



## Experimental study on machinability of pre-hardened Toolox 44 and Nimax mould steels

Şenol Bayraktar<sup>1\*</sup>, Gültekin Uzun<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Recep Tayyip Erdogan University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Mechanical Engineering, 53100, Rize, Turkey

<sup>2</sup>Gazi University, Faculty of Technology, Manufacturing Engineering, 06500, Ankara, Turkey

### Highlights:

- Machinability properties of Toolox 44 and Nimax mould steels
- Obtaining machined surface and sub-surface images
- Determination of optimum cutting parameters

### Keywords:

- Mould steels
- Machinability
- Cutting Force
- Surface Roughness

### Article Info:

Research Article  
Received: 02.11.2019  
Accepted: 21.03.2021

### DOI:

10.17341/gazimmfd.641824

### Acknowledgement:

The authors thank Karcan Cutting Tools for contributing with cutting tool support

### Correspondence:

Author: Şenol Bayraktar  
e-mail:  
senol.bayraktar@erdogan.edu.tr  
phone: -90 464 223 7518 / 1898

### Graphical/Tabular Abstract

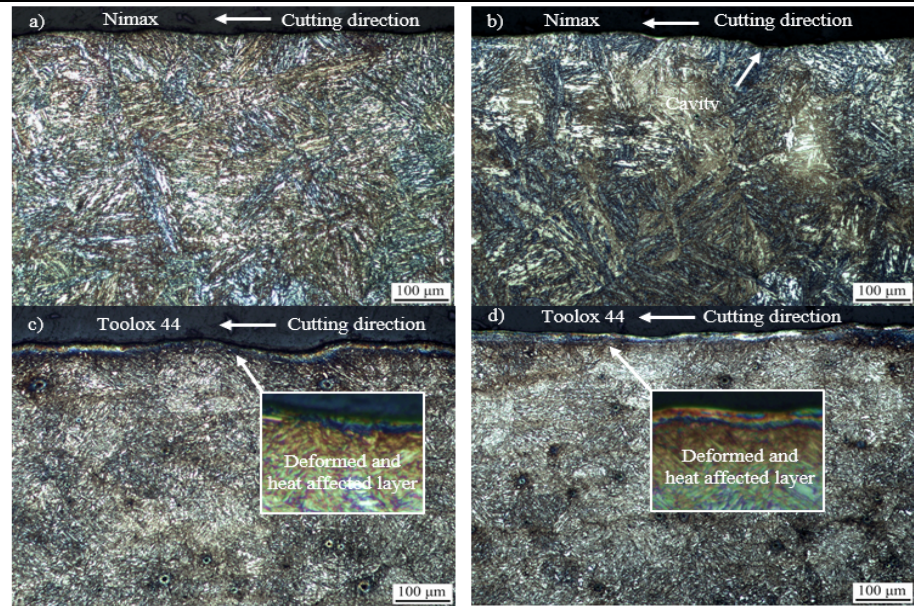


Figure A. Machined surface and sub-surface images of Toolox 44 ve Nimax mould steels

**Purpose:** It is aimed to comparatively investigate the machinability of Toolox 44 and Nimax steels which are widely used in the molding industry today.

### Theory and Methods:

Cutting experiments were performed in CNC vertical machining center. Cutting force was measured using Kistler dynamometer and surface roughness was measured with Mahr Perthometer M1 measuring device. The machined surface and sub-surface images were viewed by SEM (Scannig Electron Microscope) and optical microscope.

### Results:

As a result of the cutting experiments, it was determined that while the cutting force and surface roughness decreased for Nimax with increasing cutting speed, it increased for Toolox 44. Cutting force and surface roughness increased in the machining of both materials with increasing of feed rate. It was seen that deformation and heat affected zone due to the effect of friction and compression in machined sub-surface images of Toolox 44. The optimum cutting parameters are low cutting speed and feed rate ( $V:50$  m/min,  $f:0.04$  mm/tooth) for Toolox 44, while high cutting speed and low feed rate ( $V:90$  m/min,  $f:0.04$  mm/tooth) for Nimax.

### Conclusion:

It has been determined that the cutting forces are less than Toolox 44 in the machining of Nimax material at all cutting speeds using constant feed. In addition, it was observed that the surface roughness of Toolox 44 was higher than Nimax at all feed rates using constant cutting speed. Feed marks were found to be more prominent in Toolox 44 in the machined surface images. It was revealed that the cavity formed in the Nimax with the increasing of feed rate, while the heat-affected zone occurred in the Toolox 44 in the sub-surface images.



## Ön sertleştirilmiş Toolox 44 ve Nimax kalıp çeliklerinin işlenebilirliği üzerine deneysel çalışma

Şenol Bayraktar<sup>1\*</sup>, Gültekin Uzun<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği, 53100, Rize, Türkiye

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği, 06500, Ankara, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Toolox 44 ve Nimax kalıp çeliklerinin işlenebilirlik özellikleri
- İşlenmiş yüzey ve yüzey altı görüntülerinin elde edilmesi
- Optimum kesme parametrelerinin belirlenmesi

#### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi  
Geliş: 02.11.2019  
Kabul: 21.03.2021

