

WC/(Ta+W) Çok Tabakalı Kaplanmış SiAlON Matkap Uçlarının Karbon Fiber Takviyeli Polimer (CFRP) Kompozitlerin Delme Operasyonlarındaki Performansları

The Performance of WC-/(Ta+C) Multilayer Coated SiAlON Drilling Tools on Drilling Operation of Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Composites

Ali ÇELİK^{*}, Servet TURAN¹, Erman BENGÜ², İsmail LAZOĞLU³, Ferhat KARA⁴

Özet- Talahş imalat sürecinde kullanılan karbür esash kesici takım malzemelerinin takım ömrünü arttırmada kesme yüzeyinde fiziksel ve kimyasal buhar biriktirme (sırasıyla PVD ve CVD) gibi yöntemler ile sert seramik kaplamaların uygulanması oldukça yaygındır. Bu çalışmada, PVD yöntemi kullanılarak, WC/(Ta+W) malzemesi ile kaplanmış SiAlON seramik matkap uçlarında kaplamanın yapısı, bağlanma mukavemeti ve performans etkileri araştırılmıştır. Sonuçlar, kaplama tabakası WC/(Ta+W) ile SiAlON altlık ara yüzeyindeki bağlanma mukavemetinin yetersiz olduğunu göstermiş, bu nedenle de kaplamanın takımların kesme performansına herhangi bir etkide bulunmadığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: SiAlON, Delme, Kaplama, PVD

Abstract- The application of hard ceramic coatings on cutting edges by physical and chemical vapor deposition (PVD and CVD, respectively) is a widely used technique to improve the life of the carbide based cutting tools in machining operations. In this study, structure, quality and effects on the cutting performance of WC/(Ta+W) coating layer on a SiAlON based drilling tool was investigated. The results showed that the bonding between coating layer WC/(Ta+W) and SiAlON substrate was insufficient and no improvement on the tool life was recorded by the application of coating on SiAlON drilling tools.

Key words: SiAlON, Drilling, Coating, PVD

I. GİRİŞ

Son yıllarda kesici uç malzemelerinin özelliklerinin geliştirilmesinin yanı sıra, malzeme performansının artırılmasında kullanılan sert PVD ve CVD kaplamaların önemi artmıştır. Bu kaplamalar, sert çelikler ve karbür malzemelerin kaplanmasında uzun yıllardır uygulanmaktadır. Koruyucu kaplama malzemesi ile kesici ucun dayanımı ve etkinliği şu faktörlere bağlı olarak artırılmaktadır [1]:

- Kaplama ile ucun yüzey sertliği artmakta ve kaplama kalitesinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir.
- Düşük sürtünme katsayısının ucun performansında kesme kuvvetlerinin ve sıcaklığın düşürülmesi açısından önemli bir etkisi bulunmaktadır. Aynı zamanda, yağlayıcı kullanılmadan kesme işlemine olanak sağlaması ve kesme hızlarının artırılabilmesi diğer avantajlardır.
- Kaplama tabakası kesme sırasındaki sürtünme nedeniyle oluşan yüksek ısının uç malzemesine taşınımını engelleyerek ucun dayanımını artırır [2].
- Kaplama, kesici takım ile işlenen malzeme arasındaki atomik taşınımını engelleyerek difüzyon aşınmasını engeller.

*Sorumlu yazar iletişim: ali.celik@bilecik.edu.tr

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Gülümbe Kampüsü, BİLECİK

^{1,2,3,4}İletişim: sturan@anadolu.edu.tr, bengu@fen.bilkent.edu.tr, ilazoglu@ku.edu.tr, fkara@anadolu.edu.tr

^{1,4} Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Anadolu Üniversitesi, İki Eylül Kampüsü, ESKİŞEHİR

² Kimya Bölümü, Bilkent Üniversitesi, Bilkent, ANKARA

³ Makine Mühendisliği Bölümü, Koç Üniversitesi, Sarıyer, İSTANBUL

Sert çelik ve karbür esaslı malzemelere ilave olarak son yıllarda aşınma dayanımlı kaplamalar seramik malzemelerin kaplanması da kullanılmaktadır [3-7]. Kaplamanın performansı altlık ile olan bağlanma miktarından etkilenmektedir. Dobrzanski ve ark. tarafından gerçekleştirilen çalışmada, karbür ve SiAlON altlıkları üzerine Ti(B,N) kaplamanın yapısı ve özellikleri incelenmiştir [5]. Kaplama tabakasının WC-Co altlık malzemesinin sertliğini %60 oranında arttırdığı, her iki altlık malzemesi için de yüzey pürüzlülüğünün artış gösterdiği ve kaplamanın karbür altlığa bağlanma mukavemetinin SiAlON altlığa bağlanma mukavemetinde daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Kaplamanın SiAlON altlık üzerinden kırılarak uzaklaştığı ifade edilmiştir. Benzer bir çalışmada Dobrzanski ve ark. Ti(B,N), (Ti,Zr)N, Ti(C,N), (Al,Ti)N, (Ti,Al)N gibi farklı kaplama malzemesinin karbür ve SiAlON kesici malzemelere uygulamışlar ve kaplamanın sağlamış olduğu özellikleri belirlemişlerdir [1]. Kaplama malzemeleri içerisinde (Al,Ti)N kaplamanın SiAlON altlık ile bağlanma mukavemetinin en yüksek olduğunu ve bunun sonucunda da kesici uç ömrünün 7 kata kadar arttığını göstermişlerdir.

