graded coatings (FGC) has been developed. In the study, high speed steel substrate material was coated as functionally graded with titanium carbonitride (TiCN) and titanium-boron carbonitride (TiBCN) coating materials. Coatings were made by magnetic sputtering method. Scanning electron microscope (SEM) images were taken and linear analyses, were realized for characterization of the coatings.

**Keywords:** High-speed steel, titanium carbonitride, titanium boron carbonitride, magnetic sputtering, functionally graded coating.

**KESİCİ TAKIMLARIN FONKSİYONEL DERECELENDİRİLMİŞ TiCN VE TiBCN İLE KAPLANMASININ KARAKTERİZASYONU**

**ÖZET**

Talaşlı imalatla işlem sürelerinin kısaltılması ve verimliliğin artırılması her zaman bir ihtiyaç olmuştur. Yapılan çalışmalarla her geçen gün kesici takım malzemelerinde sağlanan gelişmelerin yanı sıra var olan takımların yüzeylerinin kaplanması da daha ekonomik ve daha verimli bir çözüm olarak görülmüştür. Kesici takımların kaplanması ile ilgili çalışmalara 1970'lerde başlanmış ve kaplanmış takımlar, talaşlı imalatla önemli bir gelişme olarak kabul edilmiştir. Titanyum karbür (TiC), titanyum nitrid (TiN), titanyum karbonitrid (TiCN), kübik bor nitrid (CBN), krom nitrid (CrN) ve alüminyum oksit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) yaygın olarak kullanılan kaplama malzemelerindedir. Özellikle yüksek hız çeliği ve sinterlenmiş karbür kesici takımlar geniş kullanım alanına sahip olduklarından, kaplama çalışmaları bu takımlar üzerine yoğunlaşmıştır. Geleneksel kaplamalar katmanlar halinde uygulanmaktadır. Talaş kaldırma esnasında oluşan yüksek sıcaklık sonucunda, katmanlar arasında farklı genleşmeler meydana gelmektedir. Oluşan farklı genleşmeler mikro çatlaklara neden olmakta ve kaplama ömrünü kısaltmaktadır. Söz konusu çatlakların oluşumunu engellemeye yönelik çalışmalar neticesinde fonksiyonel derecelendirilmiş kaplamalar (FGC) geliştirilmiştir. Çalışmada, altlık malzeme olarak yüksek hız çeliği kullanılmış, titanyum karbonitrid (TiCN) ve titanyum bor karbonitrid (TiBCN) kaplama malzemeleri ile fonksiyonel derecelendirilmiş olarak kaplanmıştır. Kaplamalar, manyetik sıçratma yöntemi ile yapılmıştır. Kaplamaların karakterizasyonu için tarama elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri alınmış, çizgisel analizler yapılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Yüksek hız çeliği, titanyum karbonitrid, titanyum bor karbonitrid, manyetik sıçratma, fonksiyonel derecelendirilmiş kaplama.

---

\*Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: certek@yildiz.edu.tr, tel: (212) 383 27 96

## 1. GİRİŞ

Teknolojinin ilerlemesi sonucunda malzemelerin maruz kaldıkları çalışma koşulları da ağırlaşmaktadır. Eskiye oranla daha yüksek sıcaklıklarda çalışabilen, korozif ortamlara daha dayanıklı, daha az aşınarak daha uzun süre hizmet verebilen, daha düşük sürtünme direncine, daha sert yüzeye ve benzeri niteliklere sahip malzemelere gereksinim duyulmaktadır. Ortaya çıkan ihtiyacı, malzemenin tamamının niteliğini iyileştirerek karşılamak yerine, yüzey kaplama işlemleri ile karşılamak daha ekonomiktir.

Geleneksel anlamda katmanlı yapıya sahip kaplamalarda, kaplama katmanları ve altlık malzemelerinin ısıl genleşme katsayıları farklıdır. Bu durum, hem kaplama katmanları hem de altlık ile kaplama arasında çatlaklar meydana getirir. Çatlak oluşumunu önlemeye yönelik çalışmalar sonucunda fonksiyonel derecelendirilmiş kaplamalar, mikro yapıları kalınlıkları boyunca sürekli değişen, yeni nesil kaplamalar olarak geliştirilmişlerdir.