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.641824

#### Anahtar Kelimeler:

Kalıp çelikleri,  
işlenebilirlik,  
kesme kuvveti,  
yüzey pürüzlülüğü

#### ÖZ

Bu çalışmada, kalıp çelikleri arasında yer alan Nimax ve Toolox 44 malzemelerinin frezeleme işleminde işlenebilirliği deneysel olarak araştırılmıştır. Kesme deneyleri, üçer farklı kesme hızı (50-70-90 m/dak), ilerleme (0,04-0,08-0,12 mm/diş) ve sabit kesme derinliği (1,5 mm) kullanılarak CVD-AlCrN kaplamalı karbür parmak freze ile gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda, aynı koşullar altında Toolox 44'ün işlenmesinde Nimax'a göre daha fazla kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünün oluştuğu gözlenmiştir. Nimax malzemenin işlenmesinde optimum kesme parametreleri yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme (V:90 m/dak, f:0,04 mm/diş) iken, Toolox 44'te ise düşük kesme hızı ve ilerleme (V:50 m/dak, f:0,04 mm/diş) olarak tespit edilmiştir. Kesme hızının 50 m/dak'tan 90 m/dak'a artması ile Toolox 44'te kesme kuvveti 0,04-0,08 ve 0,12 mm/diş ilerleme değerlerinde sırasıyla %140,139; %11,286 ve %15,179 artarken, Nimax'ta ise %3,221; %2,974 ve %5,062 azaldığı gözlenmiştir. Aynı şekilde kesme hızının artması ile Toolox 44'te yüzey pürüzlülüğü 0,04-0,08 ve 0,12 mm/diş ilerleme değerlerinde sırasıyla %78,162; %34,721 ve %8,878 artarken, Nimax'ta ise %3,515; %30,027 ve %9,806 azaldığı belirlenmiştir. İşlenmiş yüzey altı görüntülerine göre Nimax'ta işlenmiş yüzeyde ilerlemenin artması ile çukur oluşurken, Toolox 44'te ise deforme olmuş ve ısıdan etkilenmiş tabaka meydana gelmiştir. Ayrıca, aynı ilerleme parametrelerinde Toolox 44'ün işlenmiş yüzeylerinde Nimax'a göre daha fazla ilerleme izlerinin oluştuğu ve bunun da yüzey pürüzlülüğünü artırdığı tespit edilmiştir.

## Experimental study on machinability of pre-hardened Toolox 44 and Nimax mould steels

### H I G H L I G H T S

- Machinability properties of Toolox 44 and Nimax mould steels
- Obtaining machined surface and sub-surface images
- Determination of optimum cutting parameters

#### Article Info

Research Article  
Received: 02.11.2019  
Accepted: 21.03.2021

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.641824

#### Keywords:

Mould steels,  
machinability,  
cutting force,  
surface roughness

#### ABSTRACT

In this study, the machinability of Nimax and Toolox 44 materials, which are among the mould steels was investigated experimentally. Cutting experiments were carried out with PVD-AlCrN coated carbide end mill using three different cutting speeds (50-70-90 m/min), feed rate (0.04-0.08-0.12 mm/tooth) and constant depth of cut (1.5 mm). As a result of the experiments, it was observed that more cutting force and surface roughness were measured than Nimax when machining Toolox 44 under the same cutting conditions. While the optimum cutting parameters are high cutting speed and low feed rate (V: 90 m/min and f: 0.04 mm/tooth) in machining of Nimax, low cutting speed and feed rate (V: 50 m/min, f: 0.04 mm/tooth) in Toolox 44. It was observed that cutting force increased with the increasing of cutting speed from 50 m/min to 90 m/min at 0.04-0.08 and 0.12 mm/tooth feed rate values in Toolox 44 by 140.139%, 11.286% and 15.179%, respectively while it decreased in Nimax by 3.221%, 2.974%, and 5.062%, respectively. It was determined that surface roughness increased with the increasing of cutting speed from 50 m/min to 90 m/min at 0.04-0.08 and 0.12 mm/tooth feed rate values in Toolox 44 by 78.162%, 34.721% and 8.878%, respectively while it decreased in Nimax by 3.515%, 30.027% and 9.806%, respectively. According to the machined sub-surface images, the cavity is formed with the increase of the feed rate on the machined surface of Nimax, while the deformed and heat affected layer is formed in Toolox 44. In addition, the Toolox 44 has more feed marks on the machined surface than Nimax at constant feed rate which has been found to increase the surface roughness.

\*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : \*senol.bayraktar@erdogan.edu.tr, uzun.gultekin@gazi.edu.tr /

Tel: +90 464 223 7518 / 1898

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Plastik ürünlerin kullanımına bağlı olarak son yıllarda kalıp çeliklerinin pazar payı giderek artmaktadır. Bakır ve alüminyumdan yapılmış kalıplarla kıyaslandığında çelik esaslı kalıplar, daha yüksek dayanıma sahip olduğu için seri imalatta kullanımları daha yaygındır [1]. Plastik kalıp yapımında önceden sertleştirilmiş kalıp çeliklerinin kullanılmasıyla elde edilen yüksek ekonomik verimlilik, bu tür çeliklerin kullanımını büyük ölçüde arttırmıştır. Genel olarak ön sertleştirme yapılmış kalıp çelikleri, büyük ve orta dereceli üretim hatlarında tercih edilmektedir. Bu malzemelerin en önemli avantajlarından birisi, kullanımları esnasında ön sertleştirme işlemine ihtiyaç duyulmamasıdır. Günümüzde kalıp çeliklerinin yaklaşık %80'i 40 HRC sertliğinde üretilmektedir [1]. Parlatılabilirlik, kaynak edilebilirlik, işlenebilirlik, yüksek korozyon direnci, mekanik dayanım ve tokluk gibi üstün özelliklere sahip olmaları, kalıp ve üretilen plastik parça maliyetini doğrudan etkilemektedir [1-3]. Kalıp çelikleri arasında yer alan düşük karbonlu Nimax, yüksek tokluk ve şok direncine sahiptir. P20 çeliklerinin yerini alarak önceden sertleştirilmiş yeni nesil kalıp çelikleri arasında yer almaktadır. Nimax'ın avantajı, gerekli sertlik özelliğinin hava ile soğutularak elde edilebilmesidir. Böylelikle, su verme ve temperleme gibi üretim zamanı ve maliyetini arttıran ilave işlemler ortadan kaldırılmaktadır. Diğer bir özelliği ise düşük karbon içeriğinden dolayı kaynak edilebilirlik özelliğinin iyi olmasıdır [4]. Plastik enjeksiyon kalıplarında, enjeksiyon işlemi esnasında kalıp malzemelerinde sıcaklık ve basıncın etkisi ile aşınma meydana gelmektedir [5, 6]. Malzemeler, sertleştirilerek aşınma direncinin artırılabilmesi için ısıtılıp işleme tabi tutulmaktadır [7, 8]. Isıl işlem, malzemenin iç yapısında gerilme, mikro çatlak ve deformasyon oluşmasına sebep olmakla birlikte, imalat sürecinin uzamasına sebep olmaktadır. Toolox 44 malzemesi, su verme/temperleme ile ön sertleştirme işlemi yapılarak bu ihtiyaçlara cevap verebilecek şekilde üretilmektedir. Geleneksel takım çeliklerine kıyasla, alüminyum döküm işlemindeki kalıp uygulamalarında daha çok tercih edilmektedir [5]. Malzemelerin işlenebilirliği genel olarak, kesme kuvveti, takım aşınması, güç tüketimi, yüzey pürüzlülüğü faktörleri ile belirlenmektedir. Malzemenin işlenebilirliğinin iyi olması, daha az güç tüketimi, takım aşınması ve daha iyi yüzey kalitesinin elde edilebileceği anlamına gelmektedir [9]. Talaşlı imalatta üretim verimliliğinin artırılmasında bu kriterler son derece önem taşımaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, Zdebski vd. [10] Toolox 33'ün kaplamasız, CrN/TiN, AlTiN/TiN ve ticari kaplamalı kesiciler ile mikro frezelenmesinde CrN/TiN kaplamalı takımın diğer kesicilere göre daha iyi performans sergilediği, Işık [11], takım çeliklerinin tornalanmasında takım aşınmasının ve yüzey pürüzlülüğünün en fazla sırasıyla kesme hızı ve ilerleme parametrelerinden etkilendiğini ve kesme kuvvetleri ile serbest yüzey aşınması arasında doğrudan ilişki olduğunu, Ronkainen vd. [12] titanyum esaslı kaplamaların özellikle de (Ti, Al)N kaplamaların çeliklerin işlenmesinde serbest yüzey