Nitrür, karbür ve borür gibi sert kaplama malzemelerin dışında elmas, bilinen en sert malzeme olması ile özellikle WC-Co esaslı kompozitlerin kaplanmasında kullanılmaktadır. Ancak karbür malzeme bileşiminde bulunan Co metalik fazı sp^2 bağlı karbon tabakalarının oluşumuna neden olmaktadır (grafitleşme) [8]. Bağlanma, ara yüzeyin zayıf mekanik özellikleri ve elmas-karbür arasındaki yüksek ısıl genleşme farkı nedeniyle zayıf olmaktadır. Bu problemin giderilmesi için bir dizi yeni teknik uygulansa da kimyasal ve termal özellikleri ile uygun altlık malzemeleri olan Si_3N_4 , SiAlON ve SiC gibi seramiklerin kullanımı da bu sorunun çözümünde farklı bir yaklaşım oluşturmaktadır [9-11].

Bu çalışmada, karbon fiber takviyeli polimer kompozit malzemelerin delinmesi için geliştirilen ve PVD yöntemi ile WC/(Ta+W) çok tabakalı malzemesi ile kaplanan α/β -SiAlON matkap uçlarının, kaplama özelliklerinin belirlenmesi ve kaplamanın aşınma dayanımına etkileri araştırılmıştır.

II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Üretim süreci ve geometrik özellikleri detayları kaynak [12]'de açıklanan matkap uçları, Bilkent Üniversitesi'nde fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemi ile WC, W ve Ta hedef malzemeleriyle, PVD cihazında (CemeCon AG) kaplanmıştır. Süreç sonunda elde edilen kaplama özellikleri Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. SiAlON matkap uçlarına uygulanan WC/(Ta+W) kaplamanın özellikleri.

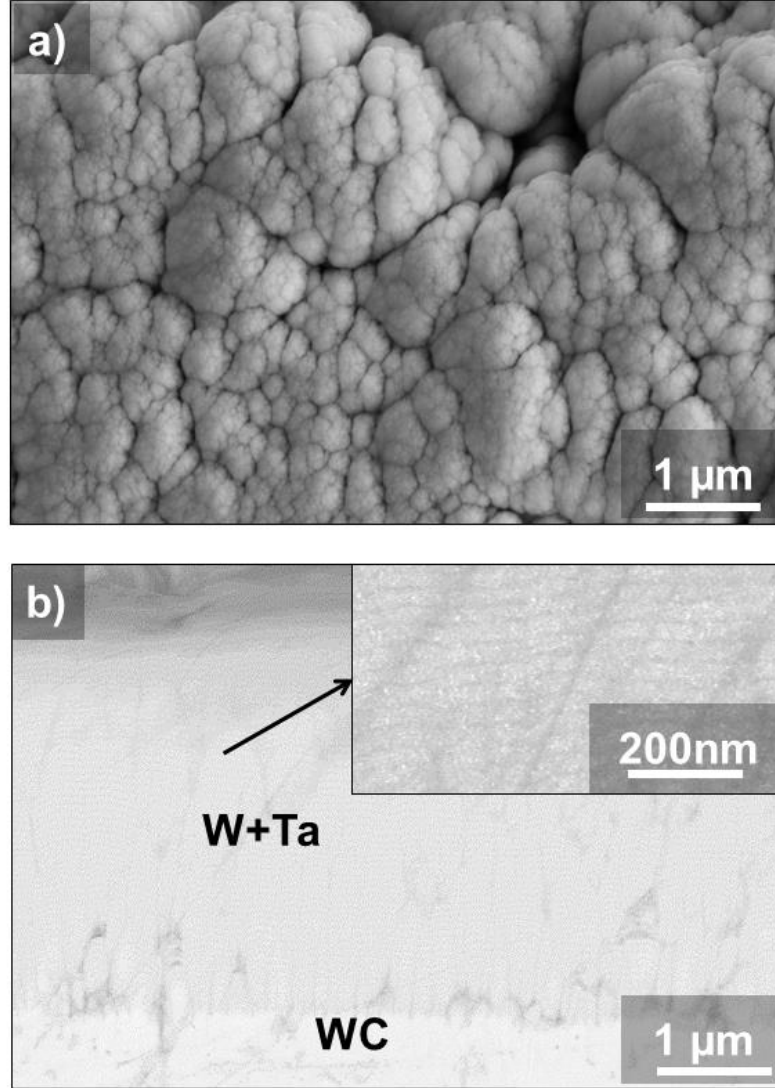
Kaplama Yöntemi	PVD
Fazlar (XRD)	WC, W ₂ C, W, Ta
Kaplama tabaka sayısı	24
Kaplama Kalınlığı (μ m)	~2
Kaplama Sertliği (@0,001 N) (GPa)	~30