## 2. KESİCİ TAKIMLAR

Günümüzde kesici takımlar, kuru ya da yüksek performanslı işleme gibi çeşitli modern talaşlı imalat tekniklerinde, ağır koşullarına maruz kalmaktadır. Yeni koşullara uyumlu ideal bir kesici takımın, yüksek sertlikle birlikte iyi bir tokluk ve kimyasal kararlılığı da yapısında bulundurması gerekmektedir [1].



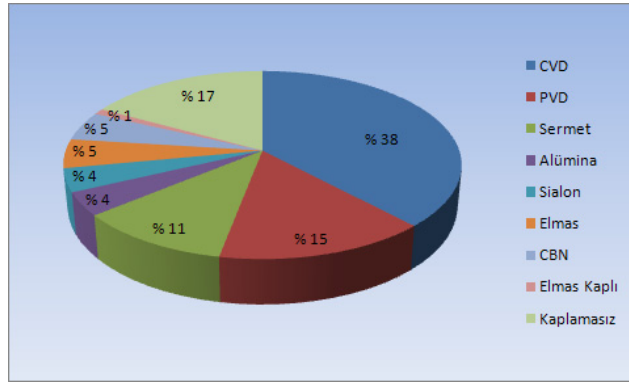
Şekil 1. Kesici takımlar<sup>†</sup>

## 3. KESİCİ TAKIM MALZEMELERİ

Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte artan ihtiyaçları karşılamak için farklı malzemelere ve bu malzemelerin istenilen nitelikte ve aynı zamanda olabildiğince ekonomik işlenebilmesi için yeni kesici takımlara gereksinim duyulmuştur. Örneğin 1982 yılında İngiltere’de yüksek hız çeliği imal eden 30 firma 205 farklı türde çeliği; 49 firma da 441 farklı sinter karbür takımı piyasaya sürmüştür [2].

Günümüzde kesici takımlar, ileri teknoloji ürünü malzemelerden imal edilmektedirler. Takım malzemesinin seçimi hem işlenecek malzemenin özellikleri hem de takımın talaş kaldırma sırasında karşılaştığı koşullara uygun olarak yapılmalıdır. Yüksek sıcaklıkta sertliğin, yüksek hızlarda aşınma dayanımının ve tokluğun korunması, farklı kesici takımlardan beklenen ortak özelliklerdir. Bu özelliklere sahip takımların ömrü uzun olacağından imalat maliyetlerini de düşüreceklerdir.

<sup>†</sup> [http://www.loadtr.com/504239-\\_Kesici\\_Takımlar.htm](http://www.loadtr.com/504239-_Kesici_Takımlar.htm) web sayfasından alınmıştır.

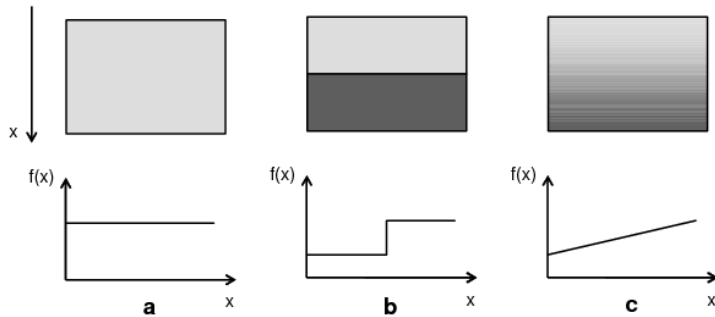


Şekil 2. Kesici takımların 2005 yılında dünya genelindeki tahmini kullanım oranları<sup>‡</sup>

Takım malzemeleri, metal esaslı, karbür esaslı ve seramik esaslı olmak üzere üç ana gruba ayrılabilir. Yüksek hız çelikleri ve sinter karbürler günümüzde yaygın olarak kullanılan takım malzemeleridir. Kübik bor nitrid (CBN) ve elmas takımlar da yüzey kalitesinin iyileştirilmesi ve takım ömrünü artırması amacıyla yapılan çalışmalar sonucunda kullanılmaya başlanmıştır [5].