aşınmasına karşı mükemmel direnç gösterdiğini, Wojciechowski ve Mrozek [13], Toolox 44'ün mikro frezelenmesinde optimum diş başına ilerleme ve kesici takım eksen eğimi seçildiğinde takım titreşimlerinin azaldığını ve işlenen yüzey kalitesinin arttığını, Daghini ve Nicolescu [14] Toolox 44'ün tornalanmasında optimum işleme performansı bakımından kaplama kombinasyonunun SM10+Tinalox olduğunu, Wojciechowski vd. [15] düşük karbonlu Nimax çeliğinin frezelenmesinde kesme kuvvetlerinin etkisi ile takımın oluşan dinamik sapmaların yüzey pürüzlülüğü mekanizmalarını önemli ölçüde etkilediğini, Hoseiny vd. [2] beynitlik yapılmış Nimax çeliğinin su verme ve temperleme işlemi sonucunda Impax'a göre işlenebilirliğinin daha iyi olduğunu ve üstün darbe tokluğu ve süneklik özellikleri sergilediğini belirtmişlerdir. Literatürdeki Toolox ve Nimax takım çeliklerinin işlenebilirliği ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında işlenmiş yüzey özelliklerinin yeterince araştırılmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca, kalıpcılık sektöründe kullanılan çelik malzemelerin seçiminin kalıp yapım sürecinde önemli bir faktör olduğu ve alüminyum/plastik enjeksiyon kalıplarında üretilmesi hedeflenen ürün sayısına bağlı olarak kalıpların maruz kalacağı mekanik ve termal gerilmelerin kalıp çeliklerinin ömrünü etkilediği bilinmektedir. Dolayısı ile düşük maliyet ile üretimde verimliliğin artırılabilmesi için amaca uygun kalıp çeliğinin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu çalışma ile ön sertleştirilmiş Toolox 44 ve Nimax takım çeliklerinin işlenebilirliği araştırılarak elde edilen sonuçlar ile endüstriyel kalıpcılık sektöründe faaliyet gösteren işletmelere kalıp malzemesi seçiminde alternatif çözüm önerisi bakımından katkı sağlanması hedeflenmiştir. Buna göre bu çalışmada, ön sertleştirilmiş Toolox 44 ve Nimax takım çeliklerinin frezeleme işleminde işlenebilirliği, kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve işlenmiş yüzey altı durumları bakımından karşılaştırmalı biçimde araştırılmıştır. İşlenmiş yüzey ve yüzey altı durumları, optik mikroskop ve SEM (Scanning Electron Microscope) ile incelendikten sonra bu takım çeliklerinin işlenebilirlik özellikleri detaylandırılmış ve çalışma sonuçlarının etkinliği ortaya konulmuştur.

## 2. DENEYSEL METOT (EXPERIMENTAL METHOD)

### 2.1. Deney Malzemeleri (Experiment materials)

Nimax ve Toolox 44 kalıp çeliklerine ait ağırlıkça kimyasal yüzde bileşimler ve mekanik özellikler sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

### 2.2. Kesme Parametreleri, Kesici Takımlar ve Kesme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

(Cutting parameters, cutting tools and measurement of cutting force and surface roughness)

Kesme testleri, 7,5 kW güce sahip Johnford-VMC 850 CNC dik işleme merkezinde Tablo 3'te verilen kesme parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler için Karcan tarafından üretilen ve teknik özellikleri Tablo 4'te verilen karbür parmak freze kesici takımlar kullanılmıştır.

Testlerde 80x50x50 mm ölçülerinde iş parçası ve 50 mm işleme boyu seçilmiştir. Frezeleme işlemi esnasında oluşan kesme kuvvetlerinin ölçümü için Kistler marka dinamometre kullanılmış olup dinamometreden alınan titreşim sinyalleri yükselteç yardımı ile Dynoware yazılımına aktarılmıştır. Böylelikle, Dynoware yazılımından elde edilen  $F_x$ ,  $F_y$  ve  $F_z$  kuvvetlerinin bileşkesi ( $F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}$ ) hesaplanarak kesme kuvvetleri belirlenmiştir (Şekil 1).

Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesinde Mahr Perthometer M1 (MarSurf PS1) marka izleyici uçlu yüzey pürüzlülük cihazı, 0,8 mm örnekleme uzunluğu ve 4 mm ölçme uzunluğu kullanılmıştır. İşlenmiş yüzey kalitesinin belirlenmesinde ISO 4287 standardına göre ortalama yüzey pürüzlülük ( $R_a$ ) kriteri dikkate alınmış olup işlenmiş yüzeyler üzerindeki pürüzlülük profilindeki sapmaların aritmetik ortalaması ile sonuçlar elde edilmiştir.