Kaplama tabakasının mikroyapı karakterizasyonu taramalı elektron mikroskobu (Zeiss-Supra 50VP) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaplama tabakasının altlık ile bağlanma mukavemeti indentasyon metoduyla belirlenmiştir. Testler, tepe açısı 136° olan elmas kare piramit bir Vickers ucu ile 0,1, 0,5, 2, 5 ve 10 kgf yükler uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Her bir yük değeri için 3 adet ölçüm alınmıştır. Kaplanmış olan uçlar kaplamasız uçlar $V= 20000$ dev/dk., ve $f= 0,05$ mm/dev ilerleme koşullarında aynı sayıda delikler açılarak (1, 5, 15, 35 ve 65) test edilmiştir. Testler sonrasında elde edilen aşınmış kenarların analizleri 3 boyutlu optik yüzey tarayıcı (GF-Messtechnik GmbH) ve SEM ile gerçekleştirilmiştir.

III. DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA

A. Kaplama Tabakasının Mikroyapı Karakterizasyonu

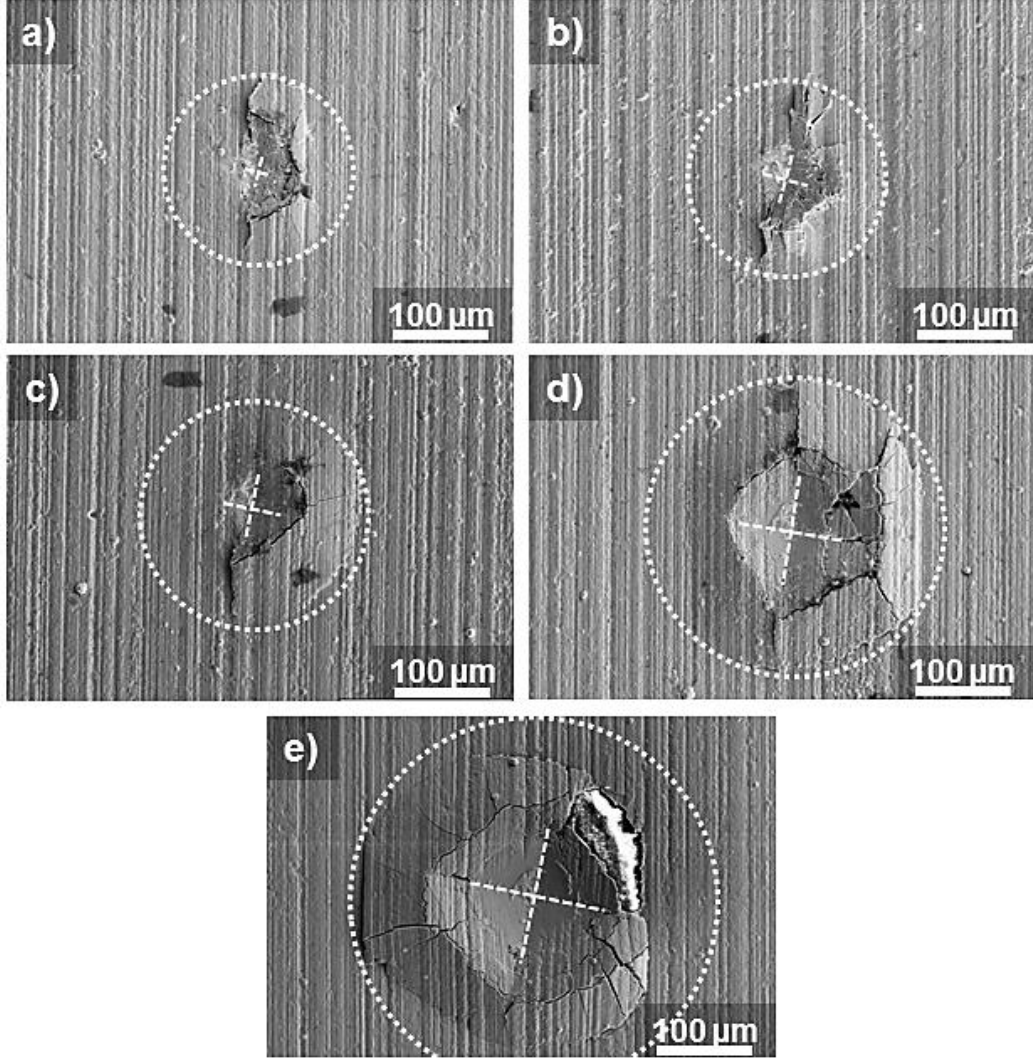
SiAlON matkap uçları üzerine kaplanan WC/(Ta+W) kaplamanın üst ve kesit BE-SEM mikroyapı görüntüleri Şekil 1'de verilmektedir. Şekil 1a'da kaplama malzemesinin 25-100 nm boyutlarındaki taneciklerden oluştuğu, 1b'de ise bu tanelerin oluşturduğu kaplama tabakasının kalınlığının yaklaşık 3-4 μm olduğu görülmektedir. Kaplamanın altlık ile temas eden bölümünün yaklaşık olarak 1 μm kalınlığında olan WC, diğer kısmının ise W ve Ta nano tabakalarından oluştuğu görülmektedir (Şekil 1b).



