

HIGH SPEED END MILLING OF HARDENED AISI D3 COLD WORK TOOL STEEL WITH CBN CUTTING TOOL

E. Aslan*, N. Camuşcu

Department of Mechanical Engineering, Kırıkkale University, Yahşihan, Kırıkkale, 71450, Turkey
e-mail: easlan@kku.edu.tr

ABSTRACT

In this work, high speed end milling of AISI D3 cold-work tool steel hardened to 35 HRC and 62 HRC was investigated using CBN cutting tools. Cutting tool performance was studied with respect to tool life and surface finish of the workpiece. The effect of material hardness on the tool wear and surface roughness was also discussed.

Key Words: High speed end milling, CBN, flank wear, AISI D3

SERTLEŞTİRİLMİŞ AISI D3 TAKIM ÇELİĞİNİN CBN PARMAK FREZE İLE YÜKSEK HIZDA İŞLENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, 35 HRC ve 62 HRC sertliğindeki AISI D3 soğuk iş takım çeliğinin CBN kesici takımlar ile işlenmesinde, yüzey kalitesi ve yanal yüzey aşınma değerlerinin karşılaştırması yapılmıştır. Kesici takım performansı kesici ömrü ve iş parçasının yüzey kalitesine göre değerlendirilmiştir. Ayrıca, işlenen malzeme sertliğinin kesici ömrü ve iş yüzey kalitesine etkisi tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yüksek hızla parmak frezeleme, CBN, yanal yüzey aşınması, AISID3

1. GİRİŞ

Üretim maliyetlerini düşürmesinden dolayı, son zamanlarda çeliklerin yüksek hızla üretimi/kesilmesi (YHÜ/K) gittikçe artan bir kabul görmektedir. Bu yaklaşım ile aynı parça geleneksel üretim hızları ile elde edilen parçadan daha ucuza üretilmektedir. Ayrıca parçaların geleneksel bitirme operasyonlarında elde edilen yüzey kalitesine bu yöntemle büyük ölçüde ulaşılmaktadır.

YHÜ/K'de dökme demir için CBN ve Si_3N_4 , sertliği 42 HRC'nin altındaki alaşımlı çelikler için TiN ve TiCN kaplı sinterlenmiş karbürler, 42 HRC ve üzerindeki sert alaşımlı çelikler için TiAlN kaplı sinterlenmiş karbürler kullanılmaktadır. Uygun kenar hazırlığı yapılmış CBN uçlar özellikle 60-65 HRC sertliğindeki malzemelerin tormalanmasında etkili bir şekilde kullanılmaktadır (1).

CBN kesici takımların sertleştirilmiş malzemelerin işlenmesindeki performansı, sertliklerinden dolayı diğer takım malzemelerine göre daha yüksektir (2-7). CBN takımların performansını belirleyen iki önemli parametre bağlayıcı ve CBN miktarıdır. Titanyum nitrid (TiN) bazlı seramik bağlayıcılı düşük CBN içerikli takım (%50-70 CBN), metalik bağlayıcılı yüksek CBN içerikli (~%90 CBN) takımdan daha iyi performans göstermektedir (8). Bu durum, yüksek CBN içerikli takımın daha sert ve aynı zamanda daha tok olmasına rağmen, genel beklenti ile çelişmektedir. Ancak, yüksek CBN içerikli takımındaki metalik bağlayıcının çeliklere karşı afinitesi, düşük CBN içerikli takımındaki seramik bağlayıcıya göre yüksektir. Sonuç olarak, çelik parçalar ile metalik bağlayıcı arasında daha yüksek adhezyon oluşması söz konusudur. Bağlayıcı

1. INTRODUCTION

High speed manufacturing/cutting (HSM/C) of tool steels has recently gained a wider acceptance in industry as it considerably reduces machining costs, because it makes it possible to produce the same part in a much shorter time compared to machining at conventional speeds and also it usually results in a very good surface finish so that the need for final operations is reduced to a great extent.

The cutting tools used in HSM/C of different work materials include CBN and Si_3N_4 for cast iron, TiN and TiCN coated carbide for alloy steel up to 42 HRC and TiAlN coated carbide for alloy steels with 42 HRC and over. CBN inserts with appropriate edge preparation can be used for special applications especially hard turning with 60-65 HRC (1).

