

AISI 316 ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİĞİN DELİNMESİNDE TEK KATLI VE ÇOK KATLI KAPLAMALARIN DELİK KALİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Turgay KIVAK^{a*}, Adem ÇİÇEK^b, İlyas UYGUR^c, Nursel ALTAN ÖZBEK^a

^aDüzce Üniversitesi, Cumayeri Meslek Yüksekokulu, Makine Bölümü,

Tel: 0-380-735 51 99, turgaykivak@duzce.edu.tr, nurselaltan@duzce.edu.tr, Düzce/TÜRKİYE

^bDüzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü,

Tel: 0-380- ademcicek@duzce.edu.tr, Düzce/TÜRKİYE

^cDüzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,

Tel: 0-380- ilyasuygur@duzce.edu.tr, Düzce/TÜRKİYE

Özet

Bu çalışmada, AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin HSS matkaplarla delinmesinde kaplama malzemeleri (TiN, TiAlN, TiAlN/TiN) ve kesme parametrelerinin, delik çapları, dairesellik ve talaş oluşumu üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Delme deneyleri tek katlı TiN, TiAlN ve çok katlı TiAlN/TiN kaplı M35 HSS matkaplarla, kuru kesme şartlarında, dört farklı kesme hızı (12, 14, 16, 18 m/dak) ve üç farklı ilerleme hızı (0,08; 0,1; 0,12 mm/dev) kullanılarak yapılmıştır. Delik çap ve dairesellik ölçümleri ışığında kesici takım kaplama malzemeleri arasında karşılaştırma yapılmıştır. Genel olarak delik çap ve dairesellikleri açısından en iyi sonuçlar, çok katlı TiAlN/TiN kaplı takımlardan elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: AISI 316, delme, kaplama malzemesi, delik kalitesi

1. Giriş

Paslanmaz çeliklerin bir grubu olan ve en yaygın kullanım alanına sahip östenitik paslanmaz çelikler, yüksek mukavemet ve korozyon direnci [1], yüksek deformasyon sertleşme hızı ve düşük ısı iletkenlikleri [2] sayesinde uçak, kimya, petro-kimya, gıda, ilaç endüstrisinde, nükleer enerji santrallerinde, takım ve paslanmaz eşya endüstrisinde geniş kullanım alanına sahiptir [3,4]. Ancak, yüksek mukavemet, yüksek deformasyon sertleşme hızı, düşük ısı iletkenliği ve sünek bir yapıya sahip olması sebebiyle bu çeliklerin işlenmesi oldukça zordur [3]. Talaşlı imalattaki gelişmeler; kesme ve ilerleme hızlarının gün geçtikçe artması, üretimde farklı malzemelerin kullanılması ve talaşlı üretim tezgâhlarının gelişimi, kesici takımların da gelişimini sağlamıştır. Günümüzde HSS takımların kesme özellikleri önemli derecede iyileştirilmiştir. Teknolojik gelişmelerin bir sonucu olarak kaplamalı ve toz metalürjisi ile üretilmiş HSS takımlar günümüzde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır [5]. Modern kesici takımların gelişmesinde en önemli teknolojik avantajlardan biri, kesici takımlar üzerine yüksek aşınma direncine sahip olan sert kaplamaların uygulanmasıdır. Sert kaplamaların kullanımının takım ömrü ve işleme performansı açısından faydalı olduğu ispatlanmıştır. Son yıllarda, kesme ve ilerleme hızının artmasıyla kaplama teknolojisine eğilim artmıştır. Kaplama teknolojisindeki önemli gelişmeler, çevresel ve ekonomik kriterler, çoğu araştırma çalışmasını kuru kesme operasyonlarına yöneltmiştir [6]. TiN

kaplamalar kesici takıma yüksek sertlik, düşük sürtünme katsayısı, iyi korozyon ve oksidasyon direnci sağladıklarından, geniş bir kullanım alanına sahiptirler [7,8]. TiN kaplamalarına alternatif olarak, yüksek oksidasyon direnci [9-13], yüksek tokluk [14] ve yüksek korozyon direncine sahip olan TiAlN kaplamalar geliştirilmiştir. TiAlN kaplamalar, düşük ısı iletkenliği [10] ve sürtünme özelliği [12] sayesinde de özellikle yüksek hızlarda kuru kesme uygulamalarında yoğun olarak kullanılmaktadır [15,16]. Ancak, TiAlN kaplamalar genellikle düşük kesme hızlarında ve kesikli kesme şartlarında yüksek sertliğinden ve sürtünme katsayısından dolayı TiN kaplamadan daha kötü performans sergilemektedirler [17].