Şekil 1. SiAlON matkap uçlarının yüzeylerine uygulanan WC/(Ta+W) kaplamanın (a) üst ve (b) kesit BE-SEM mikroyapı görüntüleri

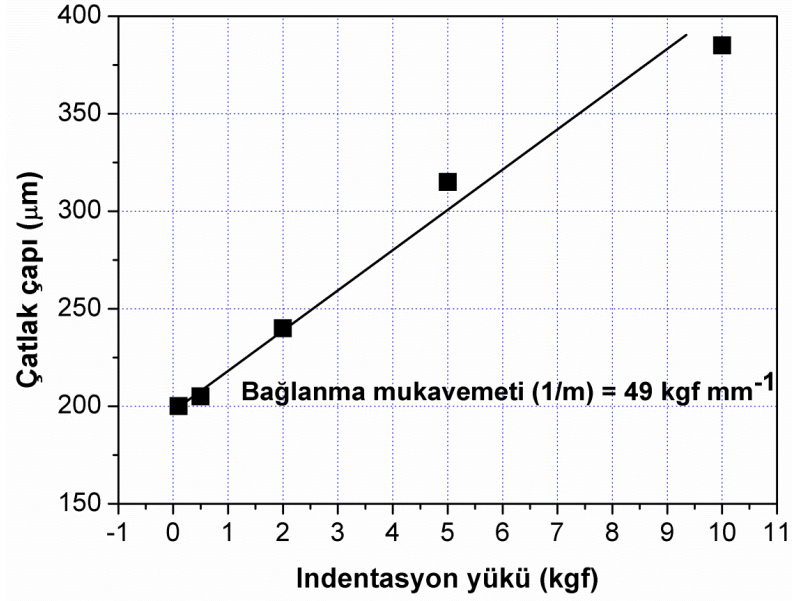
B. Kaplama Tabakasının Altlığa Bağlanma Mukavemeti

Kaplama tabakasının altlığa bağlanma mukavemeti çizilme testi [5-7] veya indentasyon yöntemi [13-15] uygulanarak ifade edilebilmektedir. Bu çalışmada, kaplama tabakasının altlığa bağlanma durumu indentasyon yöntemine göre belirlenmiştir. Şekil 2'de verilen mikroyapı görüntülerinde farklı indentasyon yüklerinin kaplama yüzeyine uygulanması sonucunda yüzeyde oluşan iz ve çevresinde oluşan çatlaklar görülmektedir. Bu yöntemde, kademeli bir şekilde artırılan yük ile yüzeyde indentasyon izi ve iz çevresinde oluşan kırılma ve çatlaklar incelenmektedir. Çatlak oluşumuna neden olan en düşük yük kritik yük (P_{crit}) olarak tanımlanmaktadır [14]. Bu çalışmada kullanılan en düşük yük olan 0,1 kgf değerinde izin etrafında kırılma ve çatlakların oluşması, kaplamanın dayanma limitinin düşük olduğunun bir ön göstergesidir.