#### 4. FONKSİYONEL DERECELENDİRİLMİŞ MALZEMELER

Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler ısıya dayanıklı seramiklerin yüksek sıcaklık tarafında, yüksek ısı iletkenliğe sahip tok metallerin ise düşük sıcaklık tarafında kullanılarak, seramikten metale dereceli değişime sahip yeni bir kompozit hazırlamak için önerilmiştir. Bu nedenle fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerin mikro yapıları heterojen karakter sergiler. Sürekli değişen mikro yapıları nedeniyle geleneksel kompozit malzemelerden ayrılırlar [6].



Şekil 3. Farklı yapıdaki malzemeler a) Homojen b) Katmanlı c) Fonksiyonel dereceli<sup>§</sup>

Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler, günümüzde tüm dünyada önde gelen malzeme araştırmalarında önemli bir yere sahiptir. Örneğin bu tür malzemelerin, otomotiv, havacılık, makine, inşaat, biyomekanik, nükleer ve deniz mühendisliği de dâhil olmak üzere geniş

<sup>‡</sup> Grzesik, W., "Advanced Machining Processes of Metallic Materials", Elsevier, ISBN: 0-08-044534-9, January 2008

<sup>§</sup> Wosko, M., Paszkiewicz, B., Piasecki, T., Szyszka, A., Paszkiewicz, R., Tlaczala, M., "Application of functionally graded materials in optoelectronic" Optica Applicata, Vol. 35, No. 3, 2005

bir yelpazede uygulama alanı vardır. Her geçen gün var olanlara ilaveten yeni uygulama alanları bulunmakta ve geliştirilmektedir.

Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler (FDM) teknolojisinin temeli, Japonya'da 1984 yılında Sendai grubu tarafından önerilen özgün bir malzeme üretim teknolojisi ile atılmıştır. 1986'da ve 1990'da ilk uluslararası sempozyum düzenlenmiştir [8]. Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerle ilgili çalışmalara farklı uygulama alanlarında devam edilmektedir.

## **5. FONKSİYONEL DERECELENDİRİLMİŞ KAPLAMALAR**

Helsinki Teknoloji Üniversitesi ile Tohoku Üniversitesi, fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeleri ve kaplamaları ortak araştırma konuları arasına almışlardır. Bu araştırmaların amacı, yüksek sıcaklıklara, korozif ortamlara ve ısıl-mekaniksel döngülere dayanabilen malzemeler ve kaplamalar yapabilmektir. Çalışmalarda ilk adım, istenilen özelliklere sahip "sanal kaplama" yapmak ve uygun malzemeler ile imalat yöntemlerini bulmak olmuştur. Maliyetler açısından uygun yöntemin, plazma sprey (APS) ve yüksek hızlı alev püskürtme (HVOF) olduğu görülmüştür. Daha sonra, oksijen difüzyon bariyerinin özellikleri yeterince yüksek tutulmuş, termoelastik gerilmeler en aza indirgenmiş ve sanal kaplama bileşeni en uygun hale getirilmiştir. İlerleyen aşamalarda, tabaka kalınlıkları ve derece parametreleri, çalışma koşulları, bileşen geometrisi, metalik fazın plastik deformasyonu dikkate alınarak optimize edilmiştir. Finlandiya'dan yüksek hızlı alev püskürtme yönteminin kullanıldığı tasarım başarılı bulunmuştur. Hazırlanan numuneler, Tohoku Üniversitesi'nde geliştirilen standartlara göre test edilmişlerdir.

Yeni termal bariyer kaplama tasarımı, benzer sıcaklık koşullarında öncekilere kıyasla önemli ölçüde uzun ömürlü olmuştur. Her ne kadar seramikçe zengin katmanda plaka içi mikro çatlaklar oluşsa da delaminasyon çatlakları gözlenmemiştir [9].

## **6. FONKSİYONEL DERECELENDİRİLMİŞ MALZEMELERİN KULLANIM ALANLARI**

Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler, son zamanlarda bütün dünyada malzeme araştırmalarının ön sıralarında yer almaktadır. Bu malzemelerin, örneğin biyomekanik, otomotiv, havacılık, inşaat, nükleer ve denizcilik alanlarında geniş uygulamaları vardır. Var olanların yanı sıra sürekli yeni uygulama alanları bulunuyor ya da geliştiriliyor [8].

