

Tool Wear Measurement by High Resolution Optical Scanning: First Results

Baris Cetin (Corresponding author)

FNSS Defense Systems Co. Inc, Engineering and Research Department, Ankara, Turkey
E-mail: cetin.baris@fnss.com.tr

Goksel Durkaya

Atilim University, Metallurgical and Materials Engineering Dept., Ankara, Turkey

Huseyin Kurtuldu

Baskent Univeristy, Biomedical Engineering Dept., Ankara, Turkey

Hakan Kaplan

Atilim University, Nanoscopy Laboratory., Ankara, Turkey

Mustafa Can Uzun

Tobb University of Economics and Technology, Mechanical Engineering Dept., Ankara, Turkey

Abstract

The technological advances in material science provide new materials with higher strength and toughness to be used in new engineering designs. This continuous increase in strength of workpiece materials necessitates tool steels and coatings with improved performance. Since the surface finish of the final product depends on the amount of tool wear, tool steels and tool coatings have critical importance for their overall quality. On the other hand, wear resistance is the main parameter determining the mechanical performance of tool steels and/or tool coatings. To characterize wear resistance, machining experiments are designed for different new tool steels and tool coatings where the best tool steel and/or tool coating exhibit the least amount of wear for the specific machining parameters/conditions. In order to evaluate the results to analyze the performance of the tools or coatings, measurement of the tool wear with high precision is required. In this contribution, development of a novel volumetric wear resistance measurement system based on high precision 3D optical scanning is discussed with respect to its advantages, precision and engineering solutions provided.

Keywords: Tool wear, Wear resistance, 3D optical scanning

Yüksek Çözünürlüklü Optik Tarama ile Takım Aşınması Ölçümü: İlk Sonuçlar

Özet

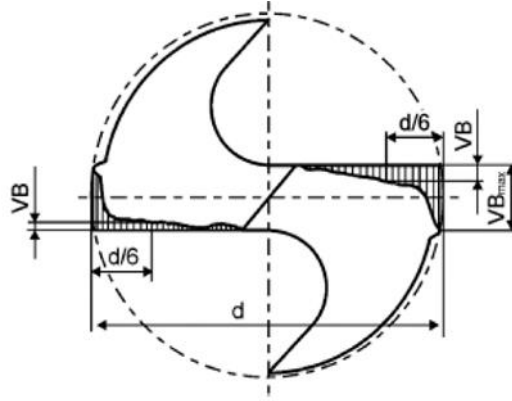
Malzeme bilimi konusundaki teknolojik gelişmeler ile birlikte yeni nesil, daha mukavim, tokluğu daha yüksek malzemeler tasarımlarda kullanılmaktadır. İş parçalarının dayanıklılıklarındaki bu devamlı yükselme eğilimi, daha performanslı takım çeliklerinin ve takım kaplamalarının kullanımını gerekli kılmaktadır. Bitmiş parçanın yüzey pürüzlülük kalitesi takım aşınmasına bağlı olduğu için takım çeliği ve kaplamasının son ürün kalitesine de etki ettiği açıktır. Takım çeliklerinin ve/veya takım kaplamalarının mekanik performanslarının değerlendirilmesindeki en başat kriter ise aşınma direncidir. Aşınma direncini iyileştirmek amacıyla, sıklıkla yeni takım çeliği malzemelerinin ve farklı tipteki takım kaplamalarının talaşlı imalat koşullarında denemeleri yapılmakta ve aşınma dirençleri ölçülmektedir. Aynı talaşlı imalat

parametrelerindeki aşınma miktarı ne kadar az ise yeni takım çeliği ve/veya kaplaması o kadar başarılıdır. Bu makalede aşınma miktarının hassas bir şekilde ölçülmesi için geliştirilen yüksek hassasiyetli, hacimsel 3B optik tarama sistemi konu alınmış, yeni bir yaklaşım yöntemi olan bu ölçüm sistemin avantajları, kullandığı mühendislik çözümleri ve ölçüm hassasiyeti irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Takım aşınması, Aşınma direnci, 3B optik tarama