Şekil 2. WC/(Ta+W) kaplanmış SiAlON numunelerin yüzeylerine (a) 0,1, (b) 0,5, (c) 2, (d) 5 ve (e) 10 kgf yüklerle uygulanan indentasyon izleri ve hasarlı bölümlerin SE-SEM görüntüleri

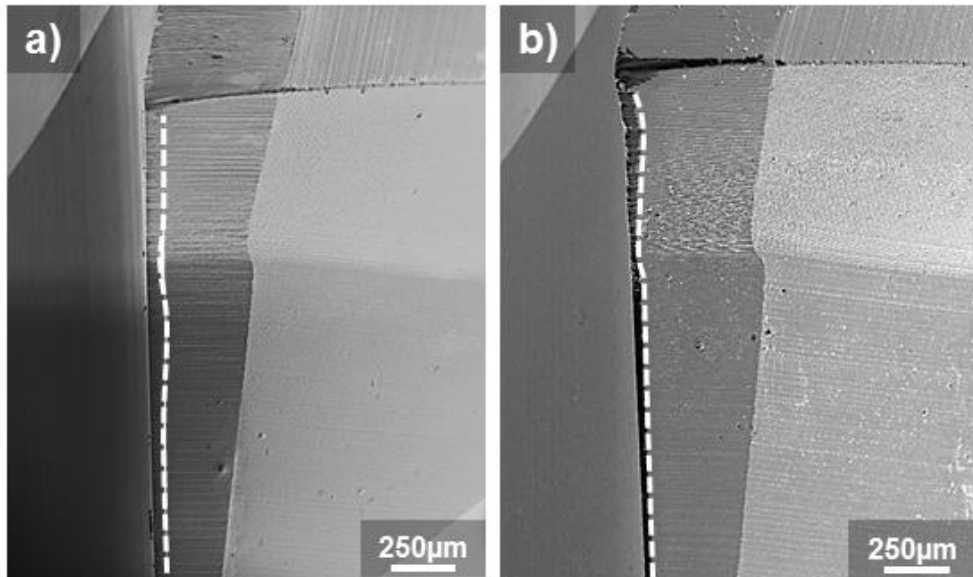
Şekil 3'te, izlerin etrafında oluşan çatlakların çap uzunluklarının uygulanan indent yükü ile değişim grafiği verilmektedir. Grafikte elde edilen doğrunun ters eğimi (dP/dx) kaplamanın çatlak ilerlemesine karşı direncini, başka bir deyişle kaplama tabakasının bağlanma mukavemetini göstermektedir [13]. Buradan WC/(Ta+W) kaplamanın SiAlON altlık üzerine bağlanma mukavemeti 49 kgf mm^{-1} olarak hesaplanmıştır. SiAlON altlık üzerine çok kristal elmas kaplamanın bağlanma mukavemeti farklı çalışmalarda ~ 162 ile 243 kgf mm^{-1} arasında hesaplanmıştır [13,16,17]. Elde edilen 49 kgf mm^{-1} değeri benzer yöntemlerle hesaplanan SiAlON-elmas kaplama malzemesinin değerleriyle kıyaslandığında oldukça düşüktür. Bununla birlikte, indentasyon yöntemi ile belirlenen kritik yük (P_{crit}), kaplama tabakasının bağlanma özelliğinin yanında sertlik ve kırılma tokluğu değerlerine de bağlıdır [13].



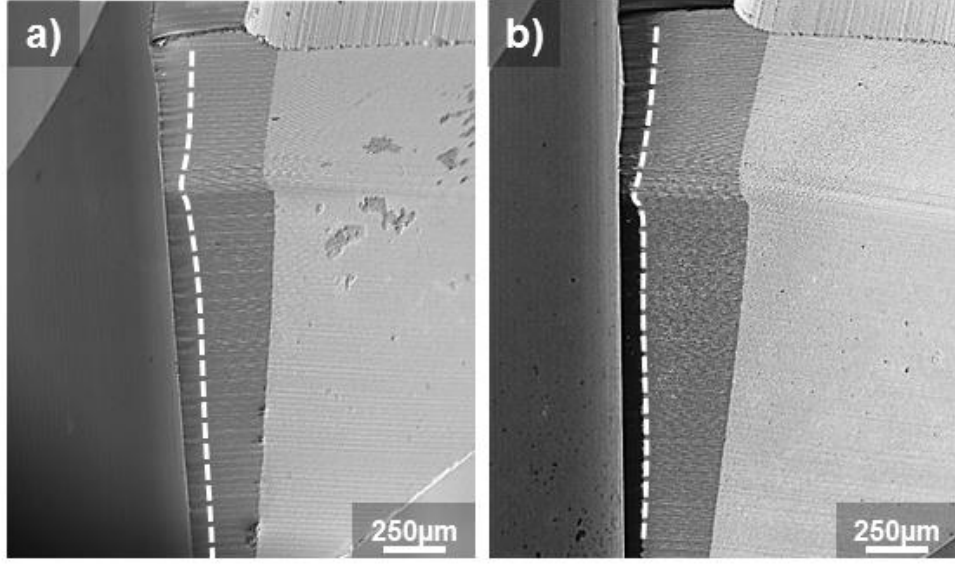
Şekil 3. Farklı indantasyon yüklerinin kaplama tabakasında oluşturduğu çatlak uzunluklarının değişimi.