The performance of CBN tools in machining hard materials is generally superior to other tool materials because of their high hardness (2-7). Binder phase and CBN content in the tool are two main parameters, which determine the cutting performance of CBN tools. Low CBN content tool (50-70 vol.% CBN) with a ceramic binder phase based on titanium nitride (TiN) performs better than high CBN content tool (~90 vol.% CBN) with a metallic binder (8). This contradicts with general expectation because the latter has higher hardness and toughness. As a matter of fact, the metallic binder in high CBN content tool has a higher affinity to steel than the ceramic binder in low CBN content tool. As a result, more severe adhesion of metallic binder onto steel workpiece

yapının yok olması CBN parçacıkların kopmasına neden olmaktadır. Böylece daha fazla aşınma meydana gelmektedir.

Literatürde sertleştirilmiş çeliklerin farklı kesici takımlar ile işlenmesine yönelik bir çok çalışma mevcuttur. Bunlara örnek olarak 9-14 numaralı kaynaklar gösterilebilir.

Sertleştirilmiş çeliklerin yüksek hızda üretiminde yaygın olarak kullanılan gelişmiş takım tezgahları, seramik ve CBN gibi kesici takımlar ile 200 m/d üzerinde kesme hızlarında, ~0,1 mm/dev/diş ve üzerindeki ilerleme değerlerinde ve ~0,2-1,0 mm eksenel kesme derinliklerinde kullanılmalarına imkan vermektedir.

Bu çalışmada, CBN kesici takımların sertleştirilmiş AISI D3 çeliğinin yüksek hızda parmak frezelenmesindeki performansı araştırılmıştır. AISI D3 bir soğuk iş takım çeliğidir. Bu çelik soğuk ekstrüzyon ve delme kalıpları, kalıp plakaları, toz metalurjisi takımları, seramik biçimlendirme kalıpları ve soğuk zımbaların üretiminde kullanılmaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu makalede CBN kesici takımların sertleştirilmiş AISI D3 soğuk iş takım çeliğinin yüksek hızda parmak frezelenmesindeki performansı araştırılmıştır. Kesici takım performansı takım yanal yüzey aşınmasına ve parçanın yüzey kalitesine göre değerlendirilmiştir. İş malzemesi sertleştirilmiş ve 35 HRC ile 62 HRC'ye temperlenmiştir.

Bu çalışmada seramik bağlayıcılı düşük CBN içerikli takımlar kullanılmıştır. Kullanılan değiştirilebilir uçgen u ISO TPKN 160308 standardında ve kenarda 25°x0,1mm paha sahiptir. Deneylerde kullanılan cihazlar Şekil 1'd gösterilmiştir. Değiştirilebilir uçlar 36mm çaplı tutucuy (HPF 148 36 R02 16) pabuçla bağlanmıştır. Tutucud kullanılabilen uç sayısı iki olmasına karşılık, kaldırılan tala miktarını en azda tutmak için tek kesici uç kullanılmıştır. Takımlama sisteminde kullanılan eksenel ve radyal tala açısı 0° ve boşluk açısı 11°'dir. Tutucu iş miline 60mm boyda bağlanmıştır. İş malzemesi 300x200x40 mm boyutlarındaki 35 HRC ve 62 HRC sertliğindeki AISI D3 çeliğidir. Malzemenin kimyasal kompozisyonu Tablo 1'd verilmiştir.

Table 1. Chemical composition of the material
Çizelge 1. Malzemenin kimyasal kompozisyonu

C	Cr	Fe	Mn	P	Si	S	W	V
2	11,5	Kalan/ Balance	0,6 max	0,03 max	0,6 max	0,03 max	1 max	1 max

Parmak frezleme deneyleri Mazak VTC 20-B düşey işleme merkezinde gerçekleştirilmiştir. Yanal yüzey aşınma değerleri JSM 5600 (30kV) Taramalı Elektron Mikroskopunda (SEM) ölçülmüştür. Kullanılan SEM cihazının özellikleri aşağıda verilmiştir:

- İvmelenme voltajı: x0.5 to 30kV (53 steps)

occurs. The loss of binder phase enhances the plucking out of CBN particles, and thus more abrasive occurs.

Advanced machine tools, which can provide cutting speeds over 200 m/min with feed rates of ~0,1 mm/tooth and over, axial depths of cut ~0,2-1,0 mm, and cutting tools, such as ceramics, and CBNs are mostly used for HSC operations of hardened steels.

