



INVESTIGATION OF CUTTING TOOL LIFE BY ULTRASONIC TURNING METHOD OF AISI 52100 BEARING STEEL

Salih Ağar^{*1}, Aybars Mahmat², Nihat Tosun³

¹Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tunceli, Türkiye

²Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tunceli, Türkiye

³Furat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

Abstract

Original scientific paper

In this study, the machinability of the independent variables AISI 52100 bearing steel with ultrasonic and conventional turning was investigated. In this study, the effects of machining method and cutting speed, which are independent variables, on tool life were examined while examining machinability. Variables such as constant feed of 0.1 mm/rev, cutting speeds of 50, 100 and 150 m/min and a constant depth of cut of 0.5 mm were used in the experimental studies. Cemented carbide and cubic boron nitride (CBN) cutting tools were used as cutting tools. In ultrasonic turning, which is one of the machining methods, two different vibration frequencies (20 and 30 kHz) and constant vibration amplitudes (10 µm) were applied to the cutting tool. Machining operations were carried out under dry machining. As a result, the increase in cutting speed in all machining methods caused a decrease in cutting tool life. Increasing vibration frequency values in ultrasonic turning caused an increase in cutting tool life. CBN cutting tool exhibited longer tool life than carbide cutting tool in all machining methods and cutting speed values. In addition, the highest tool life at all cutting speeds is seen in ultrasonic turning at 30 kHz, while the lowest tool life is in conventional turning.

Keywords: AISI 52100 bearing steel, machining, tool life, ultrasonic turning.

AISI 52100 RULMAN ÇELİĞİNİN ULTRASONİK TORNALAMA YÖNTEMİ İLE KESİCİ TAKIM ÖMRÜNÜN İNCELENMESİ

Özet

Orijinal bilimsel makale

Yapılan bu çalışma ile ultrasonik ve geleneksel tornalama ile bağımsız değişkenlerin AISI 52100 rulman çeliğinin işlenebilirliği araştırıldı. Bu çalışmada işlenebilirlik incelenirken bağımsız değişkenler olan işleme yönteminin ve kesme hızının takım ömrüne olan etkisi incelendi. Deneysel çalışmalarda, 0.1 mm/devir sabit ilerleme, 50, 100 ve 150 m/dak kesme hızları ve 0.5 mm sabit talaş derinliği gibi değişkenler kullanıldı. Kesici takım olarak sementit karbür ve kübik bor nitrür (CBN) kesici takımlar kullanıldı. İşleme yöntemlerinden biri olan ultrasonik tornalamada, iki farklı titreşim frekansı (20 ve 30 kHz) ve sabit titreşim genliği (10 µm) kesici takıma uygulandı. Talaş kaldırma işlemleri kuru işleme altında gerçekleştirildi. Sonuç olarak tüm işleme yöntemlerinde kesme hızının artışı, kesici takım ömrünün azalmasına neden olmuştur. Ultrasonik tornalamada artan titreşim frekans değerleri kesici takım ömrünün artışına neden olmuştur. Tüm işleme yöntemlerinde ve kesme hızı değerlerinde CBN kesici takım karbür kesici takıma göre daha uzun takım ömrü sergilemiştir. Ayrıca tüm kesme hızlarında en yüksek takım ömrü 30 kHz ile yapılan ultrasonik tornalamada görülürken, en düşük takım ömrü geleneksel tornalamada oluşmuştur.

Anahtar Kelimeler: AISI 52100 rulman çeliği, takım ömrü, talaşlı imalat, ultrasonik tornalama.

1 Giriş

Geleneksel tornalama işlemi, imalat endüstrisinde yaygın olarak kullanılan talaş kaldırma yöntemlerinin başında gelmektedir. Talaş kaldırma işlemlerinde iş parçası ve kesici takım arasındaki nispi hareketlerden dolayı bu bölgede sürtünme oluşmakta ve yüksek kesme sıcaklıkları meydana gelmektedir. Oluşan bu yüksek kesme

sıcaklıkları takım ömrünü azaltarak, işlenebilirliği etkilemektedir [1]. Sert ve kırılğan malzemeler üstün mekanik özelliklerinden dolayı uzay, havacılık, otomotiv vb. gibi sektörlerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak bu malzemelerin talaşlı işlenebilirliği üzerine artan talepler karşısında geleneksel tornalama yetersiz kalmaktadır [2]. Bu malzemelerden biri de yüksek karbon içeren krom alaşımlı AISI 52100 çeliği freze çakıllarında,

* Corresponding author.