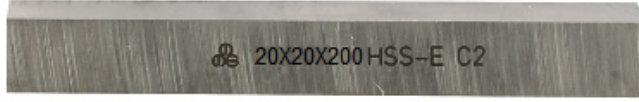
Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler, başlangıçta her ne kadar mekik ve roket gibi uzay taşıtları için var olandan daha iyi bir ısıl kalkan geliştirme çabasıyla kullanılmaya başlanmışsa da sonraki yıllarda pek çok farklı alanda uygulama bulmuştur [9].

## **7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

Talaşlı imalatta kullanılan kesici takımlar, kaplamalı ve kaplamasız olmak üzere iki gruba ayrılabilirler. Kaplamalı kesici takımlarda kaplama kalınlığı 3-9 µm aralığında değişmektedir. Çalışmanın amacı TiCN ve TiBCN kaplamaları, bu kalınlık aralığında, katmansız ve niteliği kalınlık boyunca değişen yani fonksiyonel derecelendirilmiş yapıda gerçekleştirebilmektir.

### **7.1. Altlık ve Kaplama Malzemeleri**

Deneysel çalışmalarda kullanılan yüksek hız çeliği numuneler, Makine Takım Endüstrisi A.Ş. envanterinde bulunan, konvansiyonel torna, vargel ve otomat tezgâhlarında talaş kaldırmak için çeşitli uç formları verilebilen, TS 95/1 standart numaralı, %10 Co alaşımlı HSS-E'den hazırlanmıştır (Şekil 4).

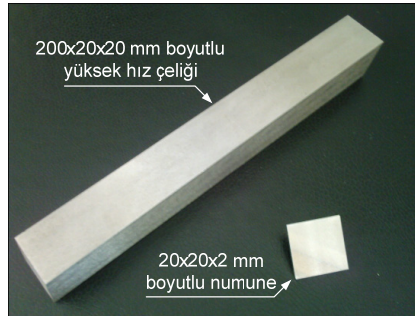


Şekil 4. Yüksek hız çeliği deneysel çalışma numunesi

Kaplama çalışmalarında altlık malzemelerin yanı sıra yüksek saflıkta (En az %99,5 saflıkta) olmaları gereken hedef malzemeler ve gazlara ihtiyaç duyulmaktadır. Kullanılacak kaplama cihazı için 150 mm çapında ve 7 mm kalınlığında disk şeklinde hedef malzemeler uygundur. TiCN kaplama için kullanılacak Ti (%99,9 saflıkta) hedef malzeme Almanya'da bulunan EVOCHEM Advance Materials firmasından; TiBCN kaplama için kullanılacak TiB<sub>2</sub> (%99,640 saflıkta) hedef malzeme de Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan Feldco International firmasından alınmıştır. Her iki kaplamada ortak kullanılacak olan CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub> gazları ise (%99,9 saflıkta) Linde Group'tan temin edilmiştir.

## 7.2. Numune Hazırlama

Deneysel çalışmalarda yapılan kaplamaların, kalınlıklarının ve fonksiyonel derecelendirilmiş yapıda olup olmadıklarının belirli aralıklara taramalı elektron mikroskobu görüntüleri alınarak kontrol edilmesi öngörülmüştür. Kaplama kalınlıklarının doğru tespit edilebilmesi ve kalınlığı boyunca kaplamalardaki değişimin gözlemlenebilmesi için görüntülerin kırılma yüzeylerinden alınmasına karar verilmiştir. Dolayısıyla numunelerin kolayca kırılabilecek kalınlıkta olmaları gerekmektedir. Bu nedenle 200x20x20 mm boyutlarında temin edilen yüksek hız çeliği, tel erozyon cihazıyla 2mm kalınlığında kesilmiş, ardından yüzeyleri taşlanmış ve 20x20x2mm boyutlarında numuneler elde edilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Yüksek hız çeliği ön deneysel çalışma numunesi

## 7.3. Numunelerin Kaplanması

Kaplama işlemleri doğru akım manyetik sıçratma (DC MS) yöntemi ile yapılmıştır.