SKD 11 çeliği üzerine yapılan bir takım deneyler sonucunda, TiAlN kaplama malzemesi aşınma direncinde TiN kaplamasına göre üstün bir etki gösterdiği tespit edilmiştir. TiAlN kaplaması gevrek kırılma ve oksidasyon direnci açısından başarısız iken, TiN kaplaması oksidasyon ile plastik deformasyonda başarısız olmuştur. Ancak TiN kaplama TiAlN kaplamadan daha iyi abrasif aşınma direnci göstermiştir [18]. AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin işlenmesinde, TiN ve TiAlN kaplamaları işlenebilirlik açısından kıyaslandığında, TiAlN kaplamanın, yüksek oksidasyon direnci ve mukavemete sahip olduğundan, yüksek hızlarda işleme için daha avantajlı olabileceği gözlenmiştir [13]. Inconel 718, orta karbonlu SAE 1045 çeliği ve küresel grafitli dökme demir, TiN, TiCN ve TiAlN tek katlı kaplanmış sementit karbür takımlarla düşük ve yüksek hızlarda tornalandığında, TiAlN kaplı takımın yüksek ısı sertlik ve oksidasyon dayanımına bağlı olarak yüksek hızlarda en iyi işleme performansını sergilediği gözlenmiştir [11]. HSS matkaplara uygulanan TiN, TiAlN ve TiAlZrN tek katlı ve TiAlN/TiAlZrN çok katlı kaplamalar kıyaslandığında, çok katlı kaplanmış matkaplar tek katlı kaplanmış matkaplara göre üstün delme performansı sergilemiştir [6]. TiN, TiC ve çoklu katmanlarla kaplanmış yüksek hız çeliğinin mikro sertlikleri incelendiğinde en yüksek sertlik çoklu katmanlarla kaplanmış takımlarda gözlenmiştir [19]. PVD ve CVD yöntemiyle farklı kaplama malzemeleri kullanılarak (TiN+TiAlSiN+AlSiTiN, TiN+TiAlSiN+TiN, TiCN+TiN, TiN+Al₂O₃, TiN, TiN+multiTiAlSiN+TiN, TiAlN) kaplanmış seramik kesici takımlarla kuru kesme şartları altında yüksek kesme hızlarında yapılan aşınma deneylerinde en iyi performansı TiAlN kaplı kesici takım, yüzey pürüzlülüğü testlerinde ise en iyi performansı TiN+multiTiAlSiN+TiN kaplı kesici takım göstermiştir [20]. PVD yöntemiyle tek ve çok katman olarak kaplanmış sermet uçların frezelemedeki takım ömürleri karşılaştırıldığında TiN ve TiAlN kaplı sermet uçların diğer kaplamalı ve kaplamasız uçlara göre çok daha fazla kesici takım ömrüne sahip olduğu anlaşılmıştır [21].

2. Deneysel çalışma

Delme deneylerinde 170x100x15mm ebadında AISI 316 paslanmaz çelik plakalar kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan AISI 316 paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir. Delme deneyleri kuru kesme şartları altında JOHNFORD VMC 850–7,5 kW CNC dik işleme merkezinde yapılmıştır. Kesici takım olarak, Guhring kesici takım firması tarafından imal edilmiş 6 mm çapında tek katlı TiAlN, TiN ve çok katlı TiAlN/TiN (Fire) kaplı HSS (DIN 1897) matkaplar kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan M35 HSS matkapların teknik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Delme deneylerinde dört farklı kesme hızı (12, 14, 16, 18 m/dak) ve üç farklı ilerleme hızı (0,08; 0,1; 0,12 mm/dev) kullanılmıştır. Delme esnasında olası yüzey hasarlarından kaçınmak amacıyla numunelerin alt ve üst yüzeyleri taşlanmıştır. Delinen deliklerin eksenler arası mesafesi 9 mm olacak şekilde 13 mm derinliğinde kör delikler delinmiştir. Alınan verilerin doğruluğunu teyit etmek amacıyla her deney üç kez tekrarlanmıştır.