**Tablo 1.** Nimax ve Toolox 44'ün ağırlıkça kimyasal bileşimleri [16] (Chemical compositions by weight (w%) of Nimax ve Toolox 44)

Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	CIW	CET
Nimax	0,10	0,3	2,5	-	-	3	1	0,3	-	-	-
Toolox 44	0,32	0,6-1,1	0,8	Max 0,01	Max 0,002	1,35	Max 1	0,80	0,14	0,94-0,98	0,55-0,57

**Tablo 2.** Nimax [16] ve Toolox 44'ün [17] mekanik özellikleri (+20°) (Mechanical properties of Nimax and Toolox 44)

Malzeme	Sertlik (HRC)	Akma dayanımı $R_{p0.2}$ (Mpa)	Çekme dayanımı $R_m$ (Mpa)	Uzama, A5 (%)	Termal iletkenlik (W/m.K)
Nimax	~ 40	785	1265	11	28
Toolox 44	~ 45	1300	1450	13	32

**Tablo 3.** Kesme parametreleri (Cutting parameters)

Kesme hızı (m/dak)	İlerleme (mm/diş)	Kesme derinliği (mm)	Kesme uzunluğu (mm)
50-70-90	0,04-0,08-0,12	1,5	80

**Tablo 4.** Kesici takım teknik özellikleri (Technical properties of cutting tool)

Kaplama malzemesi	Kaplama metodu	Malzeme ISO kodu	Kaplama kalınlığı ( $\mu\text{m}$ )	Ağız sayısı	Helis açısı ( $^\circ$ )	Çap (mm)	Kesme boyu (mm)	Tam boy (mm)
AlCrN	CVD	Ceratizit submicron K20-40	4	4	30	12	25	80



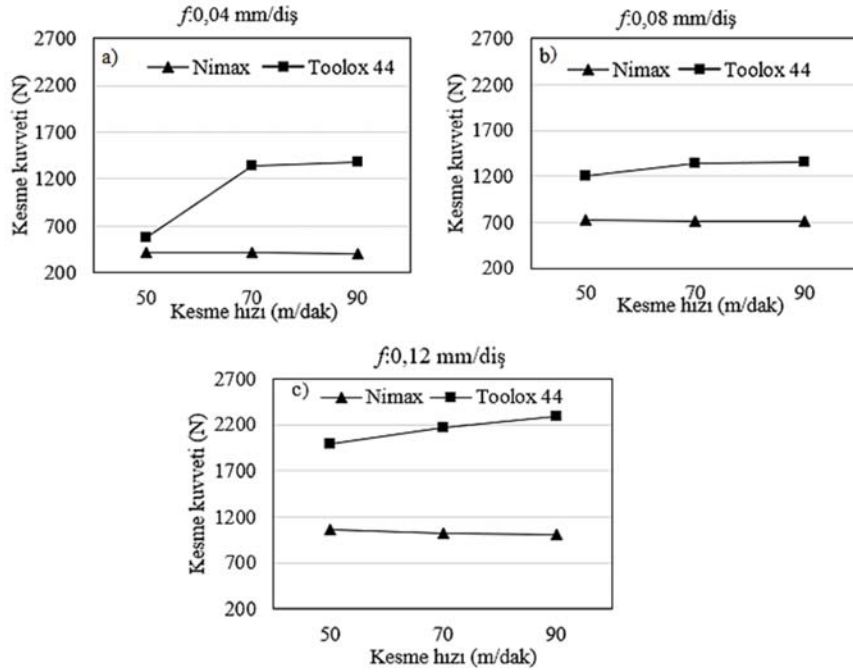
**Şekil 1.** Deneysel düzeneği (Experimental setup)



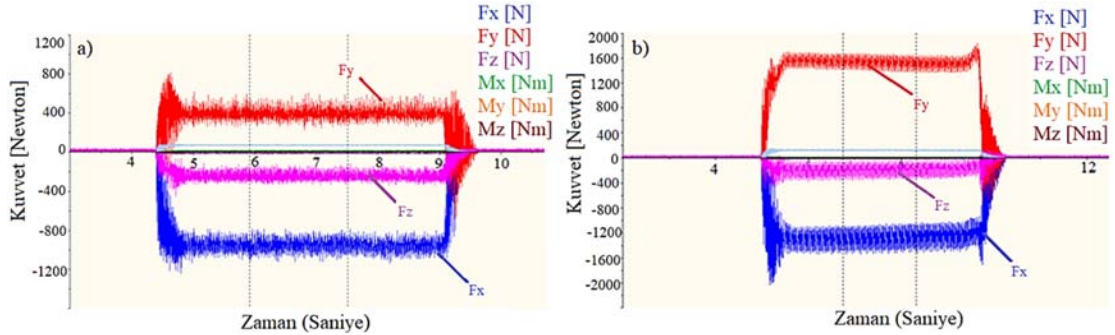
### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Nimax ve Toolox 44 kalıp çeliklerinin sabit ilerleme değerlerinde kesme hızındaki değişime bağlı olarak frezelenmesinde oluşan kesme kuvveti grafikleri Şekil 2'de, yüzey pürüzlülüğü grafikleri ise Şekil 4'te verilmiştir. Buna göre, sabit kesme hızında ilerlemenin artması ile kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüklerinin [18] her iki malzemenin işlenmesinde de arttığı gözlenmiştir. Toolox 44'ün 0,04 mm/diş sabit ilerleme ile işlenmesinde kesme hızının 50 m/dak'dan 90 m/dak'a artması ile kesme kuvveti %140,139 oranında artarken, Nimax'ın işlenmesinde ise %3,2 azaldığı (Şekil 2a), 0,08 mm/diş ilerlemede Toolox 44'te %11,286 artarken Nimax'ta ise %2,974 azaldığı (Şekil 2b) ve 0,12 mm/diş ilerlemede ise Toolox 44'te %15,179 artarken Nimax'ta %5,06 azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 2c).

