



# Bartın Üniversitesi

## Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi



### AISI O2 Çeliğinin Frezelenmesinde Minimum Miktarda Yağlama (MQL) Sisteminin Kesme Performansına Etkisi

Bilal KURŞUNCU<sup>1\*</sup>, Ali YARAŞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bartın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bartın / TÜRKİYE

<sup>2</sup>Bartın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Bartın / TÜRKİYE

Geliş Tarihi: 29.11.2017 Düzeltme Tarihi: 13.12.2017 Kabul Tarihi: 13.12.2017

#### Özet

Günümüzde kesme performansının iyileştirilmesinin yanı sıra, düşük maliyet, insan sağlığına zararlı olmayan ve çevre dostu imalat proseslerinin geliştirilmesi sürdürülebilir imalat yöntemleri açısından önem arz etmektedir. Minimum miktarda yağlama (MQL) yöntemi, sürdürülebilir imalatı sağlamak amacıyla işlenebilirliği zor olan sert ve dayanımı yüksek malzemelerin kesme performansını arttırmak için gerçekleştirilen ve geleneksel işleme yöntemlerine kıyasla daha az miktarda kesme sıvısının kullanıldığı talaşlı imalat yöntemlerinden birisidir. Bu nedenle bu çalışmada, AISI O2 soğuk iş takımı çeliğinin TiAlN kaplamalı kesici takım ile MQL yöntemi kullanılarak işlenmesinde ticari kesme sıvısı kullanılmıştır. Kesme performansı üzerine MQL yönteminin etkisini incelemek amacıyla elde edilen deneysel sonuçlar kuru şartlarda yapılan frezeleme işlemine ait sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre; en yüksek takım ömrüne (2.55 m) MQL yöntemiyle gerçekleştirilen frezeleme işleminde ulaşılmıştır. Bununla birlikte yüzey pürüzlülük ve kesme kuvvetleri değerlerinin kuru frezeleme işlemine nazaran önemli oranda iyileştiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** AISI O2 çeliği, Minimum miktarda yağlama, Yüzey pürüzlülüğü, Kesme kuvvetleri, Takım ömrü

### Effect of Minimum Quantity Lubrication (MQL) System on Cutting Performance of Milling AISI O<sub>2</sub> Tool Steel

#### Abstract

Nowadays, in addition to improving cutting performance, the development of low cost, non-harmful and environmentally friendly manufacturing processes is important in terms of sustainable manufacturing methods. Minimum Lubrication (MQL) is one of the machining methods used to improve the cutting performance of hard and high strength materials that are difficult to process and less cutting fluid is used compared to conventional processing methods in order to ensure the sustainable manufacturing methods. For this reason, commercial cutting fluid was used to machine AISI O2 cold work tool steel using TiAlN coated cutting tool by MQL method in this study. The experimental results obtained in order to investigate the effect of the MQL method on the cutting performance are compared with the results of the milling performed under dry conditions. According to the results of the experiment; the highest tool life (2.55 m) has been achieved by milling with MQL method. In addition, the values of surface roughness and cutting forces have been determined to improve significantly in comparison to dry milling.

**Keywords:** AISI O2 steel, Minimum quantity lubrication, Surface roughness, Cutting forces, Tool life

#### 1. Giriş

Çevresel faktörlerden dolayı çeşitli imalat proseslerinde kullanılan kesme/yağlama sıvılarının neden olduğu kirliliğin azaltılmasına yönelik temiz üretim yöntemlerinin geliştirilmesi günümüzde son derece önem arz etmektedir [1]. Geleneksel metal işleme sistemlerinde kullanılan kesme sıvıları, fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı işlem sırasında yüksek sıcaklığın neden olduğu termal hasarların yanı sıra kesme kuvvetlerini de azaltmaktadır [2]. Kesme sıvısı kullanımı aynı zamanda iş parçası ve kesici takım arasındaki sürtünmeyi en aza indirerek hem işlenmiş yüzeyin yüzey kalitesini hem de kesici takım ömrünü olumlu yönde etkileyebilmektedir. Bununla birlikte, özellikle mineral esaslı kesme sıvılarının çevre ve insan sağlığı ile proses maliyetleri açısından bazı zararlı etkileri olduğu unutulmamalıdır [3 – 7]. Bu nedenle son yıllarda araştırmacılar, daha az zararlı, biyolojik olarak bozunabilir, non-toksik, metal işleme performansı yüksek çevre dostu kesme sıvılarının kesme proseslerinde kullanımına yönelik çalışmalara yoğunlaşmış durumdadırlar [8, 9].