E-mail address: salihagar@munzur.edu.tr (S. Ağar)

Received 23 August 2022; Received in revised form 31 January 2023; Accepted 05 February 2023

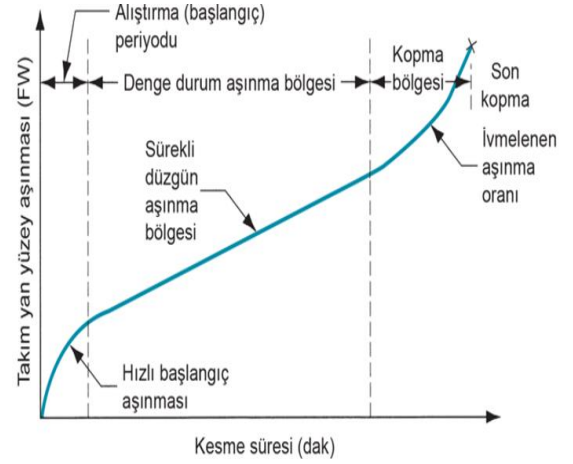
2587-1943 | © 2023 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1165371>

dişli takımlarda pimlerde, vidalarda, makaralarda, hidrolik ekipman parçalarında, kollu kılavuzlarda, millerde ve yataklarda kullanılır [3].

Hızlı takım aşınması, kesici takım değiştirme zamanı, ön ısıl işlem ve taşlama operasyonunun da dâhil edilmesi nihai ürün maliyetinde yüksek artışlara neden olmaktadır. Dolayısıyla en uzun takım ömrü ve iyi yüzey kalitesi sağlayan işleme koşullarının belirlenmesi amacıyla yapılacak bir iyileştirmeyle işleme zamanı ve üretim maliyeti düşecektir. Ultrasonik tormalama yüzey pürüzlülüğünü azaltırken takım aşınması ve kesme kuvvetlerini iyileştirdiği ve uygun talaş formlarının oluşmasını sağladığı için, bu tür malzemelerin işlenmesinde tercih edilmektedir [4]. Ultrasonik tormalama yöntemi, kesici takım-iş parçası ara yüzeyindeki sürtünme katsayısını önemli derecede azaltmaktadır [5]. Son yıllarda popüler olan ultrasonik tormalama yöntemi kesici takıma düşük genlikte (4-10 μm) ve yüksek frekanslarda (17-40 kHz) titreşim uygulanarak yapılan bir talaş kaldırma işlemidir. Ancak ultrasonik tormalama yönteminin, işleme esnasında kesici takım-iş parçası ara yüzeyinde geleneksel tormalama yöntemine göre yüksek sıcaklık oluşturması ultrasonik tormalama yöntemin dezavantajı olarak görülmektedir [6].

Takım ömrü, talaş kaldırma esnasında kesici takımın kesme kriterlerine göre kullanılamayacak şekilde aşınması için gereken zaman olarak tanımlanmaktadır. Kesici takım ömrü, talaşlı işlemeye etki eden en önemli ekonomik faktörlerden biridir [7]. Talaş kaldırma süresince çeşitli aşınma mekanizmaları ile kesici takımda aşınmalar meydana gelmektedir. Takım aşınması ile işleme süresi arasındaki zamana bağlı aşınma eğrisi Şekil 1'de gösterilmiştir. Zamana bağımlı aşınma eğrisinde üç bölge bulunmaktadır. Birinci bölge, kesici takım hızlı başlangıç aşınması olarak tanımlanır ve işlemenin ilk birkaç dakikalık süresinde hızlı bir aşınma meydana gelir. Denge ya da kararlı bölge olarak adlandırılan ikinci bölgede ise oldukça düzenli aşınma görülür. Son olarak aşınma hızının arttığı bölgede ise kesme sıcaklığının ani yükseliş gösterdiği, işleme verimliliğinin azaldığı bölgede takım ömrü sona ermiştir[8]



Şekil 1. Kesici takımda meydana gelen zamana bağımlı serbest yüzey aşınma eğrisi [7].