1. Giriş

Takım çeliklerinin performansını artırmak için uygulanan kaplamaların uyumluluğu ve kalitesi karakterizasyon testleri ile belirlenirken, sonuçta elde edilen ömür artışının belirlenmesi için karşılaştırmalı olarak talaşlı imalat testlerinin yapılması gereklidir. Bu testlerde, takım uçlarının kesici yüzeylerindeki aşınma etkilerini incelemek için çoğunlukla optik görüntüleme yöntemleri kullanılmaktadır. Literatürdeki mevcut bilimsel çalışmaların çoğunda kullanılan bu optik aşınma analiz yöntemleri, genellikle iki boyutlu analizlere dayanmaktadır. Şekil 1'de gösterilen yöntem en yaygın kullanılan yöntemlerdendir ve tamamıyla iki boyutlu optik görüntü analizine dayanmaktadır. Hâlbuki aşınmanın yalnızca kesici uç bölgesinde etkili olmayacağı aksine helis yapıda da etkili olacağı ve bu durumun üç boyutta bir hacim eksilmesine yol açacağı açıktır. Dolayısıyla, takım uçlarının performans testlerinde kullanılacak yeni nesil ve hassas 3 boyutlu analiz sistemleri geliştirilerek aşınma hakkında hacimsel bilgilerin de elde edilmesi ile daha yüksek performanslı yeni nesil kaplama malzemeleri ve uygulamaları geliştirmek mümkün olacaktır.

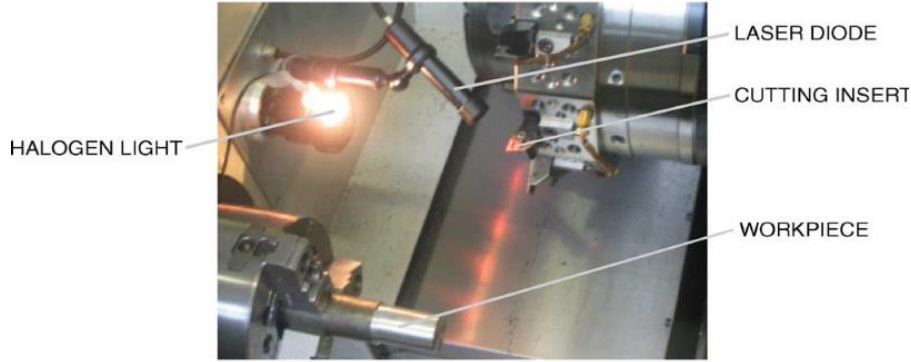


Şekil 1. Matkap uçlarında aşınmanın 2 boyutlu ölçülmesi için önerilen bir yöntem [1].

Bu çalışma Kübik Bor Nitrür ile kaplanmış helis yapılu takım uçlarının aşınma analizi üzerine yoğunlaşmıştır. Bu kaplama malzeme sisteminin aşınma direncine etkisinin 3 boyutta hacimsel olarak hassas bir şekilde analizine yönelik özgün bir optik sistem geliştirilmiştir ve ilk sonuçlar bu yayında sunulmuştur.

2. Aşınmanın Üç boyutta Ölçümünün Avantajları

Talaşlı imalat takımlarındaki aşınma (flank wear) üretim kalitesini düşüren ve maliyetini artıran en önemli etkenlerden birisidir [2]. Bunun sebebi, takım ucu tarafından işlenen malzemenin geometrisinin tamamen takım ucunun geometrisine bağlı olmasıdır. Sonuç olarak, aşınma sebebiyle takım ucunda ortaya çıkacak geometrik farklılıklar işlenen malzeme ile tasarlanan arasında boyutsal farklılıklara sebebiyet vererek işleme kalitesini düşürmektedir. Hassas parçaların üretiminde ise sarf maliyetini artırmak ve verimliliği kısıtlamak suretiyle maliyetleri artırmaktadır. Aşınma ölçümü konusunda geleneksel yöntemler kullanan fazla sayıda uygulama ve bilgi birikimi mevcuttur. ISO 3685 standardı da aşınma ölçümü için tanımlanmıştır. Birikmiş bilgi birikimi genellikle kesme uçlarındaki (cutting inserts) aşınmayı optik büyütme yöntemi ile bilgisayar ortamında ölçüm metodu ile ilgilidir [3, 4, 5]. Alakalı çalışmaların bir kısmında ölçüm, işleme tezgâhi üzerinde aşınmanın ölçümü üzerine kurulmuştur [6, 7, 1]. Şekil 2'de gösterilen sistem işleme sırasında ölçümün tipik bir örneğidir. Literatürde lazer interferometre yaklaşımını kullanan optik tarama çalışmaları da mevcuttur [8, 9].