Tablo 1. AISI 316 paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu
0.05	0.380	0.971	0.039	0.006	16.58	9.94	2.156	0.321

Tablo 2. Kesici takım ve kaplama özellikleri

	Kaplamalı-HSS (TiN-PVD)	Kaplamalı-HSS (TiAlN-PVD)	Kaplamalı-HSS (TiAlN/TiN-PVD)
Takım malzemesi	M35	M35	M35
Helis boyu (mm)	26	26	26
Toplam boy (mm)	62	62	62
Uç açısı (derece)	118	118	118
Helis açısı (derece)	35	35	35
Kaplama kalınlığı (μm)	2.5	2.5	4
Sertlik (HV 0.05)	2200	3300	3600
Kaplama yapısı	Tek katlı	Tek katlı	Çok katlı
Katman sayısı	1	1	6
Sürtünme katsayısı	0.25	0.3	0.3
Termal iletkenlik (kW/mK)	0.07	0.05	0.05

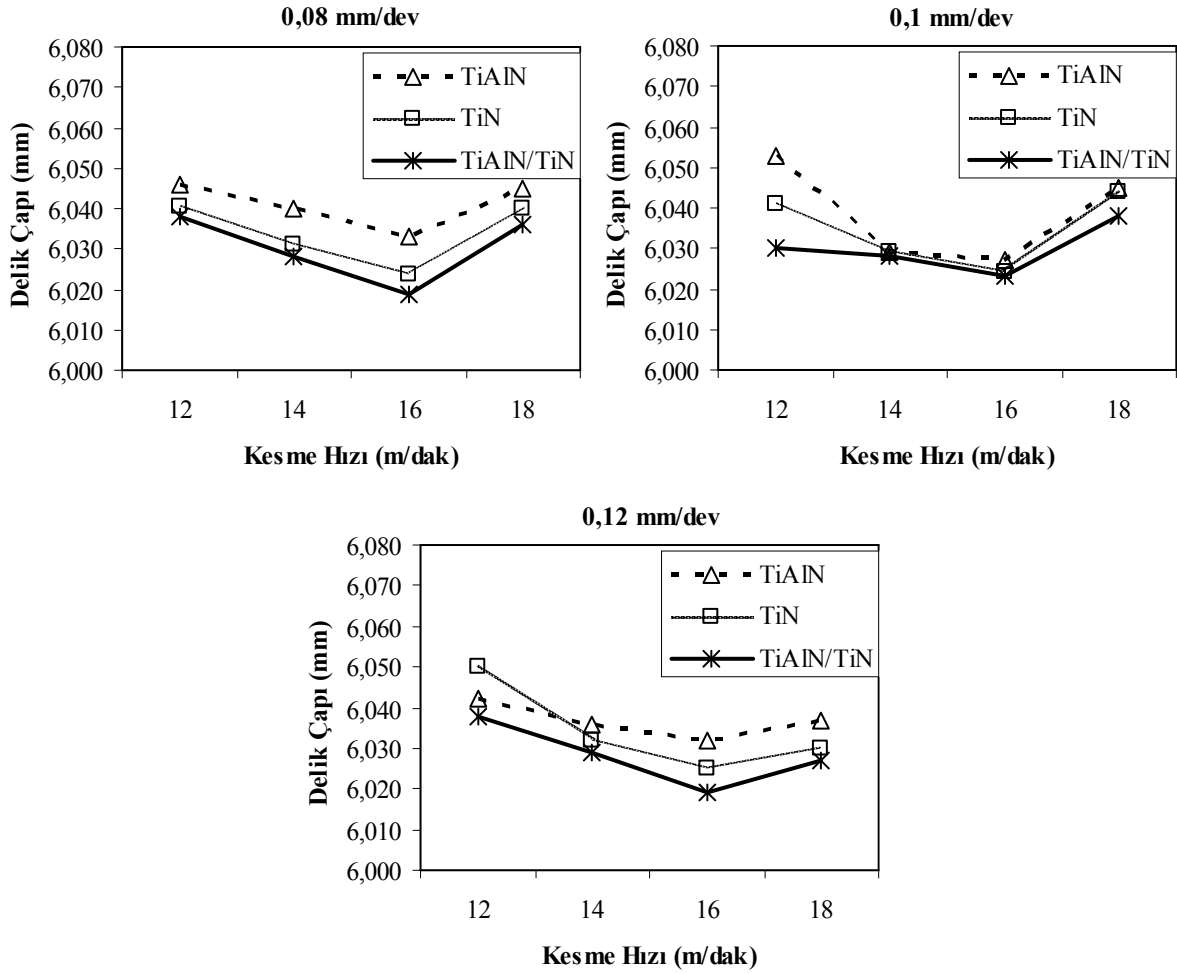
Delinebilirlik çalışmalarında, delik çaplarının nominal çapa yakınlığı ve düşük dairesellik hataları delik kalitesi açısından oldukça önem taşımaktadır. Delinen deliklerin çap ve dairesellikten sapma ölçümleri Mitutoyo marka CRT-A C544 model üç boyutlu CMM (Coordinate Measuring Machine) cihazında en az 10 noktadan ölçüm alınarak gerçekleştirilmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışma

3.1. Delik Çapı ve Dairesellikten Sapma

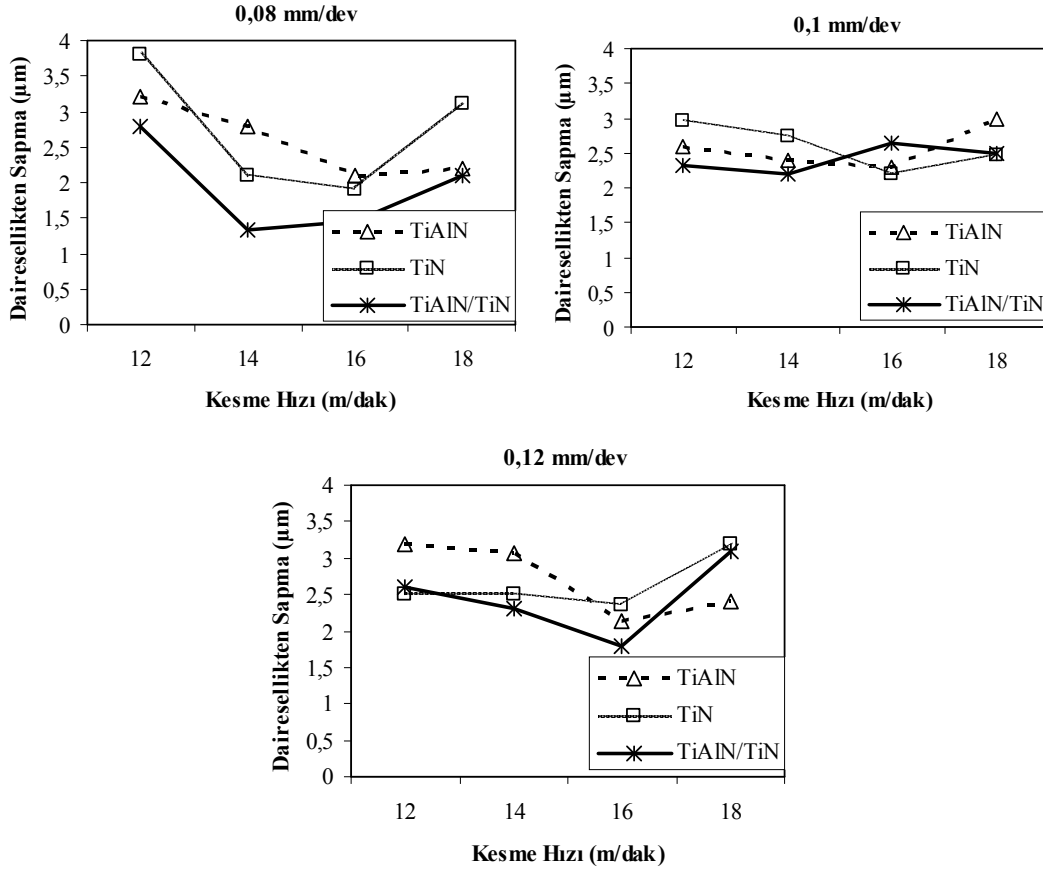
Şekil 1’de kesme parametrelerine ve kaplama malzemesine göre delik çaplarındaki değişimi veren grafikler görülmektedir. Delik çap değerleri kaplama malzemesi, kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak 6,019–6,053 mm arasında değişim göstermiştir. Kesme hızının artması ile delik çap değerlerinde 16 m/dak kesme hızına kadar azalma meydana gelmiştir. 16 m/dak kesme hızından sonra meydana gelen artışlar, bu kesme hızının kritik kesme hızı değeri olduğunu göstermektedir. 18 m/dak kesme hızında, kesici takımın aşınma sürecine girdiği, kesme işleminin zor şartlar altında meydana geldiği ve kesme bölgesinde yüksek sıcaklıkların oluştuğunu grafiklerdeki değişimlerden çıkarmak mümkündür. İlerleme hızındaki artışta ise delik çap değerlerinde çok fazla değişim kaydedilmemiştir. Delik çap değerlerinde nominal çapa (6 mm) en yakın çap değerleri çok katlı TiAlN/TiN kaplı kesici takımlarla delinen deliklerden elde edilmiştir. Çok katlı kaplamalarda, üst üste yapılan ince kaplama katmanları sayesinde kesici takım üzerinde daha düzgün bir yüzey formu elde edilmektedir. Ayrıca, TiAlN/TiN kaplı takım, yüksek sertliğinden dolayı yüksek abrasif aşınma direnci sergilemektedir. Bu sebeple, TiAlN/TiN kaplı matkaplarla delinen deliklerin çap değerlerinin nominal çapa daha yakın olduğu ve dairesellikten sapma değerlerinin daha az olduğu düşünülmektedir. Delik çapları bakımından kaplama