Sert freze işlemi, sertlik değeri yüksek (> 45 HRC) [16] ve dayanımlı malzemelerin işlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir teknolojidir [10, 11]. Bu yöntemin en önemli dezavantajlarından biri, kesici takım ve iş parçası ara yüzeyinde sürtünme sonucunda oluşan yüksek ısıya bağlı olarak kesici takımlarda aşınmanın meydana gelmesidir. Kesme işlemi sırasında oluşan yüksek ısı,

kesme bölgesinde sıcaklık artışına neden olduğundan difüzyon ve oksitlenme aşınma mekanizmalarına bağlı olarak kesici takımın hızlı bir şekilde aşınmasına neden olur. Sonuç olarak meydana gelen aşınmadan dolayı kesici takım ömrü azalır ve işlenmiş yüzeye ait yüzey pürüzlülük değeri de artar. Bu nedenle, daha az yüzey pürüzlülüğü ve daha yüksek aşınma direnci elde etmek için kesici takım aşınmasının kontrol altına alınması oldukça önemlidir [12]. Sonuç olarak, talaşlı işleme proseslerinde sert ve dayanıklı malzemelerin takım ömrü ve aşınması, kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü gibi parametreler sert frezeleme yöntemi kullanılarak çok sayıda araştırmacı tarafından incelenmiştir [10, 13, 14].

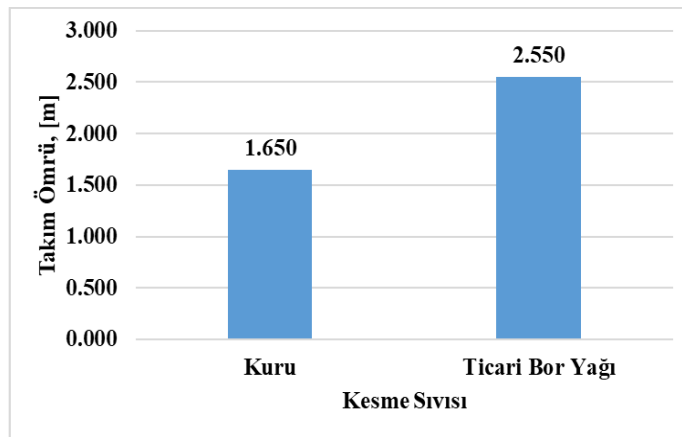
Günümüzde sert frezeleme prosesleri kuru, klasik ve kriyojenik soğutma teknikleri gibi geleneksel yöntemler kullanılarak gerçekleştirilirken özellikle sürdürülebilir talaşlı imalat açısından minimum miktarda yağlama (MQL) yönteminin uygulanmasında artış görülmektedir [15 – 17]. Kuru işleme tekniği çevre dostu ve son derece düşük maliyetli olmasına rağmen klasik kesici aletler ile yüksek mukavemet ve sertlikteki malzemelerin işlenmesi esnasında kesme parametreleri üzerinde olumsuz etkileri çok daha fazladır [18, 19]. Bu tip problemlerin üstesinden gelebilmek için literatürde kuru işleme yöntemiyle sert ince kaplamalı kesici aletler kullanılarak yapılan çok sayıda çalışma mevcuttur [20, 21]. Yukarıda ifade edilen teknolojik, çevresel ve ekonomik avantajlarından dolayı metal ve kompozit malzemelerin sert frezeleme proseslerinde MQL yöntemi tercih edilmektedir [10, 11,