Bu çalışmanın amacı, yüksek mekanik özelliklere sahip AISI 52100 çeliğinin geleneksel tormalama ve ultrasonik tormalama yöntemi ile kuru işleme altında, işleme parametrelerinin takım ömrü üzerindeki etkilerini ve önem derecesini deneysel, sayısal ve istatistiksel olarak araştırmaktır. Çalışmada iş parçası olarak geniş bir kullanım alanına sahip olan ve genellikle rulman ve kalıp yapımında kullanılan AISI 52100 çeliğinin seçilmesinin amacı, bu tür çelikler yüksek mukavemete sahip olduklarından, geleneksel talaşlı imalat yöntemleriyle işlenmesinin zor ve kısıtlı olmasıdır.

2 Materyal ve Metot

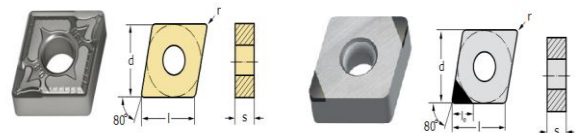
Çalışmada, iş parçası olarak AISI 52100 (100Cr6) çeliği kullanılmıştır. AISI 52100 rulman çeliği ısıl işlemsiz ve $\text{Ø}60\text{X}600$ mm boyutlarında ticari olarak temin edilmiştir. Deneylerde kullanılan iş parçalarının ortalama sertlik değeri 60 HRC olarak belirlenmiştir. İşleme sırasında iş parçasında oluşabilecek salınımların önlenmesi amacıyla, deneylerden önce iş parçalarına punta deliği açıldı ve iş parçaları yüzeyindeki muhtemel korozyon tabakasının kaldırılması amacıyla tüm iş parçalarına deneylerden önce 0.3 mm talaş derinliğinde işleme yapıldı. AISI 52100 çeliğinin kimyasal bileşimi ile mekanik ve fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. AISI 52100 çeliğinin kimyasal bileşimi, mekanik ve fiziksel özellikleri [9].

Kimyasal Bileşim (%)						
Element	C	Cr	Mn	Si	Cu	Ni
% içeriği	1	1.49	0.34	0.24	0.16	0.1
Mekanikve Fiziksel Özellikleri						
Yoğunluk (gr/cm ³)	Sertlik (HRC)	Çekme dayanımı (MPa)	Akma dayanımı (MPa)	Kopma uzaması (%)	Elastisitemodülü (GPa)	Isıl iletkenlik (W/m. ^o K)
7.80	60-66	520	415	2.7	80	42.4

Talaş kaldırma deneylerinde CNGA 120404 (l=12 mm, s= 4 mm, r=0.4 mm) ISO standardında, S10 kalitede değiştirilebilir karbür ve CBN kesici takımlar kullanılmıştır. Kullanılan takımların geometrik özellikleri Şekil 2'de verilmiştir. Takım tutucu olarak ISO 5608 standardında, değiştirilebilir kesici takımlara uygun DCLNR 2020 K12 normunda kater kullanılmıştır. Deneyler 10 HP gücünde, 9-1600 dev/dak hız aralığına ve 93 adet ilerleme sayısına sahip YUNNAN marka

CY6250B model üniversal torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir.



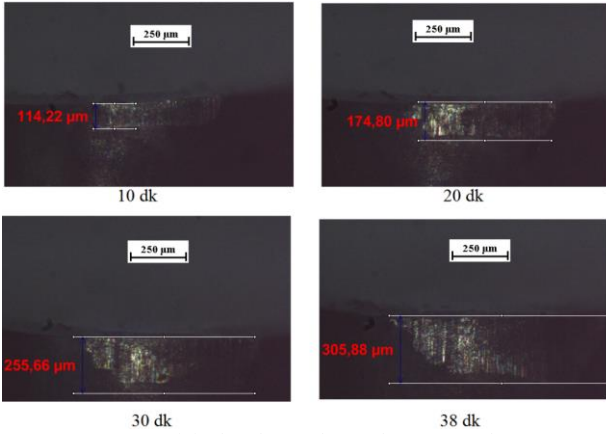
Şekil 2. Deneylerde kullanılan kesici takımın geometrisi.