malzemeleri, yüksek performansa düşük performansa doğru TiAlN/TiN, TiN ve TiAlN şeklinde sıralanabilir.



Şekil 1. Kesme hızı, ilerleme ve kaplama malzemesine bağlı olarak delik çaplarındaki değişim

Şekil 2'deki grafiklerden kaplama malzemeleri ve kesme parametrelerine bağlı olarak dairesellikten sapma değerlerindeki değişimler görülmektedir. 1,3–3,8 μm arasında değişen dairesellikten sapma değerleri kaydedilmiştir. Dairesellikten sapma bakımından TiAlN/TiN kaplama diğer kaplama malzemelerine üstünlük sağlamıştır. Delik çaplarından sapmada olduğu gibi dairesellikten sapmada da benzer değişimler kaydedilmiştir. Dairesellikten sapma değerleri üzerinde kesme hızındaki artış ilerleme hızındaki artıştan daha etkili olmuştur.

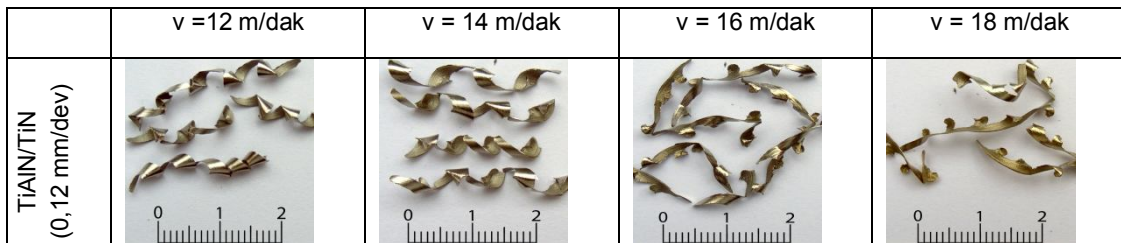


Şekil 2. Kesme hızı, ilerleme ve kaplama malzemesine bağlı olarak dairesellikten sapmadaki değişim