22, 23]. MQL yöntemi ile AISI 4340 çeliğinin işlenebilirliğinin geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığı bir çalışmada düşük enerji tüketimi ve işleme zamanının kısa olması nedeniyle proses maliyetinde bir azalmanın meydana geldiği belirlendi [41]. MQL tekniğinde, kesme sıvısına ait püskürtülen damlalar kesme bölgesiyle doğrudan temas eder ve kesici takım yüzeyinde ince bir tribofilim tabakası meydana gelir. Bu tabaka kesme bölgesinde sürtünmeyi ve oluşan ısıyı azaltmaya yardımcı olur [3, 17]. Bu bağlamda, Sohrabpoor ve arkadaşları tarafından AISI 4340 paslanmaz çeliği kullanılarak geleneksel, kuru, hava soğutmalı ve MQL sistemlerinin kesme performansı üzerindeki etkilerinin incelendiği tormalama işleminde takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü açısından en etkili yöntemin MQL olduğunu tespit etmişlerdir. Benzer şekilde, kaplanmamış karbür kesici takım ile AISI 1040 çeliğinin kesme performansı üzerine MQL yönteminin etkisinin araştırıldığı başka bir çalışmada, kesme bölgesindeki sıcaklık düşüşüne bağlı olarak kesme performansında bir artışın olduğu ifade edilmiştir. MQL yönteminin bir başka önemli özelliği de geleneksel yöntemlere kıyasla kullanılan kesme sıvı miktarının oldukça düşük olmasıdır. Literatürde geleneksel yöntemlerde kullanılan kesme sıvısı 1200 litre/saat [8] iken, MQL sisteminde 50 mililitre/saat [9] e düşürüldüğü belirtilmektedir. Benzer şekilde, M. Rahman ve arkadaşları tarafından yapılan başka bir çalışmada kesme performansında meydana gelen iyileşmenin yanı sıra, MQL yöntemiyle gerçekleştirilen uç frezeleme işleminde kesme sıvısı tüketiminin (8.5 mililitre/saat), geleneksel soğutma yöntemine kıyasla çok daha düşük (25260 ml/saat), olduğu tespit edilmiştir [10].

Bu çalışmada, AISI O2 soğuk iş takım çelik malzemesi, ticari kesme sıvısı kullanılarak MQL yöntemi ile TiAlN kaplamalı kesici takım frezelenerek yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü ve kesme kuvvetleri gibi kesme performansı üzerine olan etkileri incelenmiştir. Deneyler karşılaştırma yapabilmek amacıyla hem kuru hem de ticari kesme sıvısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Kesme işlemlerinde kullanılan (R390-11 T3 08M-KM H13A) sinterlenmiş karbür kesici takımlar ve takım tutucu Sandvick firmasından temin edilmiştir. Kaplamasız olarak temin edilen bu kesici takımların aşınma dayanımının artırılması amacı ile TiAlN ince sert film kaplama uygulanmıştır. Takım tutucunun iki adet kesici takım bağlanacak ucu olmasına rağmen testlerde sadece bir kesici takım ile işlemler gerçekleştirilmiştir. Bunun sebebi kesme işlemi sırasında tek bir kesici takımda meydana gelebilecek etkilerin belirlenmesidir.



Şekil 1. Farklı kesme sıvıları kullanılarak elde edilen takım ömürleri

## 3.2. Yüzey Pürüzlülüğü

Ticari bor yağı kullanılarak ve kuru şartlarda uygulanan frezeleme işlemi sonrasında iş parçası yüzeyinden elde edilen pürüzlülük değerleri Şekil 2'de görülmektedir. Pürüzlülük değerleri her paso sonrasında iş parçası üzerinden pürüzlülük cihazı ile yedi farklı değerlerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu değerlere göre, ticari bor yağının MQL sisteminde kullanılması

Kesici takımın takım ömrünün belirlenmesi amacı ile optik mikroskop kullanılmıştır. Her kesme işleminden (paso) sonra kesici takım tezgah üzerine alınmış ve bilgisayar programı destekli bir optik mikroskop kullanılarak kesici takımda meydana gelen aşınma miktarı ölçülmüştür. Kesici takımın ömrünü, standartlara [24] göre aşınma miktarı 0,25 mm'e geldiğinde tamamladığı kabul edilmiştir.

Yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesinde Mitutoyo SurfTest SJ-310 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılmıştır. Her kesme işlemi sonrasında kesme yüzeyinin yedi farklı yerinden alınan değerlerin ortalaması hesaplamalarda kullanılmıştır. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesinde 10 kN'a kadar ölçüm yapan Kistler 9257B Multi-Component Dinamometre kullanılmıştır.

MQL sistemi olarak 0,0021 ml-0,028 ml yağlama aralığına sahip 4-6 bar basınçta çalışan Werte Mikro STN 25 kullanılmıştır. Hazırlanan kesme sıvısı sistem üzerinde bulunan bir nozul ile kesme ortamına püskürtülmüştür.

AISI O2 soğuk iş takım çeliğinin MQL şartlarında ticari bor yağı kullanılarak frezelenmesinde kullanılan kesme parametreleri Tablo 1'de görülmektedir.

## 3. Sonuçlar ve Tartışma

### 3.1. Takım Ömrü

Şekil 1'de iki farklı kesme ortamında uygulanan AISI O2 çeliğinin sert frezelenmesi işlemi sonrasında elde edilen takım ömürleri görülmektedir. Takım ömrü, kesici takım serbest yüzeyinde meydana gelen aşınma miktarının bilgisayar yazılımına sahip bir optik mikroskoptaki görüntüsünden ölçülmesi ile belirlenmiştir. Ticari bor yağının, MQL sisteminde kullanılması ile sinterlenmiş karbür kesici takımların takım ömründe artış görülmüştür. Bu artış, kuru şartlarda yapılan frezeleme işlemi ile karşılaştırıldığında, yaklaşık olarak %55 oranında gerçekleşmiştir.

Tablo 1. Kesme parametreleri

Kesme Hızı, $V_c$	100 m/dk
İlerleme oranı, $f_z$	0,05 mm/diş
Eksenel kesme derinliği, $a_p$	0,5 mm
Radyal kesme derinliği, $a_e$	15 mm
MQL Sistemi Basıncı	5 bar
MQL Sistemi Sıvı Debisi	50 ml/s

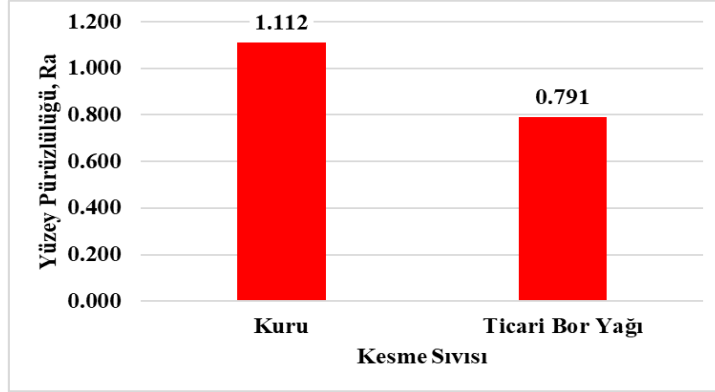
sonucu iş parçasının yüzey kalitesinin kuru şartlara göre iyileştiği ve bu duruma kesme sıvısının yağlayıcı etkisinin neden olduğu söylenebilir.