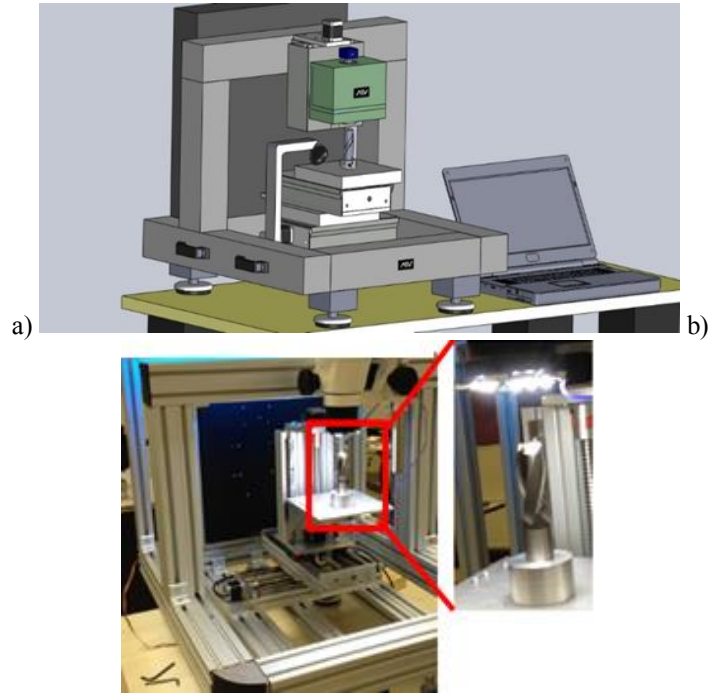
Şekil 2. CNC torna tezgâhı üzerinde kurulmuş 2 boyutlu aşınma ölçüm düzeneği [6]

Bu metotların hepsi, alınan görüntülerin görüntü işleme teknikleri kullanılarak karşılaştırmalı olarak iki boyutta incelenmesine dayanır. Fakat aşınmanın üçüncü boyuttaki etkisi hakkında kısıtlı bilgi verilebilmektedirler. Bu çok önemli derinlik bilgisini elde etmek için çalışmalar da yapılmıştır [4]. Bu çalışmalarda kullanılan saçak metodu 3 boyutta bilgi vermeyi başarsa da, özellikle kaplama yapılmış takım uçlarının aşınma analizlerinde daha yüksek üç boyutlu derinlik hassasiyeti gerekmektedir [10]. Ayrıca atıf yapılan bilimsel çalışmalar genel olarak matkap ucu ve parmak freze gibi helis yapılı uçlar için yapılmamıştır. Talaşlı imalatta yoğun bir şekilde kullanılan helis yapılı takımlar için de yeni metotların ve tekniklerin geliştirilmesi üzerine araştırmalar yapılması gerekmektedir.