In this research, the performance of CBN cutting tool material in high- speed end milling of hardened AISI D3 steel (35 HRC and 62 HRC) were investigated. Cutting tool performance was evaluated according to flank wear of the tool and surface finish of the workpiece.

2. EXPERIMENTAL WORK

This paper investigates machinability of hardened AISI D3 cold-work tool steel in end milling operations using commercially available CBN cutting tools. The work material was hardened and tempered to 35 and 62 HRC.

Cubic boron nitride cutting tools were used in this research was a low content CBN tool with ceramic binder. The tools were in the form of indexable inserts. The inserts were triangular with 16 mm edge length, 3 mm thickness and 25°x0.1 mm chamfered cutting edge. The equipments used in the experiments are shown in Fig.1. The inserts were screw-clamped to an end milling tool holder with a 35 mm nominal diameter. It was possible to clamp two inserts on the tool holder, but only one insert was used in milling tests in order to keep the removed volume of workpiece material at minimum. Combination of the insert and the tool holder resulted in a 0° axial rake angle, 0° radial rake angle and an 11° clearance angle. The overhang of the tools was 60 mm. Workpiece was a rectangular block of through hardened AISI D3 steel with dimensions 300x200x40 mm³ and hardness of 35 HRC and 62 HRC. Chemical composition was given in Table 1. AISI D3 is a cold-work tool steel used in applications such as cold extrusion dies, blanking dies, die bases (impact extrusion), powder metal tooling, ceramic mouldings, cold punches, etc.

The milling tests were conducted on a Mazak VTC-20B vertical machining centre. Flank wear was measured with Scherr Tumico 98/0001 toolmaker's microscope. Tool life was evaluated according to a maximum flank wear of 0.3 mm. Workpiece surface roughness R_a was measured using Mitutoyo MetuSurf 310 equipment (0.8

- Büyültme: x18 to 300.000 (in 136 steps)
- Numune boyutu: <150mm
- Elektron tabancası: W hairpin filament
- Analitik fonksiyonlar: IXRF sistemi ile çalışan EDS (Sirius SI 10 x-ışını cihazı)

Kesici ömrü değerlendirmesi 0,3mm yanıl yüzey aşınma kriterine göre yapılmıştır. Malzemenin yüzey pürüzlülüğü, R_a , 0,8mm filtreleme boyunda Mitutoyo MetuSurf 310 cihazında ölçülmüştür.

Deneyler kuru kesme şartlarında $V_c=200$ m/d kesme hızı, $f=0.1$ mm/devir/diş ilerleme değeri, $a_p=0.4$ mm eksenel kesme derinliği ve $a_r=30$ mm radyal kesme derinliği ile gerçekleştirilmiştir.

mm cut-off length).

Milling tests were carried out in dry conditions with a cutting speed in the range $V_c=200$ m/min, a feed rate $f=0.1$ mm/tooth, an axial depth of cut $a_p=0.4$ mm and a radial depth of cut $a_r=30$ mm.