Çalışmada kullanılan parametreler ve değerleri, yapılan literatür araştırmaları doğrultusunda, kullanılan tezgah ve ekipmanların özellikleri de dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, Tablo 2’de belirtilen değişkenler kullanılarak talaş kaldırma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler tam faktöriyel deney tasarımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tam faktöriyel deney tasarımında, tüm faktörlerin birbiriyle olan etkileşimleri göz önüne alınmaktadır. Tablo 2’de işleme parametreleri ve seviyeleri verilmiştir.

Tablo 2. İşleme parametreleri ve seviyeleri.

Parametreler	Seviyeler
Kesme Hızı (m/dak)	50-100-150
İlerleme (mm/dev)	0.1
Talaş Derinliği (mm)	0.5
Titreşim Frekansı (kHz)	20-30
Titreşim Genliği (μm)	10

Takım ömrü ölçümlerinde NİKON marka ECLİPSE MA100 model optik mikroskobu kullanılmıştır. Ölçümler 5X büyütmede yapılmıştır. Takım ömrü çalışmaları ISO 3685 standardına göre gerçekleştirilerek, kesici takımda meydana gelen serbest yüzey aşınma (Vb) miktarı 0.3 mm ulaşmaya kadar işleme devam edilmiştir. Takımda meydana gelen aşınma optik mikroskobunda zamana bağımlı olarak ölçülmüştür. Şekil 3’de kesici takımın zamanla meydana gelen serbest yüzey aşınma ölçümü görülmektedir.

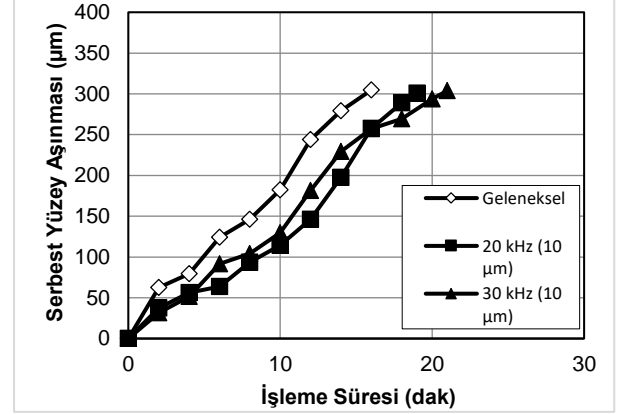


Şekil 3. Kesici takımın meydana gelen aşınma ölçümü.

3 Araştırma Sonuçları ve Tartışma

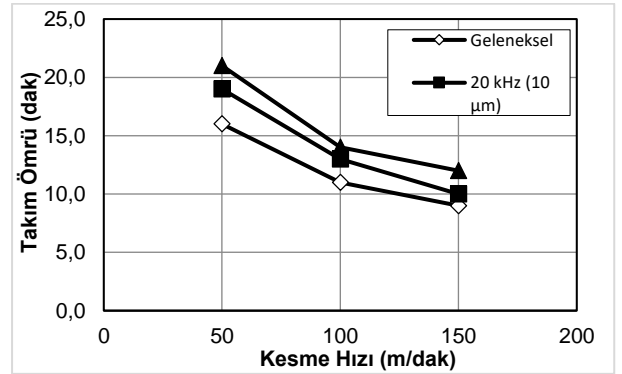
Takım ömrü çalışmaları, farklı işleme yöntemleri altında, CBN kesici ve sementit karbür takımları ile kuru işleme altında 3 farklı kesme hızı (50, 100, 150 m/dak), sabit talaş derinliği (0.5 mm) ve sabit ilerlemede (0.1 mm/dev) iş parçasından talaş kaldırılarak yapılmıştır. Takım ömrünün işleme yöntemine göre belirlenmesinde geleneksel tornalamaya ek olarak, 10 μm sabit titreşim genliği altında 20 ve 30 kHz ultrasonik tornalama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Takım ömrü deneylerinde kesici takımın serbest yüzey aşınması (VB) 0.3 mm’ye ulaşmaya kadar talaş kaldırılmıştır. Kesici takımın birim