2-Boyutlu ölçümlerde kullanılan telesentrik lensler, aşınma derinliği hakkındaki bilgiyi sınırlandırırken, görüntü işlemede kullanılan eşik filtreleme metodu da derinlik hakkında direkt olarak bilgi verememektedir. Hâlbuki aşınmanın derinliğinin hassas olarak ölçülmesi takım ucundaki aşınma dayanımının belirlenmesinde önemli bir faktördür. Aşınma miktarının yüksek bir hassasiyetle, mümkünse kaplama kalınlığından daha hassas bir şekilde 3 boyutlu olarak ölçülebilmesi, imalat denemesi sonrasında kaplamanın kalktığı ve kalkmadığı bölgelerin de tespit edilmesine imkân verebilecektir. Diğer yandan, bu bildiride incelenen Kübik Bor Nitrür (CBN) kaplamanın kalınlığının, yüzey yapışkanlığı ve basma gerilimleri üzerinde önemli etkisi vardır. Bazı özel yöntemler (gerilim giderme, tavlama, sputter cleaning, vb.) kullanılarak 1,3 µm kalınlıklarda düşük gerilim değerlerine sahip CBN kaplamalar elde edilebilmektedir [11].

3. Kavramsal Tasarım ve Uygulama Ayrıntıları

Kübik Bor Nitrür kaplı helis yapılı uçların aşınma dirençlerinin analiz edilmesi amacıyla geliştirilen yüksek çözünürlüklü 3B hacimsel analiz sistemi 100 nanometre derinlik ve boyut hassasiyetine sahiptir ayrıca geliştirilen bu sistem hacimsel karşılaştırma yöntemi kullanarak uçlardaki aşınmaları tespit etmektedir. İlk olarak, işleme öncesi sıfır takımların ölçüm sistemi ile taramaları daha sonra da takımların belirli işleme aralıklarında ara 3B taramaları yapılacaktır. Her bir taramanın dosyası, bilgisayar ortamında arşivlenecektir. Nokta bulutundan (point cloud) yüzey elde edilmesi için kullanılacak ileri seviyeli matematiksel algoritmalar için İncek Nano Teknoloji Ltd. (www.aivlabs.com) firması tarafından geliştirilen yerli kodlar kullanılmaktadır. Böylece, hassas bir aşınma ölçümü yapılabileceği gibi bölgesel olarak da aşınmanın daha fazla olduğu bölgeler tespit edilebilmektedir. Bu sistem otomatik odaklama ve fokus metre özellikleri ile her zaman doğru uç bölgelerinin incelenmesini sağlayarak manuel odaklamadan kaynaklanan belirsizlikleri de ortadan kaldırmaktadır. Ölçüm cihazı için 5 MP yüksek çözünürlüklü, renkli, düşük gürültülü CMOS/CCD kameralar kullanılmaktadır. Ayrıca, LED teknolojisi kullanılarak eğik açı, karanlık alan ve epi-karanlık ışıklandırma metotları ile yansıtıcı ışınma etkisini azaltarak hedef köşe ve çıkıntı bölgelerinin görüntülenmesine imkân sağlamaktadır. Diğer yandan, tam otomatik 3 boyutlu hareket sayesinde istenilen tüm kesici bölgeleri inceleyerek hafızasında tutabilmektedir. Geliştirilecek yazılım ise 100 ayrı uç için kullanıcı tarafından programlanabilir özelliğine sahip ve kullanıcı tarafından numaralanmış her ucun zamana bağlı aşınma takibini ayrı ayrı yapabilmekte ve otomatik raporlama şeklinde sonuçları vermektedir. Proje ve ölçüm çalışmaları boyunca elde edilecek yeni aşınma parametreleri üzerinden, kullanıcı takım ucunun ömür tayin sınırlarını da belirleyebilmektedir. Böylece her takım ucu, tüm ömrü boyunca en optimize şekilde kullanılarak uç maliyetleri açısından ekonomik fayda sağlamakta ve üretilen parçanın kalitesi yükselmektedir.