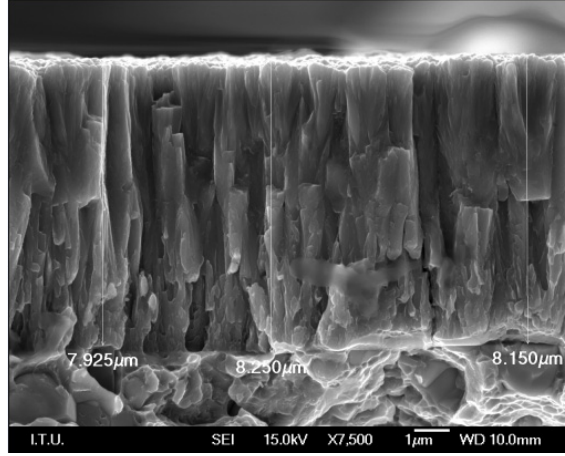
Numuneler, kaplama cihazına yerleştirilmeden önce yüzeyleri etil alkol ve saf aseton kullanılarak 15 dakika ultrasonik yöntemle temizlenmişlerdir.

Numuneler cihazın içerisine yerleştirildikten sonra, rotary ve turbo moleküler vakum pompaları çalıştırılarak, kaplama haznesi iç basıncı 10<sup>-6</sup>-10<sup>-7</sup> mbar değer aralığına kadar düşürülmüştür. Ardından hazne içerisine yüksek saflıkta argon gazı verilerek kaplama işlemine başlamadan önce, numune yüzeyleri bir kez de, iyon bombardımanı (Bias etching) ile temizlenmiştir. Temizlik işleminde 50–250 V aralığı, 50 V'luk artışlarla ve her adım iki dakika süreyle uygulanarak beş adımda tamamlanmıştır.

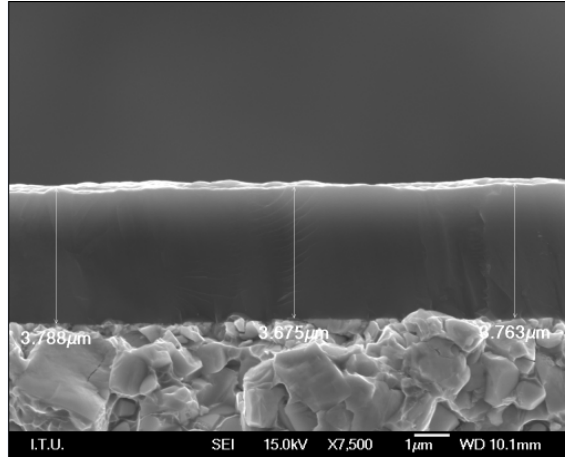
#### 7.4. Kaplamaların SEM Görüntüleri ve Çizgisel Analizleri

Kaplamaların SEM görüntüleri, İ.T.Ü. Biyomalzeme Araştırma ve Karakterizasyon Laboratuvarı bünyesinde bulunan JEOL JSM 7000F cihazından alınmıştır (Şekil 6. 12). Görüntüler, sıvı azot içerisine atılıp bir süre beklendikten sonra kırılan numunelerin, kırılma yüzeylerinden elde edilmiştir (Şekil 7-8).

Taramalı elektron mikroskobu görüntülerinde, TiCN kaplamaların kolonsu yapıda büyüdüğü ve Thornton'ın ince film büyüme modelindeki Zon 1'e denk geldiği; TiBCN kaplamaların ise kolonsuz yapıda büyüdüğü görülmüştür [10-11].