C. Kaplamanın Matkap Ucu Aşınma Performansına Etkisi

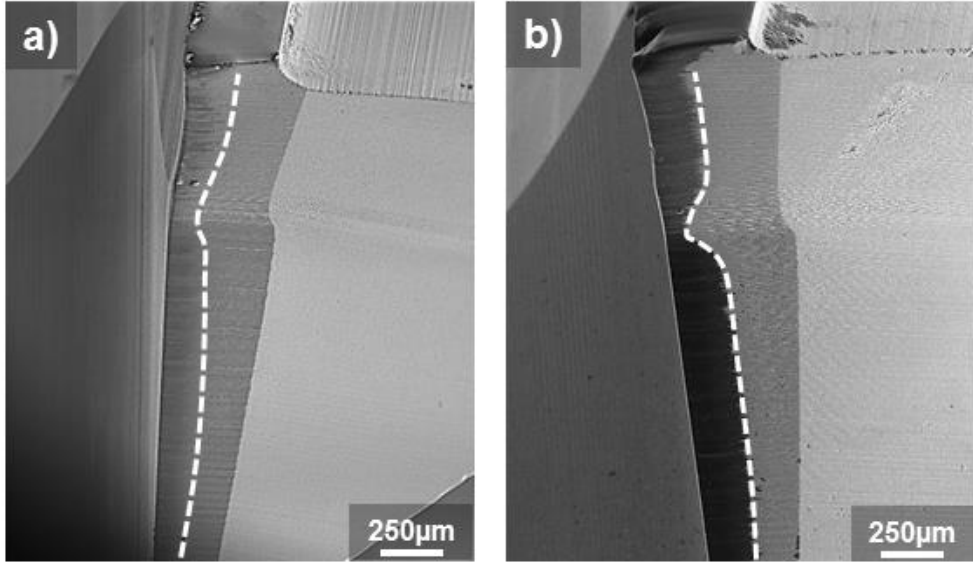
WC/(Ta+W) kaplamanın SiAlON matkap uçlarının aşınma dayanımına olan etkileri, CFRP malzemelerin delme testleri ile kıyaslamalı olarak belirlenmiştir. Aynı geometrik özelliklere sahip kaplamalı ve kaplamasız SiAlON matkap uçlarının 1, 5, 15, 35 ve 65. delik sonunda kesme kenarlarında meydana gelen aşınmalar incelenmiştir. Şekil 4-8'de sırasıyla 1, 5, 15, 35 ve 65. delik sonrasında uçların kesme kenarlarının görüntüleri verilmektedir.



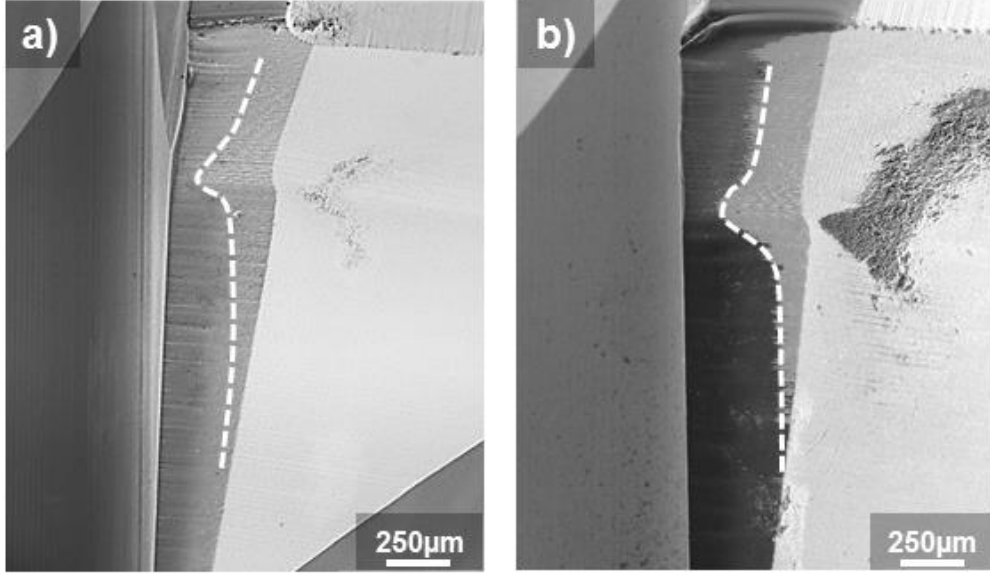
Şekil 4. (a) Kaplanmamış ve (b) WC/(Ta+W) kaplanmış matkap uçlarının 1. delik sonunda kenar görüntüleri.