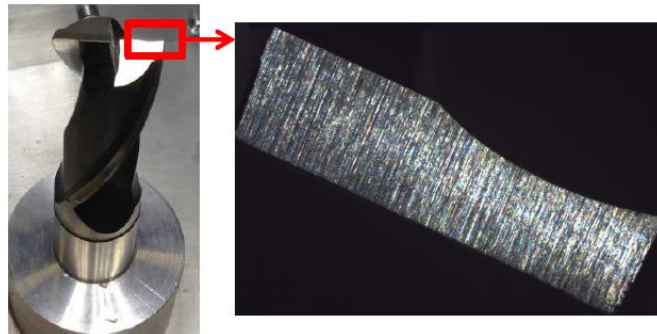


Şekil 3. a) Özel tasarlanmış 3B optik tarama mikroskobu kavramsal tasarım b) laboratuvar uygulaması
Şekil 3.a'da takım uçlarının aşınmasını 3 boyutta hacimsel olarak izlemek için geliştirilen özel sistemin kavramsal tasarımını sunulurken aynı resmin b panelinde laboratuvar uygulaması gösterilmektedir. Takım ucunun örnek tablasına her yerleştirmede aynı pozisyonda durması için özel bir tutucu geliştirilmiştir. Ayrıca LED tabanlı epi modunda karanlık ve eğik açı karanlık ışıklandırma için ayarlanabilir bir ışıklandırma düzeneği de geliştirilmiştir. Bu özgün ışıklandırma sayesinde görüntülerdeki spekular yansıma etkileri azaltılarak değişik takım ucu bölge ve açılarında kameranın sağlıklı çalışması mümkün olmaktadır.

4. Sonuç ve Öneriler

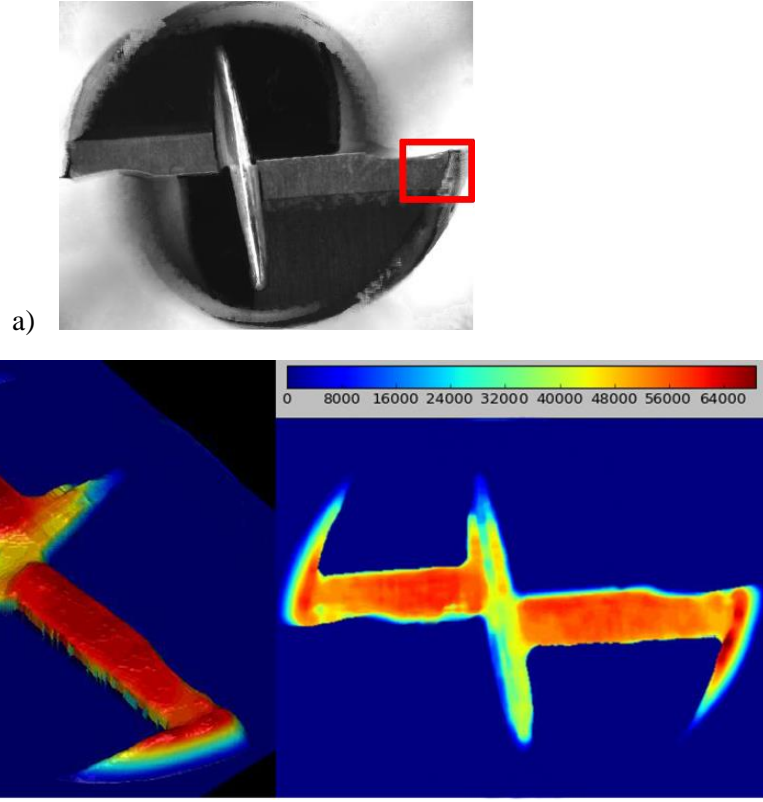
Savunma sanayinin önemli bir alanı olan askeri kara araçlarında, değişik mühendislik gereklilikleri için çok çeşitli malzemeler (çeşitli kalitede yüksek mukavemetli çelikler, zırh çelikleri, değişik temper seviyelerine sahip alüminyum malzemeler, CFRP kompozitler, vb.) kullanılmaktadır. Sektörde kullanılan yüksek mukavemetli çelik malzemeler özelinde, iki ana uygulama sebebi olduğu söylenebilir. Birincisi, yüksek mukavemetli çelikler, yüksek mukavemet ve tokluk özelliğine sahip araç gövdelerinin ve taşıyıcı parçaların imalatında, yapısal gövde elemanları olarak kullanılmaktadır. İkinci kullanım bölgesi ise müşteri şartnamesindeki balistik gereklilik sağlamak için kullanılan zırh çelikleridir.