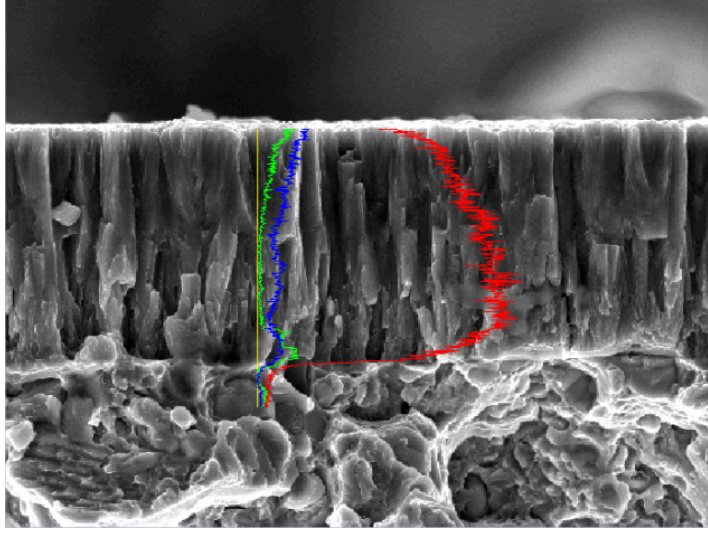


Şekil 6. TiCN kaplamasının 7500x SEM görüntüsü

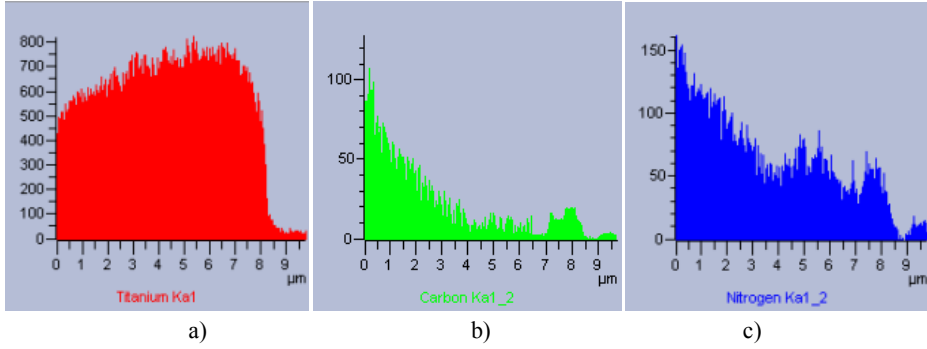


Şekil 7. TiBCN kaplamasının 7500x SEM görüntüsü

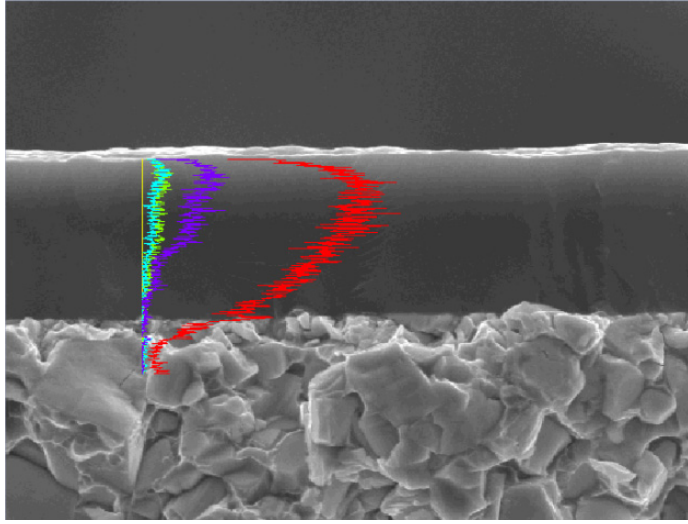
Kaplama kalınlığı boyunca kaplamayı oluşturan elementlerin dağılımı da JEOL JSM 7000F taramalı elektron mikroskobu ile bağlantılı çalışan Oxford/Inca marka EDS/WDS cihazı ile çizgisel analiz testi yapılarak incelenmiştir. (Şekil 9-10-11-12).



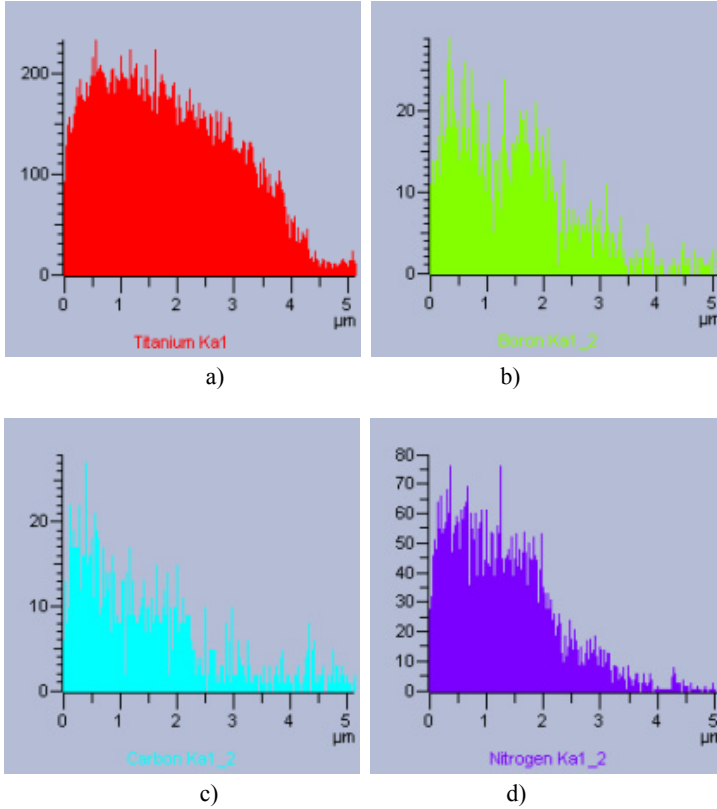
Şekil 8. TiCN kaplama için çizgisel analiz testi