Şöyle ki, ilerlemenin artması ile birim zamanda kaldırılması gereken talaş hacmi artmaktadır. Ayrıca, kesici takım-talaş ara yüzeyinde oluşan talaş kesitinin artması ile kesme işlemi için daha fazla güce ihtiyaç duyulmaktadır [19-21]. Bu durum, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü artıran bir etken olduğu düşünülmektedir [22-25]. Şekil 2 ve Şekil 3'teki grafikler incelendiğinde tüm kesme hızlarında Nimax malzemesinin frezelenmesinde oluşan kesme kuvvetlerinin Toolox 44'e göre daha az olduğu gözlenmiştir. Bu durum, Nimax'ın sertlik değerinin Toolox 44'e göre daha az olmasından kaynaklanmış olabilir [26]. Malzemenin sertliğinin yüksek olması, kesici takım-talaş ara yüzeyinde ciddi sürtünmeye sebep olmaktadır [27, 28]. Bu sürtünme, kesme işlemi esnasında plastik deformasyonu zorlaştırarak kesme kuvvetini ve kesici takımda oluşan aşınmayı arttırmaktadır [29, 30]. Kesici takımdaki aşınma aynı zamanda işlenmiş yüzey kalitesini azaltan bir etken olarak ortaya çıkmaktadır.



Şekil 2. Nimax ve Toolox 44 malzemesinin işlenmesinde kesme hızı ve ilerlemenin kesme kuvveti üzerindeki etkisi, a)  $f: 0,04$  mm/diş, b)  $f: 0,08$  mm/diş ve c)  $f: 0,12$  mm/diş  
(The effect of cutting speed and feed rate on cutting force in the machining of Nimax and Toolox 44, a)  $f: 0,04$  mm/tooth, b)  $f: 0,08$  mm/tooth and c)  $f: 0,12$  mm/tooth)



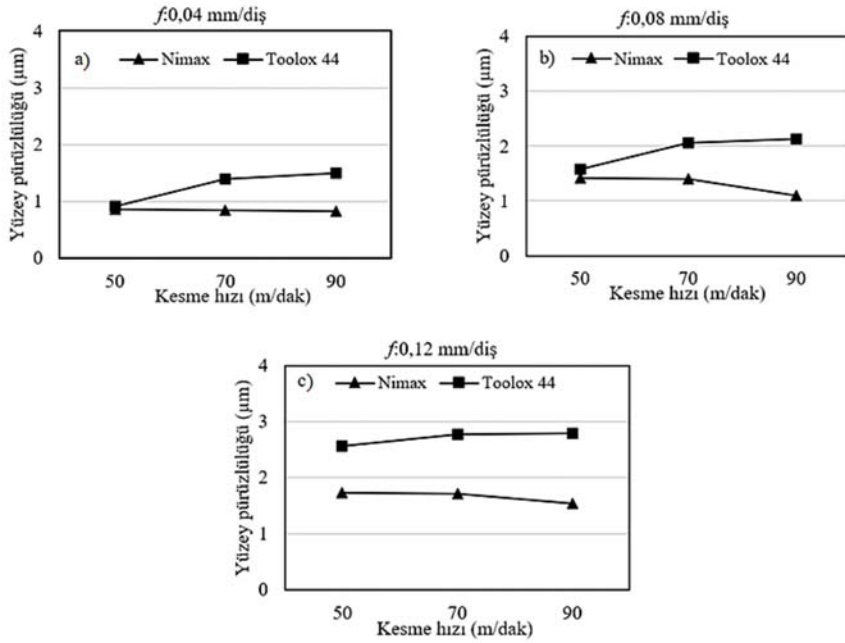
Şekil 3. 50 m/dak kesme hızı ve 0,12 mm/diş ilerlemede oluşan kesme kuvveti-zaman grafiği, a) Nimax ve b) Toolox 44  
(Cutting force-time graph of 50 m/min cutting speed and 0.12 mm/tooth feed rate, a) Nimax and b) Toolox 44)

Şekil 4'te sabit ilerleme değerlerinde Nimax ve Toolox 44 kalıp çeliklerinin farklı kesme hızlarına bağlı olarak işlenmesinde oluşan yüzey pürüzlülüğü grafikleri verilmiştir. Buna göre, tüm ilerleme değerlerinde en yüksek pürüzlülük değerlerinin Toolox 44'te ölçüldüğü ve sabit ilerlemede kesme hızının artması ile Toolox 44 malzemesinin işlenmesi esnasında yüzey pürüzlülüğü artarken, Nimax'ta ise azaldığı gözlenmiştir.

Şekil 4'teki grafikler incelendiğinde 0,04 mm/diş ilerlemede Toolox 44'ün işlenmesinde kesme hızının 50 m/dak'dan 90 m/dak'a artması ile yüzey pürüzlülüğü %78,162 artarken, Nimax'ta %3,515 azaldığı (Şekil 4a), 0,08 mm/diş ilerlemede Toolox 44'te %34,721 artarken Nimax'ta %30,027 azaldığı (Şekil 4b) ve 0,12 mm/diş ilerlemede ise Toolox 44'te %8,878 artarken Nimax'ta ise %9,806 azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 4c). En fazla yüzey pürüzlülüğünün Nimax'ta 50 ve 70 m/dak kesme hızlarında iken Toolox 44'te ise 90 m/dak kesme hızında ölçülmüştür (Şekil 4). Şöyle ki, yüksek kesme hızı birincil deformasyon bölgesinde sıcaklığı artırmaktadır [20, 31]. Sıcaklık artışı, talaşın akma deformasyon oluşumunu kolaylaştırmaktadır [32, 33]. Yüksek sertlikteki malzemenin yüksek kesme hızında işlenmesi, sürtünme ve sıcaklığın etkisi ile kesici takım aşınmasına sebep olmaktadır. Kesici takımda oluşan aşınma ise işlenen yüzey kalitesini azaltmaktadır [32]. Şekil 5'te, Toolox 44 ve Nimax malzemelerinin işlenmiş yüzey altı görüntüleri verilmiştir. Şekil 2 ve Şekil 4'teki grafiklerde de görüldüğü gibi, Nimax malzemesinin yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme değeri ile işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü azalırken, düşük kesme hızı ve yüksek ilerleme değerinde ise