Şekil 4'te Kübik Bor Nitrür kaplı helis yapıdaki takım ucunun resmi ve kesici bölgenin 2B görüntüsü gösterilmektedir. Resimde görüldüğü gibi kesici uç bölgesinin çok hassas ve yüksek kontrast kaliteli bir görüntüsü elde edilerek Şekil 1'de benzeri gösterilen gibi geleneksel uygulamalarında kolayca yapılabileceği bir laboratuvar uygulaması hayata geçirilmiştir. Kullanılan özgün ışıklandırma tekniği ve kameraların hassasiyeti sayesinde sadece kritik boyutlar değil kesici üzerindeki çizikler bile yüksek çözünürlükte görülebilmektedir.



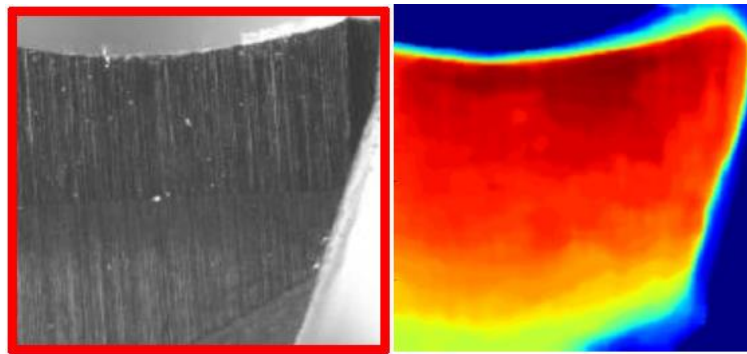
Şekil 4. CBN kaplı takım ucundaki kesici bölgenin 2B görüntüsü

Aynı takım ucunun mikroskop kamerası ile alınmış görüntüsü ise Şekil 5.a'da verilmektedir. Orijinal çözünürlüğü 5MP olan bu resim bir önceki kesici bölge resmi ile birlikte şu anda standart olan 2B aşınma analizleri için yeterli bilgiyi sunmaktadır. Fakat Şekil 5'in b panelinde bulunan aynı ucun 3 boyutlu yapısına bakıldığı zaman standart metotlarda incelenmeyen 3 boyutlu bilgi sayesinde derinliklerdeki hassas değişimler kolayca görülmektedir. Bu panelde görülen resimler (topografi ve renk-haritası) 6,5 mm derinliğe kadar 100nm derinlik çözünürlüğünde alınmıştır.



b) Şekil 5. a) Takım kesici ucu resmi ve b) 3B görüntüsü (topografi ve renk-haritası)

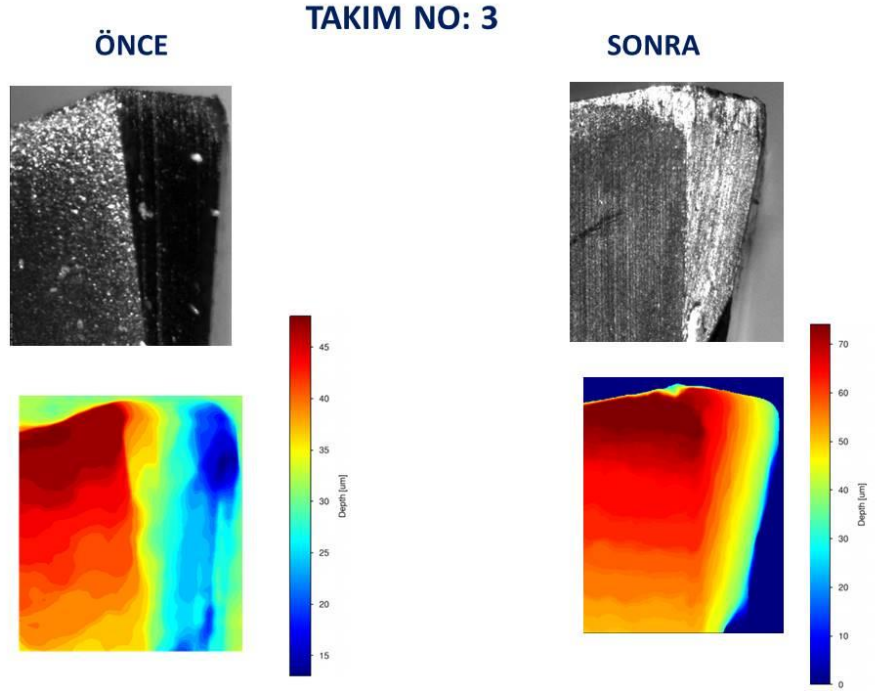
Takım uçlarının aşınmasını 3 boyutta hacimsel olarak izlemek için geliştirilen özel sistemin sahip olduğu çok yüksek görüntüleme derinlik ve tarama alanının bir diğer avantajı da istenilen bölgenin optik büyütme yöntemleri ile büyütülerek yüksek çözünürlükte incelenmesine olanak sağlamasıdır. Şekil 6'da Şekil 5.a'da kırmızı kare içinde gösterilen bölgenin yüksek çözünürlükte bölgesel taraması yapılmıştır. Bir önceki sonuca benzer şekilde bu resimde de 2B ve 3B taramanın farkı açıkça görünmektedir. Şekil 6'da sol tarafta gösterilen 2B görüntüsünde yüzey çizikleri dışında topografik farklılıklar görünmezken aynı bölgenin 3B haritasında bu derinlik farklılıkları açıkça görünmektedir.