Şekil 9. Kaplama kalınlığı boyunca a) Titanyum b) Karbon c) Azot dağılımları



Şekil 10. TiBCN kaplama için çizgisel analiz testi



Şekil 11. Kaplama kalınlığı boyunca a) Titanyum b) Bor c) Karbon d) Azot dağılımları



## 8. SONUÇLAR

Kaplama kalınlıklarının ve yapısının incelendiği SEM görüntülerinden, hem TiCN hem de TiBCN kaplamaların başlangıçta hedeflenen 3-9 µm kalınlık aralığında ve katmansız olarak elde edilebildiği anlaşılmaktadır.

Taramalı elektron mikroskobu görüntülerinde, TiCN kaplamaların kolonsu yapıda büyüdüğü ve Thornton'ın ince film büyüme modelindeki Zon 1'e denk geldiği, TiBCN kaplamaların ise kolonsuz yapıda büyüdüğü de görülmüştür.

Yapılan çizgisel analizler sonucunda ise hem TiCN hem de TiBCN kaplamadaki elementlerin dağılımlarının kaplama kalınlığı boyunca kademeli değil fonksiyonel bir değişim sergilediği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak yapılan çalışma başlangıçta hedeflenen yapı ve nitelikte kaplamalar elde edilerek tamamlanmıştır.

## Acknowledgments / Teşekkür

Bu araştırma Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nce desteklenmiştir. Proje No: 28-06-01-02. Y.T.Ü. BAPK'ne katkılarından ötürü teşekkür ederiz.

## REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Byrne, G., Dornfeld, D., Denkena, B. "Advancing Cutting Technology", CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 52, Issue 2, Pages 483-507, 2003.
- [2] Şahin, Y., "Talaş Kaldırma Prensipleri 1", Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2000.
- [3] [http://www.loadtr.com/504239-\\_Kesici\\_Takımlar.htm](http://www.loadtr.com/504239-_Kesici_Takımlar.htm), [Erişim tarihi: Mart 20, 2012].
- [4] Grzesik, W., "Advanced Machining Processes of Metallic Materials", Elsevier, ISBN: 0-08-044534-9, January 2008.
- [5] Özdemir, Ö., İpek, M., Zeytin, S. "Kesici Takım Malzemeleri" MMO Mühendis ve Makine, Cilt 41, Sayı 487, Ağustos 2000.
- [6] Koizumi, M., "FGM Activities in Japan", Composites Part B: Engineering, Volume 28, Issues 1-2, Pages 1-4, Elsevier Science Limited, 1997.
- [7] Wosko, M., Paszkiewicz, B., Piasecki, T., Szyszka, A., Paszkiewicz, R., Tlaczala, M., "Application of functionally graded materials in optoelectronic" Optica Applicata, Vol. 35, No. 3, 2005.
- [8] The 10th International Symposium on Multiscale, Multifunctional & Functionally Graded Materials, 22nd-25th September, at Sendai International Center, SENDAI, JAPAN, 2008
- [9] Gasik, M.M., "Industrial Application of FGM Solutions", Materials Science Forum, Vols 423-425, pages 17-22, 2003.
- [10] Chen, R., Tu, J.P., Liu, D.G., Mai, Y.J., Gu, C.D., "Microstructure, mechanical and tribological properties of TiCN nanocomposite films deposited by magnetron sputtering", Surface & Coatings Technology, 2011.
- [11] Luo, Q.H., Lu, Y.H., "Microstructure and mechanical properties of reactive magnetron sputtered TiBCN nanocomposite coatings", Applied Surface Science, 2011.

*Environmental Engineering Articles*  
/  
*Çevre Mühendisliği Makaleleri*

Pdf Source: [Sigma](#)