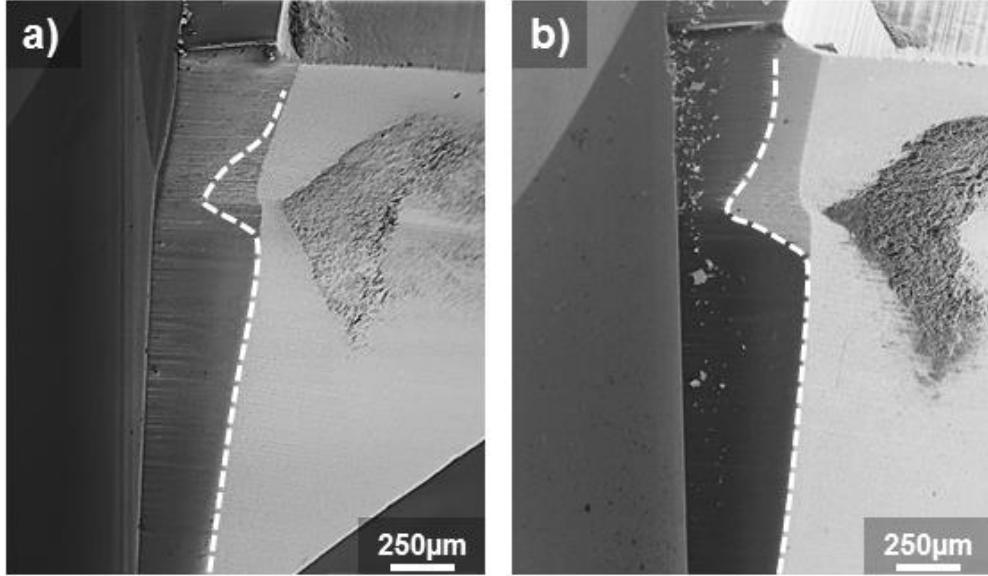
Şekil 5. (a) Kaplanmamış ve (b) WC/(Ta+W) kaplanmış matkap uçlarının 5. delik sonunda kenar görüntüleri



Şekil 6. (a) Kaplanmamış ve (b) WC/(Ta+W) kaplanmış matkap uçlarının 15. delik sonunda kenar görüntüleri.

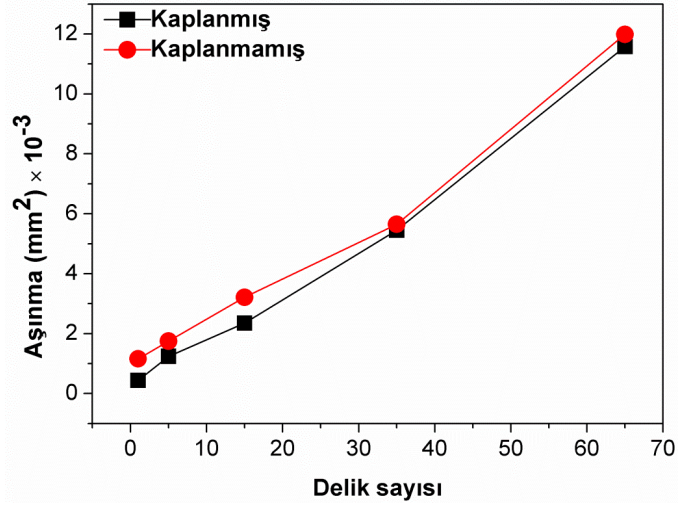


Şekil 7. (a) Kaplanmamış ve (b) WC/(Ta+W) kaplanmış matkap uçlarının 35. delik sonunda kenar görüntüleri.



Şekil 8. (a) Kaplanmamış ve (b) WC/(Ta+W) kaplanmış matkap uçlarının 65. delik sonunda kenar görüntüleri.

Aşınmış kenarların SEM görüntüleri incelendiğinde, 1. delikten itibaren kaplama tabakasının altlıktan ayrıldığı ve bunun sonucunda da altlığın aşınma durumunda kayda değer bir iyileşmenin sağlanamadığı görülmektedir (Şekil 9). Kaplama malzemesinden beklenen aşınma dayanımı artışının sağlanamamış olması kaplama ile altlık malzemelerin bağlanma mukavemetlerinin zayıf olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 9. Kaplanmış ve kaplanmamış SiAlON matkap uçlarının delme sürecindeki aşınma davranışları.