### 3.3. Kesme Kuvvetleri

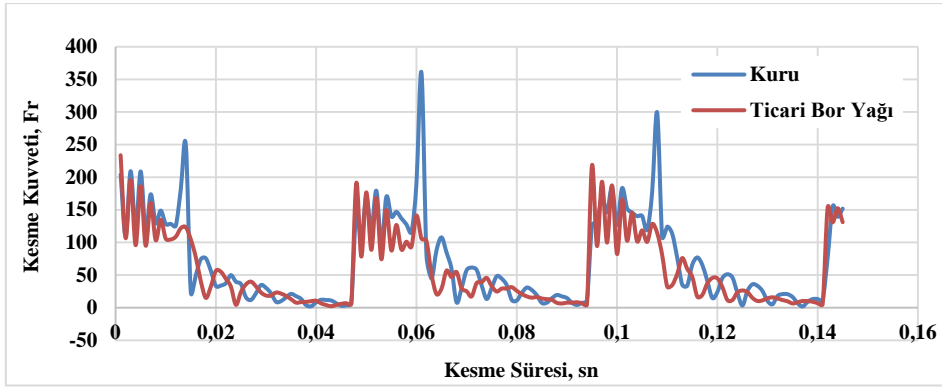
Frezeleme işlemi sırasında iki farklı şartta elde edilen bileşke kesme kuvvetlerinin kuvvet dalgalanmaları Şekil 3'te

görülmektedir. Frezeleme işleminin kesikli bir proses olmasından dolayı kesme kuvvet değerlerine ait grafikler dalgalı bir şekilde elde edilmiştir. Şekil 3'teki sonuçlar incelendiğinde ticari bor yağı varlığında kesme kuvvetlerinde azalmanın meydana geldiği

görülmektedir. Bununla birlikte kesme sıvısı kullanımı ile frezeleme işlemi sırasında meydana gelen titreşim miktarında da bir azalmanın olduğu belirlenmiştir.



Şekil 2. Frezeleme işlemi sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri



Şekil 3. Frezeleme işlemi sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, endüstride farklı malzemelerin imalatında sıklıkla kullanılan ve işlenmesi zor bir malzeme olan AISI O2 soğuk iş takım çeliğinin frezelenmesinde, sürekli akış şartlarında kullanılan ticari bor yağının MQL sisteminde kesme performansına olan etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Sürekli akış şartlarında kullanılan ticari bor yağının MQL sisteminde kullanılması sonucu kesici takımın ömründe yaklaşık olarak %5 oranında bir artış meydana gelmiştir.
- Elde edilen pürüzlülük değerlerine göre frezeleme işlemi sonrasında AISI O2 soğuk iş takım çeliğinin yüzey kalitesinde artış görülmüştür.
- Kesme kuvvetleri açısından değerlendirildiğinde MQL sisteminin uygulanması ile kesme işlemi sırasında meydana gelen titreşimler azalmıştır. Ayrıca minimum miktarda bor yağının kesme bölgesine püskürtülmesi ile kesme kuvvetlerinde azalma meydana gelmiştir.

Bundan sonraki çalışmalarda MQL sisteminde farklı debilerde çeşitli akışkan tiplerinin kesme performansına etkilerinin incelenmesinin yanı sıra, farklı kesici takım ve iş parçalarının işlenebilirliği üzerine etkileri de incelenebilir.

#### Kaynaklar

1. Krolczyk, G.M., Nieslony, P., Maruda, R.W., Wojciechowski, S. Dry cutting effect in turning of a duplex stainless steel as a key factor in clean production. *Journal of Cleaner Production*. 142, 3343–3354 2017.
2. Boswell, B., Islam, M.N., Davies, I.J., Ginting, Y.R., Ong, A.K. A review identifying the effectiveness of minimum quantity

lubrication (MQL) during conventional machining. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 1–20 2017.