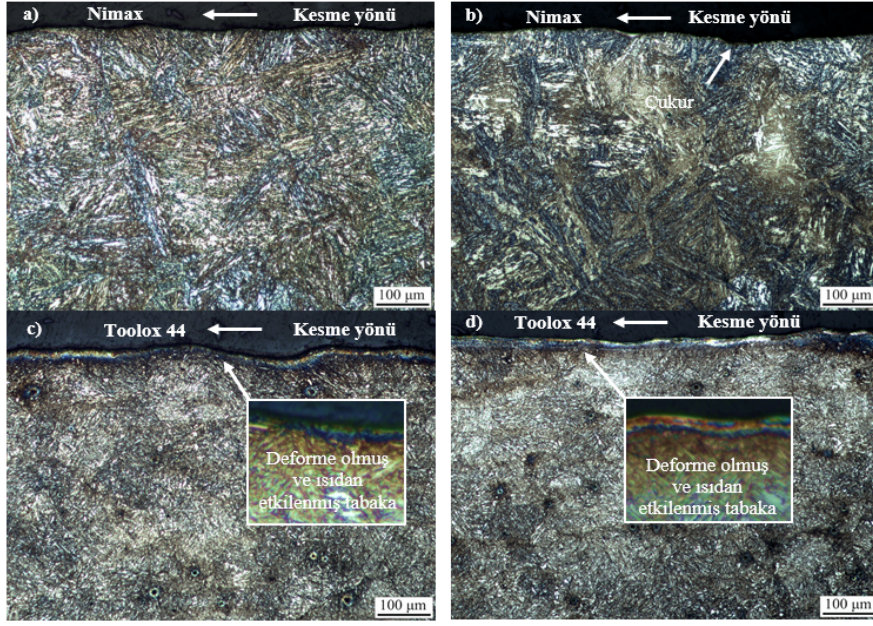
arttığı belirlenmiştir (Şekil 5a-Şekil 5b). İşlenmiş yüzey görüntülerine bakıldığında, Toolox 44'e göre yüzeyde az miktarda ilerleme izlerinin oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 6a-Şekil 6b). Şekil 6b'de ise ilerlemenin artması ile bölgesel çukurlar meydana gelmiştir.

Toolox 44'ün içyapısında sertlik ve aşınma direncini yükselten Si, Mn, V ve Mo gibi elementlerin bulunmasının literatürdeki çalışmalarda da belirtildiği gibi işlenebilirliği zorlaştırdığı düşünülmektedir. Malzemenin sertlik değerinin yüksek olması, plastik deformasyonu zorlaştırmakta ve plastik şekil değişimi için daha fazla kuvvet gerektirmektedir. Plastik şekil değişimi için gerekli olan kuvvetin artması, sürtünme ve sıcaklığın etkisi ile kesici takımda aşınmaya sebep olmaktadır. Kesici takımda oluşan aşınma ise işlenmiş yüzey kalitesinin azaltan etken olarak ortaya çıkmaktadır (Şekil 5c) [34, 35]. Toolox 44'ün işlenmesi esnasında yüzeyde basınç ve sıcaklığın etkisi ile deforme olmuş katman meydana gelmiştir (Şekil 5c-Şekil 5d). Kesme hızı ve ilerlemenin artması ile bu katman oluşumunun daha da belirginleştiği tespit edilmiştir (Şekil 5d) [36]. Şekil 6c-Şekil 6d'de Toolox 44'ün işlenmiş yüzey görüntüleri verilmiştir. Şekil 2 ve Şekil 4'ten anlaşılacağı üzere Nimax için optimum kesme parametrelerinin yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme ( $V:90$  m/dak,  $f: 0,04$  mm/diş) iken Toolox 44 için düşük kesme hızı ve ilerleme ( $V:50$  m/dak,  $f: 0,04$  mm/diş) olduğu belirlenmiştir. Şekil 6'daki görüntülerde, aynı ilerleme değerlerinde her bir malzemenin işlenmiş yüzeyleri kıyaslandığında Toolox 44'te ilerleme izlerinin daha belirgin bir şekilde görüldüğü belirlenmiştir. Bu ilerleme izleri ise işlenmiş yüzey pürüzlülüğünün artmasına sebep olmuştur.

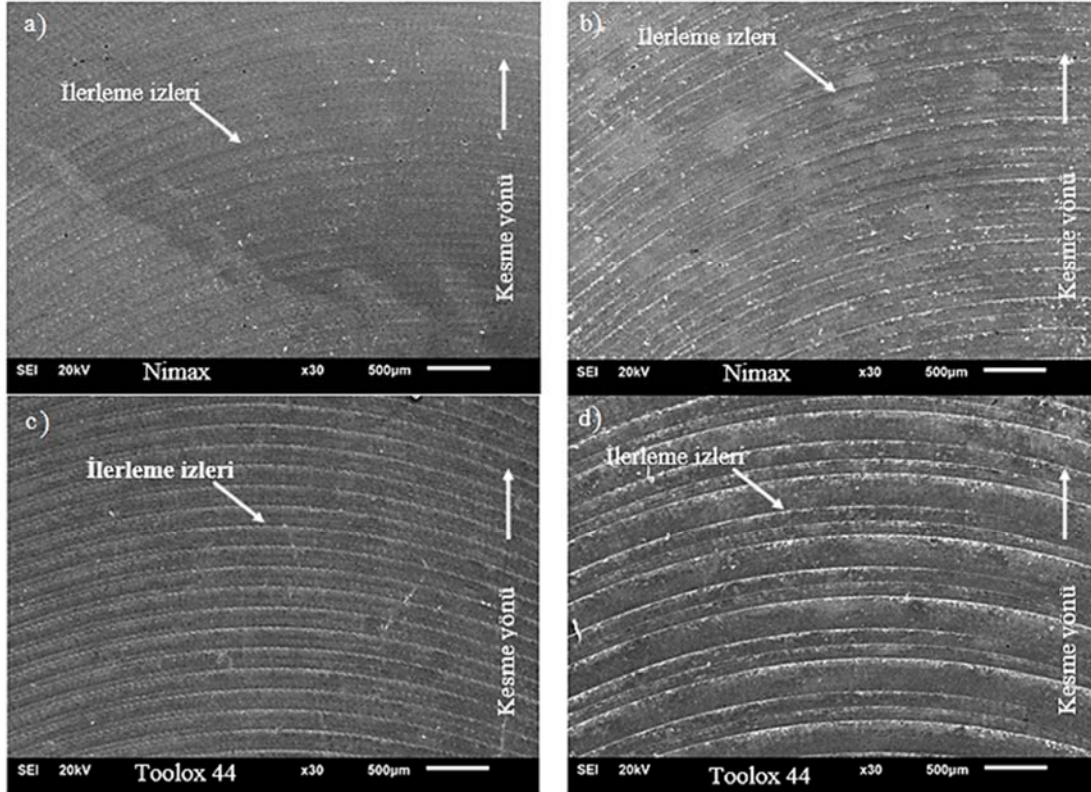


**Şekil 4.** Nimax ve Toolox 44 malzemesinin işlenmesinde kesme hızı ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi, a)  $f: 0,04$  mm/diş, b)  $f: 0,08$  mm/diş ve c)  $f: 0,12$  mm/diş