IV. GENEL SONUÇLAR

Kaplama talaşlı imalat sektöründe kesici malzemelerin kullanım ömürlerinin arttırılmasında yaygın biçimde kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. Özellikle, pek çok malzemenin işlenmesinde kullanılan WC-Co esaslı malzemelerin kaplanarak aşınma dayanımlarının arttırılması oldukça popüler bir uygulamadır. Buna karşın, seramik malzemeler kaplama malzemelerinin sağladığı bazı avantajları (yüksek sıcaklık özellikleri vb.) bünyesinde barındırdıklarından genellikle kaplanmadan kullanılmaktadırlar. Ancak, CFRP kompozit malzemelerin işlenmesi gibi şiddetli aşınmanın olduğu uygulamalarda, bu malzemelerin yetersiz aşınma dayanımları kaplama malzemeleriyle geliştirilmeye açık durumdadır. Buradan yola çıkılarak, bu çalışmada geliştirilen SiAlON matkap uçlarının aşınma dayanımlarının WC/(Ta+W) kaplama ile arttırılması hedeflenmiştir. Gerçekleştirilen testler sonucunda kaplama ile SiAlON malzemesi arasındaki ara yüzey mukavemetinin yetersiz olması nedeniyle kaplamadan verim sağlanamamıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Dobrzanski, L.A. and Stazsuk, M., “PVD and CVD gradient coatings on sintered carbides and SiAlON tool ceramics,” *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, vol. 43(2), pp. 552-576, 2010.
- [2] Movchan, B.A. and Yakovchuk, K.Y., “Graded thermal barrier coatings, deposited by EB-PVD,” *Surface and Coatings Technology*, vol. 188-189, pp. 85-92, 2004.
- [3] Dobrzanski, L.A. and Mikula, J., “The structure and functional properties of PVD and CVD coated $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$ oxide tool ceramics,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 167, pp. 438-446, 2005.
- [4] Dobrzanski, L.A., Stazsuk, M., Konieczny, J., Kwaoeny, W. and Pawlyta, M., “Structure of TiBN coatings deposited onto cemented carbides and sialon tool ceramics,” *Archives of Materials Science and Engineering*, vol. 38(1), pp. 48-54, 2009.
- [5] Dobrzanski, L.A., Stazsuk, M., Golombek, K. and Pancielejko, M., “Properties of Ti(B,N) coatings deposited onto cemented carbides and sialon tool ceramics,” *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, vol. 41(1-2), pp. 66-73, 2010.
- [6] Pakula, D., Dobrzanski, L.A., Kriz, A. and Stazsuk, M., “Investigation of PVD coatings deposited on the Si_3N_4 and sialon tool ceramics,” *Archives of Materials Science and Engineering*, vol. 46(1), pp. 53-60, 2010.
- [7] Dobrzanski, L.A. and Stazsuk, M., “Surface modification of sialon ceramics and cemented carbides by PVD coating deposition,” *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, vol. 49(2), pp. 158-65, 2011.
- [8] Almeida, F.A., Fernandes, A.J.S., Silva, R.F. and Oliveira, F.J., “Re-sharpenable thick CVD diamond-coated Si_3N_4 tools for hard metal turning,” *Surface & Coatings Technology*, vol. 201, pp. 1776–1782, 2006.
- [9] Cline, B.L. and Olson, J.M. in: Asmussen, J. Reinhard D.K. (Eds.), *Diamond Films Handbook*, Dekker, New York, p. 425, 2001.
- [10] Belmonte, M., Fernandes, A.J.S., Costa, F.M., Oliveira, F.J. and Silva, R.F., “Adhesion behaviour assessment on diamond coated silicon nitride by acoustic emission,” *Diamond Relat. Mater.*, vol. 12, pp. 733-737, 2003.
- [11] Amaral, M., Oliveira, F.J., Belmonte, M., Fernandes, A.J.S., Costa, F.M. and Silva, R.F., “Tailored Si_3N_4 Ceramic Substrates for CVD Diamond Coating”, *Surf. Eng.*, vol. 19, pp. 410-16, 2003.
- [12] Çelik, A., Lazoglu, I., Kara, A. and Kara, F., Investigation on the performance of SiAlON ceramic drills on aerospace grade CFRP composites, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 223, pp. 39-47, 2015.
- [12] Mallika, K. and Komanduri R., “Low pressure microwave plasma assisted chemical vapor deposition (MPCVD) of diamond coatings on silicon nitride cutting tools,” *Thin Solid Films*, vol. 396, pp. 145–165, 2001.
- [13] Cappelli, E., Esposito, L., Pinzari, F., Mattei, G. and Orlando S., “Diamond nucleation and adhesion on sintered nitride ceramics,” *Diamond and Related Materials*, vol. 11, pp. 1731–1746, 2002.
- [14] Chae, K.W., Baik, Y.J. and Kim, D.Y., “Dependence of the diamond coating adhesion on the microstructure of SiC-based substrates,” *Diamond and Related Materials*, vol. 8, pp. 1018–1021, 1999.
- [15] Huang, T.H., Kuo, C.T. and Lin, T.S., “The role of cemented WC substrate morphology on the diamond film growth and cracking resistance,” *Scripta Metallurgica*, vol. 26, pp. 1481-86, 1992.
- [16] Yen, T.Y., Kuo, C.T. and Hsu, S.E., “Adhesion of diamond films on various substrates,” *Mat. Res. Soc. Proc.*, vol. 168, pp. 207, 1990.