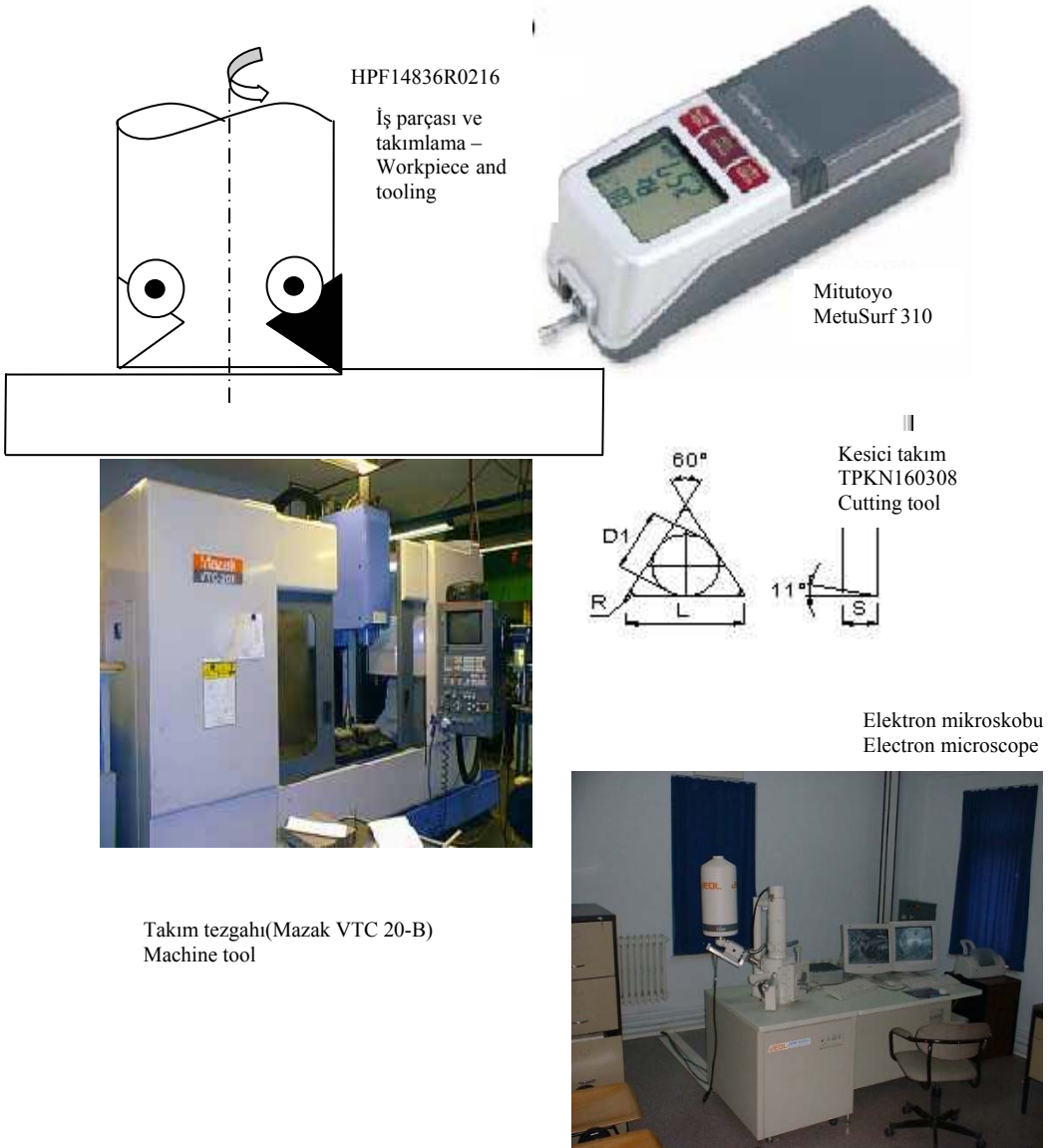


Figure 1. Equipments used in the experiments
Şekil 1. Deneylerde kullanılmış cihazlar

3. SONUÇ VE TARTIŞMA

CBN kesici takımlar mükemmel talaş kaldırma kabiliyeti göstermişlerdir. 62 HRC sertliğindeki

3. RESULTS AND DISCUSSION

CBN tools showed that they have superior chip removal capability. Flank wear on CBN tool progressed

malzemenin işlenmesinde CBN kesici takımındaki yanal yüzey aşınması Şekil 2'de görüldüğü gibi ~55000 mm³'lük talaş hacminde VB=0,15mm oluncaya kadar yavaş bir şekilde gelişmiştir. Kaldırılan talaş hacmi ~65000 mm³ olduğunda yanal yüzey aşınması kritik değer olan 0,3mm'ye ulaşmıştır. Bu noktadan itibaren CBN kesici takım ömrünü aşırı çentiklemeden dolayı hızlı bir şekilde tamamlamıştır. Bu, CBN kesici takımın kırılabilirliğine bağlanabilir. İşleme esnasında mekanik yüklerden dolayı mikro çatlakların oluştuğu ve bu çatlakların ilerleyerek aşırı çentiklemeye neden olduğu düşünülmektedir. (Şekil 3'e bakınız). Bu sonuçlar CBN kesici takımların AISI D3 soğuk iş takım çeliğinin (62 HRC) YHK'de belirli bir sınıra kadar güvenle kullanılabilceğini, fakat bu sınır aşıldığında aniden fonksiyonunu yitirdiğini göstermektedir.

slowly to VB=0,15 mm as shown in Fig. 2 until ~55000 mm³ was removed. Until reaching the critical flank wear of 0,3 mm, it removed a metal volume of ~65000 mm³. After that point, CBN tool rapidly completed its life because of excessive chipping. This can be attributed to the high degree of brittleness of the CBN tool. It is believed that micro cracks were developed during machining due to mechanical loads.