3. Sharma, A.K., Tiwari, A.K., Dixit, A.R. Effects of Minimum Quantity Lubrication (MQL) in machining processes using conventional and nanofluid based cutting fluids: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*. 127, 1–18 2016.
4. Guo, S., Li, C., Zhang, Y., Wang, Y., Li, B., Yang, M., Zhang, X., Liu, G. Experimental evaluation of the lubrication performance of mixtures of castor oil with other vegetable oils in MQL grinding of nickel-based alloy. *Journal of Cleaner Production*. 140, 1060–1076 2017.
5. Caliiskan, H., Kurbanolu, C., Panjan, P., cekada, M., Kramar, D. Wear behavior and cutting performance of nanostructured hard coatings on cemented carbide cutting tools in hard milling. *Tribology International*. 62, 215–222 2013.
6. Zhang, S., Li, J.F., Wang, Y.W. Tool life and cutting forces in end milling Inconel 718 under dry and minimum quantity cooling lubrication cutting conditions. *Journal of Cleaner Production*. 32, 81–87 2012.
7. Sreejith, P., Ngoi, B.K.. Dry machining: Machining of the future. *Journal of Materials Processing Technology*. 101, 287–291 2000.
8. Lawal, S.A., Choudhury, I.A., Nukman, Y. A critical assessment of lubrication techniques in machining processes: a case for minimum quantity lubrication using vegetable oil-based lubricant. *Journal of Cleaner Production*. 41, 210–221 2013.
9. Tamada, I.S., Montagnoli, R.N., Lopes, P.R.M., Bidoia, E.D. Toxicological evaluation of vegetable oils and biodiesel in soil during the biodegradation process. *Brazilian Journal of Microbiology*. 43, 1576–1581 2012.
10. Minh, D.T., The, L.T., Bao, N.T. Performance of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluids in minimum quantity lubrication in hard milling of

- 60Si2Mn steel using cemented carbide tools. <http://dx.doi.org/10.1177/1687814017710618>. 2017.
11. An, Q., Wang, C., Xu, J., Liu, P., Chen, M. Experimental investigation on hard milling of high strength steel using PVD-AlTiN coated cemented carbide tool. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 43, 94–101 2014.
  12. Maruda, R.W., Krolczyk, G.M., Feldshtein, E., Nieslony, P., Tyliczszak, B., Pusavec, F. Tool wear characterizations in finish turning of AISI 1045 carbon steel for MQCL conditions. *Wear*. 372, 54–67 2017.
  13. Wojciechowski, S., Maruda, R.W., Nieslony, P., Krolczyk, G.M. Investigation on the edge forces in ball end milling of inclined surfaces. *International Journal of Mechanical Sciences*. 119, 360–369 2016.
  14. Wojciechowski, S., Twardowski, P., Pelic, M. Cutting forces and vibrations during ball end milling of inclined surfaces. In: *Procedia CIRP*. pp. 113–118 2014.
  15. Çaydaş, U., Kuncan, O., Çelik, M. AISI 52100 rulman çeliğinin işlenebilirliğinin yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü ve sıcaklık kriterlerine göre araştırılması. 2017.
  16. Kissler, H. KSS-bedingte Kosten in dersenpenden Metallbearbeitung als Anreiz für die Trockenbearbeitung. In: *12 th International Colloquium Tribology*. pp. 901–913 2000.
  17. Kaynak, Y. Evaluation of machining performance in cryogenic machining of Inconel 718 and comparison with dry and MQL machining. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 72, 919–933 2014.
  18. Qian, L., Hossan, M.R. Effect on cutting force in turning hardened tool steels with cubic boron nitride inserts. *Journal of Materials Processing Technology*. 191, 274–278 2007.
  19. Wakabayashi, T., Sato, H., Inasaki, I. Turning Using Extremely Small Amounts of Cutting Fluids. *JSME International Journal Series C*. 41, 143–148 1998.
  20. Quiza, R., Figueira, L., Davim, J.P. Comparing statistical models and artificial neural networks on predicting the tool wear in hard machining D2 AISI steel. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 37, 641–648 2008.
  21. Chinchankar, S., Choudhury, S.K. Hard turning using HiPIMS-coated carbide tools: Wear behavior under dry and minimum quantity lubrication (MQL). *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*. 55, 536–548 2014.
  22. Le, T.S., Tran, M.D., Nguyen, D.B., Nguyen, V.C. An investigation on effect of characteristics of the peanut oil MQL on tool life in hard turning 9CrSi steel. *International Journal of Machining and Machinability of Materials*. 13, 428 2013.
  23. Liao, Y.S., Lin, H.M., Chen, Y.C. Feasibility study of the minimum quantity lubrication in high-speed end milling of NAK80 hardened steel by coated carbide tool. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 47, 1667–1676 2007.