zamanda meydana gelen aşınma miktarı tespit edilmiştir. Birim zamanda oluşan aşınma miktarının ölçülmesi ile zamana bağımlı aşınma karakteristik eğrisinin oluşturulması amaçlanmıştır [10]. Şekil 4’de karbür kesici takımın 50 m/dak kesme hızında oluşan aşınma-zaman grafiği, Şekil 5’de ise kesme hızına bağlı aşınma grafiği verilmiştir. Şekil 6 ve Şekil 7’de sırasıyla CBN kesici takımın 50 m/dak kesme hızında oluşan aşınma-zaman grafiği ve kesme hızına bağlı aşınma grafiği verilmiştir.



Şekil 4. Karbür kesici takımın zamana bağlı aşınması.

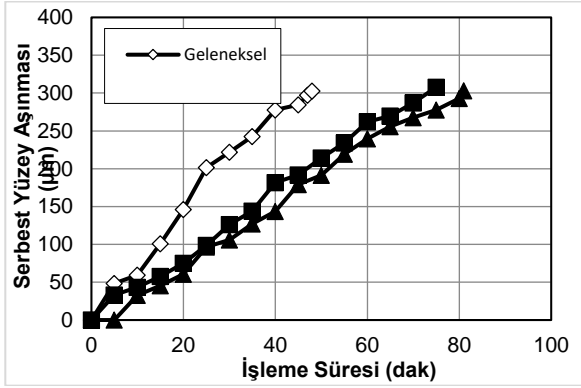
Şekil 4’de işleme yöntemlerinin 50 m/dak kesme hızında ve kuru işleme altında karbür kesici takımın ömrüne olan etkileri görülmektedir. Şekil 4’e göre geleneksel tornalamada kesici takım hızlı bir şekilde aşınmıştır. Ancak 20 kHz ve 30 kHz titreşim frekansı ve 10 μm altında gerçekleştirilen ultrasonik tornalama deneylerinde gerçekleşen takım ömrü geleneksel tornalamaya göre daha yüksek olmuştur. Ayrıca CBN kesici takımlarda oluşan takım ömrü karbür kesici takım ömrüne göre oldukça yüksektir. Bunun nedeni sementit karbürün, CBN kesici takıma göre daha düşük aşınma direnci sahip olmasından kaynaklanmaktadır [11].



Şekil 5. Karbür kesici takım kesme hızı-ömür ilişkisi.

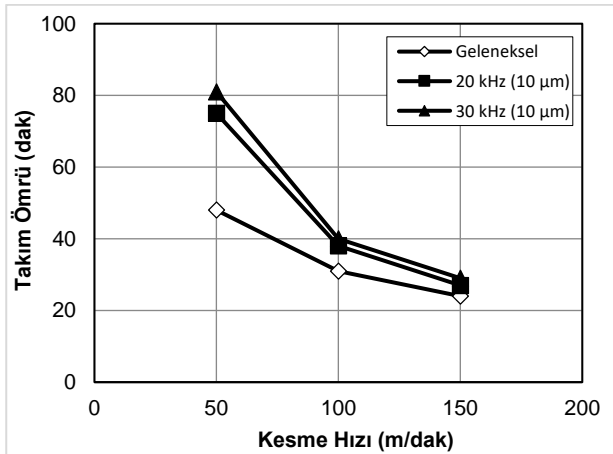
İşleme yöntemlerinin karbür kesici takım ömrüne olan etkisi Şekil 5’de kesme hızına bağlı olarak verilmiştir. Şekil 5’e göre artan kesme hızı ile kesici takım ömrünün kısıldığı görülmektedir. Yüksek kesme hızlarının düşük kesme hızlarına göre serbest yüzey aşınmasını hızlandırdığı belirtilmiştir [12]. Kesme hızının artışı ile beraber artan kesme bölgesi sıcaklığı aşınma mekanizmalarının etkisini artırarak kesici takımın ömrünü azalttığı belirtilmiştir [13]. Kesme hızındaki artış, işleme bölgesi sıcaklığını artırması nedeniyle takımın oluşan