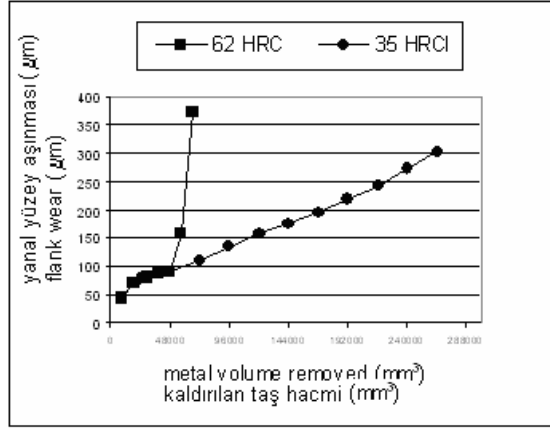


Figure 2. Flank wear results obtained with CBN tool
Şekil 2. CBN kesici takımında oluşan yanal yüzey aşınma sonuçları

Then they progressed and resulted in excessive chipping (see Fig.3). This result shows CBN tools can be used confidently up to a certain limit in HSC of D3 cold-work tool steel (62 HRC), but after that sudden failure occurs. This limit may change with the type of workpiece material. Especially chemical composition and the hardness of work material are the dominant factors. As a matter of fact, a much better performance was obtained when the workpiece hardness was 35 HRC. The volume of material removed was 260000 mm³. There is almost a perfectly linear relationship between the flank wear and metal volume removed with CBN tools for the material with 35 HRC. No chipping was observed on the tool. These results showed that, CBN tool with ceramic binder undergoes excessive chipping when workpiece hardness is very high because the ceramic binder does not withstand the loads generated at high speeds. For low or moderate hardness values, on the other hand, no chipping occurs and the abrasive wear becomes the dominant wear mechanism. The wear on the tool, in that case, increases linearly with increasing cutting time with no sudden failures. A worn sample of CBN tool was shown in Fig. 3.

Bu sınır iş malzemesinin cinsi ile değişme gösterebilir. Özellikle iş malzemesinin sertliği ve kimyasal kompozisyonu baskın faktörlerdir. CBN kesici takım 35 HRC sertliğindeki malzemenin işlenmesinde çok daha iyi performans göstermiştir. Bu malzemeden kaldırılan talaş hacmi 260.000 mm³ değerine ulaşmıştır. 35 HRC sertliğindeki malzemenin CBN kesici takım ile kaldırılan talaş hacmi ile yanal yüzey aşınması arasında neredeyse doğrusal bir ilişki söz konusudur. Kesici takımında herhangi bir çentikleme görülmemiştir. Bu sonuçlar, seramik bağlayıcılı CBN kesici takımın iş malzemesinin sertliğinin yüksek olduğu durumlarda aşırı çentiklenmeye maruz kaldığını göstermektedir. Bunun da sebebi seramik bağlayıcının yüksek hızlarda meydana gelen yüklere dayanamamasıdır. Diğer yandan, düşük ve orta sertlikteki malzemelerde çentikleme oluşmaz iken, aşındırıcı aşınması baskın aşınma mekanizması olarak devreye girmektedir. Bu durumda takımındaki aşınma zamana bağlı olarak doğrusal olarak meydana gelmektedir. Bir CBN kesici takımın aşınma örneği Şekil 3'de verilmiştir.