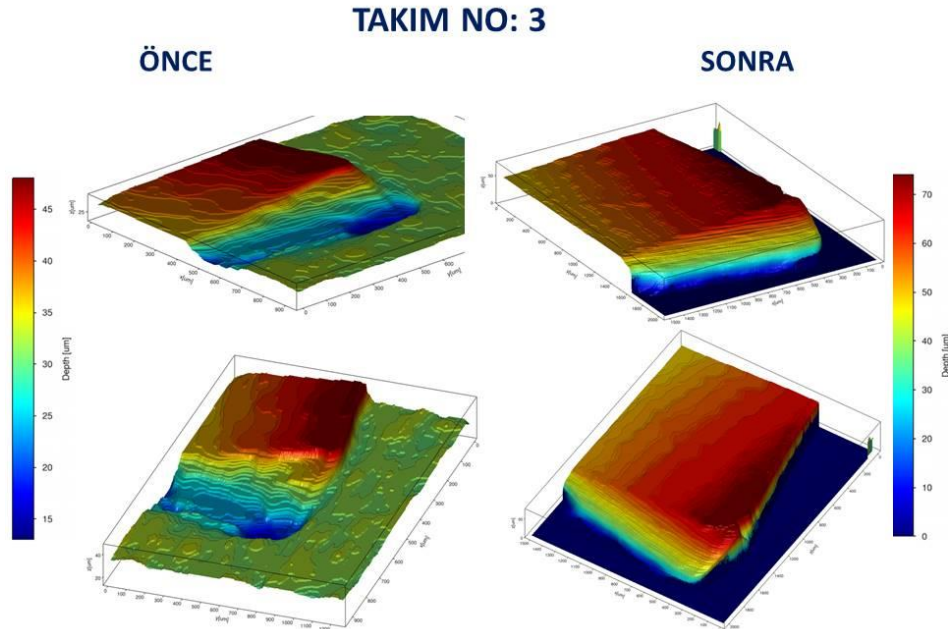
Şekil 6. Takım kesici ucu yüksek çözünürlüklü 2B görüntüsü ve 3 boyutlu hacim haritası (renk-haritası)
Bu çalışmada Kübik Bor Nitrür ile kaplanmış helis yapıları takım uçlarının 3 boyutta hassas analizine

yönelik geliştirilen özgün bir optik sistem hakkında bilgi ve çalışmada elde edilen ilk sonuçlar sunulmaktadır.