(The effect of cutting speed and feed rate on surface roughness in the machining of Nimax and Toolox 44, a)  $f: 0.04$  mm/tooth, b)  $f: 0.08$  mm/tooth and c)  $f: 0.12$  mm/tooth)



**Şekil 5.** Nimax ve Toolox 44 malzemelerinin işlenmiş yüzey altı görüntüleri, a) Kesme hızı  $V:90$  m/dak, ilerleme  $f: 0,04$  mm/diş, b)  $V:50$  m/dak,  $f: 0,12$  mm/diş, c)  $V:50$  m/dak,  $f: 0,04$  mm/diş ve d)  $V:90$  m/dak,  $f: 0,12$  mm/diş  
(Sub-surface images of Nimax and Toolox 44 materials, a) Cutting speed  $V:90$  m/min, feed rate  $f: 0.04$  mm/tooth, b)  $V:50$  m/min,  $f: 0.12$  mm/tooth, c)  $V:50$  m/min,  $f: 0.04$  mm/tooth and d)  $V:90$  m/min,  $f: 0.12$  mm/tooth)



**Şekil 6.** Nimax ve Toolox 44 malzemelerinin işlenmiş yüzey görüntüleri, a) Kesme hızı  $V:90$  m/dak, ilerleme  $f: 0,04$  mm/diş, b)  $V:50$  m/dak,  $f: 0,12$  mm/diş, c)  $V:50$  m/dak,  $f: 0,04$  mm/diş ve d)  $V:90$  m/dak,  $f: 0,12$  mm/diş  
(Machined surface images of Nimax and Toolox 44 materials, a) Cutting speed  $V:90$  m/min, feed rate  $f: 0.04$  mm/tooth, b)  $V:50$  m/min,  $f: 0.12$  mm/tooth, c)  $V:50$  m/min,  $f: 0.04$  mm/tooth and d)  $V:90$  m/min,  $f: 0.12$  mm/tooth)



#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Plastik ürünlerin üretiminde kalıp çelikleri, yaygınlıkla tercih edilmektedir. Kalıp çeliklerinin kullanım ömrünün ve mekanik özelliklerinin artırılmasında tercih edilen ısıtma işlemi, imalat açısından ilave zaman ve maliyet kaybı ortaya çıkarmaktadır. Bu durum, önceden sertleştirilmiş fabrikasyon kalıp çeliklerinin imalatta alternatif bir yöntem olarak seçilmesine yol açmıştır. Bu amaçla, bu çalışmada Nimax ve Toolox 44 kalıp çeliklerinin frezelenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve işlenmiş yüzey altı formu üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen bulgular aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Nimax'ın işlenmesinde kesme hızının artması ile kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü azalırken, Toolox 44'te ise artmıştır. Aynı koşullar altında ilerlemenin artması ile her iki malzemenin işlenmesinde kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü artmıştır.
- Kesme hızının 50 m/dak'tan 90 m/dak'a artması ile Toolox 44'te kesme kuvveti 0,04-0,08 ve 0,12 mm/diş ilerleme değerlerinde sırasıyla %140,139; %11,286 ve %15,179 artarken, Nimax'ta ise %3,221; %2,974 ve %5,062 azaldığı tespit edilmiştir.
- Kesme hızının 50 m/dak'tan 90 m/dak'a artması ile Toolox 44'te yüzey pürüzlülüğü 0,04-0,08 ve 0,12 mm/diş ilerleme değerlerinde sırasıyla %78,162; %34,721 ve %8,878 artarken, Nimax'ta ise %3,515; %30,027 ve %9,806 azaldığı belirlenmiştir.
- Aynı koşullar altında Toolox 44'ün işlenmesinde Nimax'a göre kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü daha fazla ölçülmüştür.
- Nimax için optimum kesme parametreleri yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme ( $V:90$  m/dak,  $f: 0,04$  mm/diş) iken Toolox 44 için düşük kesme hızı ve ilerleme ( $V:50$  m/dak,  $f: 0,04$  mm/diş) olarak belirlenmiştir.
- İşlenmiş yüzey altı görüntülerine bakıldığında Toolox 44'te sürtünme ve basıncın etkisi ile daha fazla deforme olmuş ve ısıdan etkilenmiş tabakanın oluştuğu, kesme hızı ve ilerlemenin artması ile bu tabakanın daha belirgin hale geldiği tespit edilmiştir.
- İşlenmiş yüzey görüntüleri kesme hızı ve ilerleme bakımından incelendiğinde Toolox 44'te oluşan ilerleme izlerinin daha belirgin olduğu tespit edilmiştir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma kapsamında yazarlar, kesici takım desteği ile katkı sağlayan Karcan Cutting Tools'a teşekkür eder.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Hoseiny H., Klement U., Sotkovszki P., Andersson J., Comparison of the microstructures in continuous-cooled and quench-tempered pre-hardened mould steels. *Materials & Design*, 32 (1), 21-28, 2011.
2. Hoseiny H., Högman B., Andrén H.O., Klement U., Ståhl J.E., Thuvander A., The influence of microstructure and mechanical properties on the machinability of martensitic and bainitic prehardened mould steels. *International Journal of Material Research*, 104 (8), 748-761, 2013.
3. Hippenstiel F. Handbook of plastic mould steels, Edelmetallwerke Buderus AG., 2004.
4. Lee F. Enhancing plastic mould steel tooling performance with Nimax, (MI): Materials Science and Technology (MS&T), Detroit, 2007.
5. Hansson P., Modern prehardened tool steels in die-casting applications. *Materials and Manufacturing Processes*, 24 (7-8), 824-827, 2009.
6. Martínez-Mateo I., Carrión-Vilches F.J., Sanes J., Bermúdez M.D., Surface damage of mold steel and its influence on surface roughness of injection molded plastic parts. *Wear*, 271 (9-10), 2512-2516, 2011.
7. Boujelbene M., Moisan A., Tounsi N., Brenier B., Productivity enhancement in dies and molds manufacturing by the use of C1 continuous tool path. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 44 (1), 101-107, 2004
8. Bermúdez M.D., Iglesias P., Jiménez A.E., Martínez-Nicolás G. Influence of sliding frequency on reciprocating wear of mold steel with different microstructures. *Wear*, 267 (11), 1784-1790, 2009.
9. Kalpakjian S. Manufacturing processes for engineering materials, Addison-Wesley Publishing Company, 1985.
10. Zdebski D., Allen D.M., Stephenson D.J., Hedge J., Ducros C., Sanchette F., An analysis of the effects of nanolayered nitride coatings on the lifetimes and wear of tungsten carbide micromilling tools. In Cranfield Multi-Strand Conference Creating Wealth Through Research and Innovation, 6, 281, May 2008.
11. Isik Y., Investigating the machinability of tool steels in turning operations. *Materials and Design*, 28 (5), 1417-1424, 2007.
12. Ronkainen H., Nieminen I., Holmberg K., Leyland A., Matthews A., Matthes B., Broszeit E., Evaluation of some titanium-based ceramic coatings on high speed steel cutting tools. *Surface and Coatings Technology*, 49 (1-3), 468-473, 1991.
13. Wojciechowski S., Mrozek K., Mechanical and technological aspects of micro ball end milling with various tool inclinations. *International Journal of Mechanical Sciences*, 134, 424-435, 2017.
14. Daghini L., Nicolescu C.M., Influence of inserts coating and substrate on Toolox 44 machining. In Swedish Production Symposium'07, Sweden, 1-8, 2007.
15. Wojciechowski S., Wiackiewicz M., Krolczyk G.M., Study on metrological relations between instant tool displacements and surface roughness during precise ball end milling. *Measurement*, 129, 686-694, 2018.
16. [https://www.uddeholm.com/files/PB\\_Uddeholm\\_nimax\\_english.pdf](https://www.uddeholm.com/files/PB_Uddeholm_nimax_english.pdf), Last access date: 31 October 2019.
17. <https://www.ssab.com/products/brands/toolox/products/toolox-44?accordion=downloads>, Last access date: 31 October 2019.
18. Yao Y., Zhu H., Huang C., Wang J., Zhang P., Yao P., Investigation on chip formation and surface integrity in