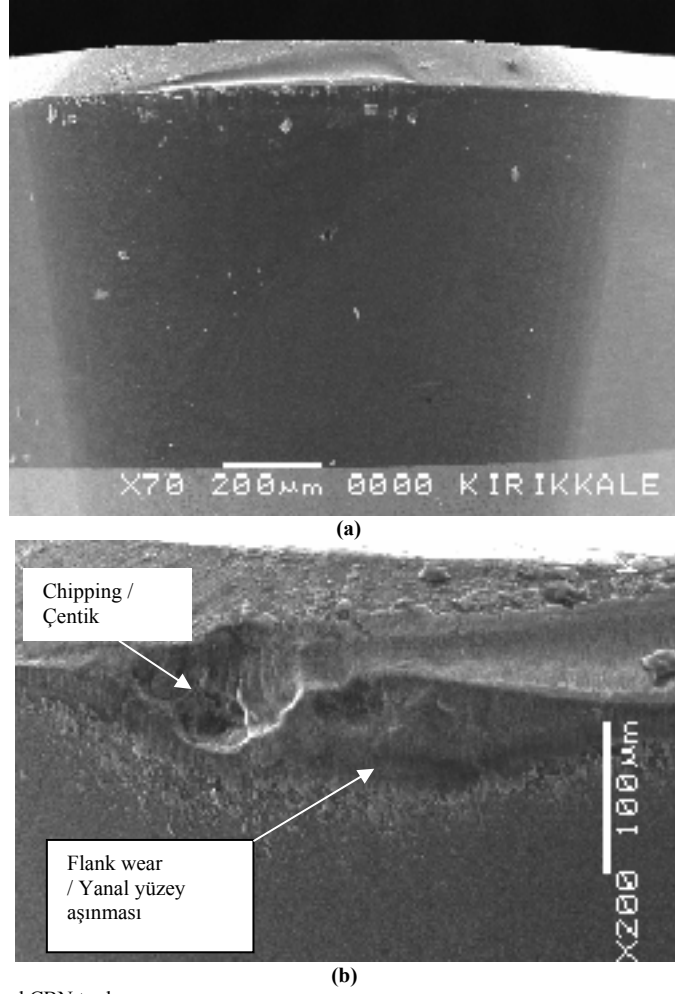


Figure 3. SEM picture of used CBN tool

Şekil.3. CBN kesici takımların SEM resimleri (a) 35 HRC sertliğindeki malzeme (b) 62 HRC sertliğindeki

Aşınmamış ve aşınmış kesici takımlar ile elde edilmiş yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 4’de verilmiştir. Aşınmamış kesicinin sağladığı yüzey kalitesi değerlendirmesi, takımın işlemeye başladığı ilk 20mm’lik kesme boyunda oluşturduğu yüzey kalitesi olarak değerlendirilmiştir. Aşınmamış kesici takımla 62 HRC sertliğindeki malzeme üzerinde elde edilen yüzey kalitesi mükemmel olarak oluşmuştur ($\sim 0,02\mu\text{m}$). Yüzey kalitesi, aşınmanın artması ile bozulmuştur. Aşınmış kesici takımla sağlanan yüzey kalitesi $0,38\mu\text{m}$ olmasına rağmen, bu da kötü olmayan bir değerdir. 62 HRC sertliğindeki malzemede elde edilen yüzey kalitesi, 35 HRC sertliğindeki malzemeye göre daha iyidir. Bununla beraber, 35 HRC sertliğindeki malzeme yüzeyinde aşınmamış kesici ile elde edilen $0,22\mu\text{m}$ ve aşınmış kesici ile oluşan $0,44\mu\text{m}$ pürüzlülük değerleri iyi yüzey kaliteleri olarak değerlendirilebilir. Bu sonuçlar, CBN kesici takımı ile sertleştirilmiş AISI D3 çeliğinin işlenmesinde iyi yüzey kalitesi elde edildiğini göstermektedir.

The surface roughness results obtained with unworn and worn tools are shown in Fig 4. Surface roughness measurements for unworn tools were taken within the first machined area through which the cutter moved an initial cut length of 20 mm. The surface finish of the material with 62 HRC obtained with unworn CBN tool was excellent ($\sim 0,02\mu\text{m}$). Surface finish deteriorated with progressed wear, as expected. The worn tool produced a surface finish of $0,38\mu\text{m}$, but this is not a bad value at all. The surface finish of the material with 62 HRC was better than that of the material with 35 HRC. Actually, the latter also had a good surface finish which was $0,22\mu\text{m}$ for unworn tool and $0,44\mu\text{m}$ for worn tool. These results show that CBN tool produces very good surfaces when machining AISI D3 steel.