Üç boyutta elde edilen ilk çıktılar Şekil 7 ve Şekil 8'de gösterilmiştir. Elde edilen ilk datalar değişik parametreler ile kaplanmış takımların aşınma dirençlerinin karşılaştırmalı incelemesi açısından yeterli bilgiler sunmaktadır. Ayrıca hassas optik tarama yöntemi ile elde edilen nokta bulutu datasından önce yüzey datası oluşturulması ve ardından bu yüzey datalarının üst üste çakıştırılarak aşınmanın hacimsel olarak ölçülmesi çalışmaları devam ettirilmektedir.



Şekil 7. 3 no'lu takımın talaşlı imalat denemeleri öncesi ve sonrasına ait 2B derinlik haritası



Şekil 8. 3 no'lu takımın talaşlı imalat denemeleri öncesi ve sonrasına ait hacimsel tarama dataları
Bu sonuçlara göre bu özgün sistem sayesinde takım uçları toplam 6,50 mm derinliğe kadar 100 nm derinlik hassasiyetinde hem kesici uç, hem de helis yapıyı aynı anda ölçecek şekilde üç boyutta hacimsel

olarak başarıyla ölçülmüştür. 2B ve 3B görüntülerinin karşılaştırıldığında 3B ile elde edilen derinlik bilgisinin 2B görüntülerden elde edilemeyen yeni bilgileri açıkça sağladığı görülmektedir. Yine bu sonuçlarla birlikte anlaşılmıştır ki; 3B görüntülerinde öne çıkmayan fakat 2B görüntülerde ışık saçılımı yüzünden görülebilen yüzey çizik ve pürüzlerinin de derinlikle karşılıklı olarak incelenmesi fırsatı doğmaktadır. Bu çalışmanın sonucunda açıkça görülmektedir ki; takım uçlarının 3 boyutlu hacimsel olarak incelenmesi kaplama malzemelerinin ve işlemlerinin aşınma direncine etkisini anlamada yeni araştırma olanakları sunmaktadır.

Kaynakça

- [1] Dolinsek, S., Sustarsic, B., ve Kopac J. (2001). Wear Mechanism of Cutting Tools in High Speed Cutting Process, *Wear*, 250, p. 349-35
- [2] Siddhpura A. ve Paurobally R. (2013). A Review of Flank Wear Prediction Methods for Tool Condition Monitoring in a Turning Process, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 65, Issue 1-4, p. 371-393
- [3] Wang, W., Wong, W.S., Hong, G.S. (2005). Flank Wear Measurement by Successive Image Analysis, *Computers in Industry*, 56, p. 816-830
- [4] Wang, W., H., Hong, G. S., Wong, Y.S. (2006). Flank Wear Measurement by a Threshold Independent Method with Sub-pixel Accuracy, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46, p. 199-207
- [5] Wang, W. H., Wong, Y. S., Hong, H. S. (2011), 3D Measurement of Crater Wear by Phase Shifting Method, *Wear*, 261, p. 164-171
- [6] Ghani, J. A., Rizal, M., Nuawi, M.Z., Ghazali, M.J., Haron, C.H.C. (2011). Monitoring Online Cutting Tool Wear Using Low-cost Technique and User-friendly GUI, *Wear*, 271, Issues 9-10, 29, p. 2619-2624
- [7] Jurkovic, J., Korosec, M., Kopac, J. (2005). New Approach in Tool Wear Measuring Technique Using CCD Vision System, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45, p. 1023-1030
- [8] Mandal, N., Doloi, B., Mondal, B., Das, R. (2011). Optimization of Flank Wear Using Zirconia Toughened Alumina (ZTA) Cutting Tool: Taguchi Method and Regression Analysis, *Measurement*, 44, Issue 10, p. 2149-2155
- [9] Dawson, T.G., Kurfess, T.R., (2005) Quantification of tool wear using white light interferometry and three-dimensional computational metrology, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45, p. 591-596.
- [10] Weckenmann, A., Nalbant, K., (2003), Precision measurement of cutting tools with two matched optical 3D-sensors, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 52, p. 443-446.
- [11] Fitz, C., Kolitsch, A. ve W. Fukarek (2000). Growth of Low Stress Cubic Boron Nitride Films by Simultaneous Medium Energy Implantation, *Annual Report IIM*, p. 31-34