- micro end milling of maraging steel. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-12, 2019.
19. Aykut Ş., Bağcı E., Kentli A., Yazıcıoğlu O., Experimental observation of tool wear, cutting forces and chip morphology in face milling of cobalt based super-alloy with physical vapour deposition coated and uncoated tool. *Materials and Design*, 28 (6), 1880-1888, 2007.
  20. Nayak M., Sehgal R., Effect of tool material properties and cutting conditions on machinability of AISI D6 steel during hard turning. *Arabian Journal for Science Engineering*, 40 (4), 1151-1164, 2015.
  21. Bayraktar Ş., Demir O., Processing of T6 heat-treated Al-12Si-0.6 Mg alloy. *Materials and Manufacturing Processes*, 35 (3), 354-362, 2020.
  22. Bayraktar Ş., Turgut Y., Determination of delamination in drilling of carbon fiber reinforced carbon matrix composites/Al 6013-T651 stacks. *Measurement*, 154, 107493, 2020.
  23. Bayraktar Ş., Assessment of cutting performance on drilling with different drilling methods of fiber reinforced polymer composites: A Literature Review, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33 (2), 609-626, 2018.
  24. Bayraktar Ş., Hekimoğlu A.P., Optimization of thrust force and surface roughness using response surface methodology (RSM) in drilling of Al-30Zn alloy. *Gümüşhane University Journal of Science and Technology Institute*, 10 (3), 804-813, 2020.
  25. Acır A., Turgut Y., Übeyli M., Günay M., Şeker U., A study on the cutting force in milling of boron carbide particle reinforced aluminium composite. *Science and Engineering of Composite Materials*, 16 (3), 187-196, 2009.
  26. Olovsjö S., Wretland A., Sjöberg G., The effect of grain size and hardness of wrought Alloy 718 on the wear of cemented carbide tools. *Wear*, 268 (9-10), 1045-1052, 2010.
  27. Demir H., The effects of microalloyed steel pre-heat treatment on microstructure and machinability. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 35 (9-10), 1041-1046, 2008.
  28. Chinchankar S., Choudhury S.K., Investigations on machinability aspects of hardened AISI 4340 steel at different levels of hardness using coated carbide tools. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 38, 124-133, 2013.
  29. Wang B., Liu Z., Cutting performance of solid ceramic end milling tools in machining hardened AISI H13 steel. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 55, 24-32, 2016.
  30. Ollilainen V., Hurmola H., Pöntinen H., Mechanical properties and machinability of a high-strength, medium-carbon, microalloyed steel. *Journal of Materials for Energy Systems*, 5 (4), 222-232, 1984.
  31. Wang C., Ding F., Tang D., Zheng L., Li S., Xie Y., Modeling and simulation of the high-speed milling of hardened steel SKD11 (62 HRC) based on SHPB technology. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 108, 13-26, 2016.
  32. Gong F., Zhao J., Jiang Y., Tao H., Li Z., Zang J., Fatigue failure of coated carbide tool and its influence on cutting performance in face milling SKD11 hardened steel. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 64, 27-34, 2017.
  33. Çiftçi İ., The Influence of Cutting Tool Coating and Cutting Speed on Cutting Forces and Surface Roughness in Machining of Austenitic Stainless Steels, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 20 (2), 205-209, 2005.
  34. Zaman H.A., Sharif S., Kim D.W., Idris M.H., Suhaimi M.A., Tumurkhuyag Z., Machinability of Cobalt-based and Cobalt Chromium Molybdenum Alloys-A Review. *Procedia Manufacturing*, 11, 563-570, 2017.
  35. Bayraktar Ş., Cryogenic cooling-based sustainable machining. In *High Speed Machining*, Elsevier Academic Press, 223-241, 2020.
  36. Shaw M.C., Vyas A., Chip formation in the machining of hardened steel. *CIRP Annals*, 42 (1), 29-33, 1993.