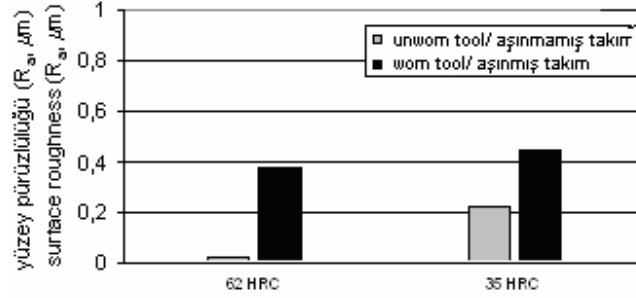


Figure 4. Surface roughness results obtained with unworn and worn tools

Şekil 4. Aşınmamış ve aşınmış kesici takımlar ile elde edilmiş yüzey pürüzlülük değerleri

4. SONUÇ

İş malzemesinin sertliği, CBN kesici takımların performansında hayati öneme sahiptir. Bu kesici takımlar 62 HRC sertliğindeki malzemeden 60 cm³ talaş kaldırma kabiliyetine sahiptirler.

Bu değer, 35 HRC sertliğindeki malzeme için 260 cm³'e kadar artmaktadır. Diğer yandan 35 HRC sertliğindeki malzeme için, CBN kesici takım çentikleme yerine aşındırıcı aşınma mekanizmasına maruz kalmaktadır. CBN kesici takımla memnun edici yüzey kalitesi elde edilmiştir. 0,02 µm gibi çok küçük pürüzlülük değeri 62 HRC sertliğindeki malzemede sağlanmıştır. En kötü yüzey pürüzlülük değeri 0,44µm olmasına rağmen, bu değer bile kötü olarak değerlendirilemez. Yüzey pürüzlülüğü, artan iş malzemesi sertliği ile belirgin bir şekilde azalmaktadır.

Sonuç olarak, sertleştirilmiş AISI D3 takım çeliğinin seramik bağlayıcılı CBN kesici takımla işlenmesinde takım ömrü ve yüzey kalitesi açısından değerlendirme yapıldığında, memnun edici sonuçlar alınmıştır.

4. CONCLUSIONS

Workpiece hardness has a vital role on the performance of CBN tools. It was capable of removing a metal volume of 60 cm³ when the workpiece hardness was 62 HRC. This increased to 260 cm³ for the material with 35 HRC. Chipping was the dominant wear mechanism when the workpiece hardness was 62 HRC. For the material with 35 HRC, on the other hand, CBN tool undergoes abrasive wear with no chipping. CBN tool with ceramic binder proved to be very successful in machining hardened AISI D3 steel. The surface finish produced by CBN tools was also very satisfactory. Surface roughness values as low as 0,02 µm were obtained for the material with 62 HRC. The worst surface roughness value was 0,44µm, which is not a very high value at all. Surface finish was found to be slightly improving with increasing workpiece hardness.

In summary, the performance of CBN tool in terms of both tool life and surface finish in machining hardened AISI D3 tool steel was very satisfactory.

KAYNAKLAR/ REFERENCES

1. Z. Q. Liu, X. Ai, H. Zhang, Z. T. Wang and Y. Wan, "Wear patterns and mechanisms of cutting tools in high-speed face milling", *Journal of Materials Processing Technology*, 129, (1-3), 222-226, (2002).
2. P. Koshy, R.C. Dewes, D.K. Aspinwall, "High speed end milling of hardened AISI D2 tool steel (~58 HRC)", *Journal of Material Processing Technology*, 127, 266-273, (2002).
3. T. Nakagawa, T. Ikeda, T. Matsuoka, "High speed milling of steel and tool life", in: *Proc. 8th Int. Conf. Tool, Die and Mold Industry*, Barcelona, Spain, (1995).
4. Nieminen, J. Paro, V. Kauppinen, "High-speed milling of advanced materials", *Journal of Material Processing Technology*, 56, 24-36, (1996).
5. P. Fallböhmer, C.A. Rodriguez, T. Özel, T. Altan, "High-speed machining of cast iron and alloy steels for die and mold manufacturing", *Journal of Material Processing Technology*, 98, 104-115, (2000).
6. H. Coldwell, R. Woods, M. Paul, P. Koshy, R. Dewes, D. Aspinwall, "Rapid machining of hardened AISI H13 and D2 moulds, dies and press tools", *Journal of Material Processing Technology*, 135, 301-311, (2003).
7. P. Koshy, R. Dewes, D. Aspinwall, "High speed end milling of hardened AISI D2 steel", in: *Proceedings of the International Conference on Precision Engineering*, Singapore, pp 461,476, (2000).
8. Y.K. Chou, C.J. Evans, M.M. Barash, "Experimental investigation on CBN turning of hardened AISI 52100 steel", *Journal of Material Processing Technology* 124, 274-283, (2002).