3.4. Talaş Oluşumu

Delme deneyleri sırasında talaş tipi ve özelliklerini belirlemek için talaş örnekleri alınmıştır. Şekil 3'te sabit ilerlemede (0,12 mm/dev) kesme hızına bağlı olarak TiAlN/TiN, TiN ve TiAlN kaplı takımlarla delinen deliklerden alınan talaş formlarındaki değişim görülmektedir. Düşük kesme hızlarında oluşan küçük adımlı helisel talaş formu, kesme hızının artması ile büyük adımlı helisel talaş tipine dönüşmüştür. TiN ve TiAlN kaplı takım ile delinen deliklerden alınan talaş örneklerinden 14 m/dak kesme hızından sonra başlayan testere dişi oluşumu, kesme hızının artması ile artış göstermiştir. 18 m/dak kesme hızında talaşın renginin sarardığı ve talaşın daha sert ve kırılabilir bir yapıya büründüğü görülmüştür. TiAlN/TiN kaplamalı takım ile delinen deliklerden alınan talaş formlarının daha düzenli olduğu ve testere dişi oluşumunun 16 m/dak kesme hızından sonra görülmeye başladığı tespit edilmiştir. Bu durum, TiAlN/TiN kaplamalı takımın yüksek aşınma direncine atfedilmiştir.

Üç farklı takım da 18 m/dak kesme hızındaki talaş örneklerinden, kesme işleminin zor şartlar altında meydana geldiği ve kesme bölgesinde yüksek sıcaklıkların oluştuğu, bunlara bağlı olarak da talaş şeklinin düzensiz olduğu söylenebilir. Bu kesme hızında her üç takım da da delik çap ve dairesellikten sapma değerlerinde meydana gelen artış da bunu doğrular niteliktedir.





Şekil 3. 0,12 mm/dev ilerlemede artan kesme hızı ile talaş formlarındaki değişim

4. Sonuçlar

Farklı kaplamalara (çok katlı TiAlN/TiN, tek katlı TiN ve TiAlN) sahip HSS matkaplar kullanılarak AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğinin delinebilirliği üzerine yapılan deneysel çalışmalar neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Genel olarak AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin delinebilirliği üzerinde performansları bakımından kıyaslandığında kaplama malzemeleri, iyiden kötüye doğru TiAlN/TiN, TiN ve TiAlN kaplama olarak sıralanabilir.

Delik çap ve daireselliklerinin değişiminde kesme hızı, ilerleme hızından daha etkili olmuştur.

Delik çap ve dairesellikleri bakımından en iyi performansı TiAlN/TiN kaplı takım göstermiştir

Üç takımda da düşük kesme hızlarında daha düzenli olan sürekli, küçük adımlı helisel talaş şekli, kesme hızının artması ile büyük adımlı testere dişi şekilli talaş formuna dönüşmüştür. TiAlN/TiN kaplı takımla elde edilen talaş şekillerinin daha düzenli olduğu görülmüştür.

Teşekkür

Yazarlar bu çalışmayı; 2009.03.02.030 No'lu Proje ile destekleyen Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Başkanlığı'na teşekkür eder.

Kaynaklar

Cheng, F.T., Lo, K.H. and Man, H.C., A preliminary study of laser cladding of AISI 316 stainless steel using preplaced NiTi wire, *Materials Science and Engineering A*, V 380, 2004, 20–29.

Çakır, M.C., *Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri*, Vipaş A.Ş., Bursa, Türkiye, 2000, 350-390.

Reiter, A.E., Brunner, B., Ante, M. and Rechberger, J., Investigation of several PVD coatings for blind hole tapping in austenitic stainless steel, *Surface & Coatings Technology*, V 200, 2006, 5532–5541.

Maranhão, C. and Paulo Davim, J., Finite element modelling of machining of AISI 316 steel: Numerical simulation and experimental validation, *Simulation Modelling Practice and Theory*, V 18, 2010, 139–156.

Da silva, F.J., Franco, D.D., Machado, A.R. and Ezugwu, E.O., Souza Jr, A.M., Performance of cryogenically treated HSS tools, *Wear*, V 261, 2006, 674-685.

- Braic, V., Zotia, C.N., Balaceanu, M., Kiss, A., Vladescu, A., Popescu, A. and Braic, M., TiAlN/TiAlZrN multilayered hard coatings for enhanced performance of HSS drilling tools, *Surface & Coatings Technology*, V 204, 2010, 1925–1928.
- Krella, A. and Czyzniewski, A., Influence of the substrate hardness on the cavitation, erosion resistance of TiN coating, *Wear*, V 263, 2007, 395–401.
- Arslan, E. and Efeoğlu, İ., Effect of heat treatment on TiN films deposited by CFUBMS, *Materials Characterization*, V 53, 2004, 29–34.
- Smith, I.J., Gillibrand, D., Brooks, J.S., Münz, W.-D., Harvey S. and Goodwin, R., Dry cutting performance of HSS twist drills coated with improved TiAlN, *Surface and Coatings Technology*, V 90, No 1, 1997, 164-171.
- Barshilla, H.C., Yogesh, K. and Rajam, K.S., Deposition of TiAlN coatings using reactive bipolar-pulsed direct current unbalanced magnetron sputtering, *Vacuum*, V 83, 2009, 427–434.
- Jindal, P.C., Santhanam, A.T., Schleinkofer, U. and Shuster, A.F., Performance of PVD TiN, TiCN and TiAlN coated cemented carbide tools in turning, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, V 17, No 1, 1999, 163-170.
- Ma, L.W., Cairney, J.M., Hoffman, M.J. and Munroe, P.R., Deformation and fracture of TiN and TiAlN coatings on a steel substrate during nanoindentation, *Surface & Coatings Technology*, V 200, 2006, 3518–3526.
- Yoon, S.Y., Kim, J.K. and Kim, K.H., A comparative study on tribological behavior of TiN and TiAlN coatings prepared by arc ion plating technique, *Surface & Coatings Technology*, V 161, 2002, 237-242.
- Escudeiro Santana, A., Derflinger, V.H. and Schütze, A., Relating hardness-curve shapes with deformation mechanisms in TiAlN thin films enduring indentation, *Materials Science and Engineering A*, V 406, 2005, 11–18.
- Yu, D., Wang, C., Cheng, X. and Zhang, F., Optimization of hybrid PVD process of TiAlN coatings by Taguchi method, *Applied Surface Science*, V 255, 2008, 1865–1869.
- Castanho, J.M. and Vieira, M.T., Effect of ductile layers in mechanical behaviour of TiAlN thin coatings, *Journal of Materials Processing Technology*, V 143-144, 2003. 352-357.
- Chen, L., Du, Y., Yin, F., and Li, J., Mechanical properties of (Ti, Al)N monolayer and TiN/(Ti, Al)N multilayer coatings, *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, V 25, 2007, 72–76.
- Yoon, S.Y., Lee, K.O., Kang, S.S. and Kim, K.H., Comparison for mechanical properties between TiN and TiAlN coating layers by AIP technique, *Journal of Materials Processing Technology*, V 130-131, 2002, 260-265.
- Zhao Y, Lin G, Xiao J, Dong C and Wen L., TiN/TiC multilayer films deposited by pulse biased arc ion plating, *Vacuum*, doi: 10.1016/j.vacuum.2009.04.043.
- Dobrzanski, L.A. and Mikula, J., Structure and properties of PVD and CVD coated Al₂O₃ + TiC mixed oxide tool ceramics for dry on high speed cutting processes, *Journal of Materials Processing Technology*, 164-165, 2005, 822-832.
- Errico, G.E. and Guglielmi, E., A comparative study of PVD coated cermet inserts for milling applications, *Journal Of Material Processig Technology*, V 78, 1998, 48-52.