termal etki, takım aşınmasının hızlanmasına ve takım ömrünün kılalmasına neden olur [14]. Karbür kesici takım kullanılarak yapılan geleneksel tornalamada 50 m/dak kesme hızında kesici takım ömrü 16 dak olarak gerçekleşirken 100 m/dak ve 150 m/dak kesme hızlarında sırasıyla 11 dakika ve 9 dakika olarak gerçekleşmiştir. 20 kHz titreşim frekansında yapılan ultrasonik tornalamada, 50 m/dak kesme hızında kesici takım ömrü 19 dakika olarak gerçekleşirken 100 m/dak ve 150 m/dak kesme hızlarında sırasıyla 13 dakika ve 10 dakika olarak gerçekleşmiştir. 30 kHz titreşim frekansında yapılan ultrasonik tornalamada ise, 50 m/dak kesme hızında kesici takım ömrü 21 dakika olarak gerçekleşen takım ömrü 100 m/dak ve 150 m/dak kesme hızlarında takım ömrü sırasıyla 14 dakika ve 12 dakikaya düşmüştür. 50 m/dak kesme hızında işleme yöntemleri kıyaslandığında, 30 kHz ile yapılan ultrasonik tornalama deneylerinde 20 kHz ultrasonik tornalamaya göre kesici takım ömründe %9.52 ve geleneksel tornalamaya göre ise %23.8 oranında iyileşme görülmüştür. 100 m/dak kesme hızında bu oranlar %7.14 ve %21.42 olarak gerçekleşirken 150m/dak kesme hızında ise sırasıyla %16.66 ve %25 oranında takım ömründe iyileşme görülmüştür.



Şekil 6. CBN kesici takımın zamana bağlı aşınması.

Şekil 6'da işleme yöntemlerinin 50 m/dak kesme hızında ve kuru işleme altında CBN kesici takımın ömrüne olan etkileri görülmektedir. Şekil 6'ya göre geleneksel tornalamada en düşük takım ömrü oluşurken, farklı frekanslarda gerçekleştirilen ultrasonik tornalamada ise takım ömrünün arttığı belirlenmiştir. Karbür kesici takıma benzer şekilde artan kesme hızlarında kesici takımın hızlı bir şekilde aşındığı belirlenmiştir.



Şekil 7. CBN kesici takım kesme hızı-ömür ilişkisi.

İşleme yöntemlerinin CBN kesici takım ömrüne olan etkisi Şekil 7'de kesme hızına bağlı olarak verilmiştir. CBN kesici takım kullanılarak yapılan deneylerde ise, geleneksel tornalamada 50 m/dak kesme hızında kesici takım ömrü 48 dakika olarak gerçekleşirken 100 m/dak ve 150 m/dak kesme hızlarında sırasıyla 31 dakika ve 24 dakika olarak gerçekleşmiştir. 20 kHz titreşim frekansında yapılan ultrasonik tornalamada, 50 m/dak kesme hızında kesici takım ömrü 75 dakika olarak gerçekleşirken 100 m/dak ve 150 m/dak kesme hızlarında sırasıyla 38 dakika ve 27 dakika olarak gerçekleşmiştir. 30 kHz titreşim frekansında yapılan ultrasonik tornalamada ise, 50 m/dak kesme hızında 81 dakika olarak gerçekleşen takım ömrü, 100 m/dak ve 150 m/dak kesme hızlarında sırasıyla 40 dakika ve 29 dakika olarak belirlenmiştir. 50 m/dak kesme hızında işleme yöntemleri kıyaslandığında, 30 kHz ile yapılan ultrasonik tornalama deneylerinde 20 kHz ultrasonik tornalamaya göre kesici takım ömründe %7.4 ve geleneksel tornalamaya göre ise %38.3 oranında iyileşme görülmüştür. 100 m/dak kesme hızında bu oranlar %5 ve %22.5 olarak gerçekleşirken 150m/dak kesme hızında ise sırasıyla %6.9 ve %17.2 oranında kesici takım ömründe iyileşme olduğu belirlenmiştir.

4 Sonuçlar

Bu çalışma sonucunda AISI 52100 rulman çeliğinin ultrasonik ve geleneksel tornalama sonucunda kesici takım ömrü deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- Tüm işleme yöntemlerinde kesme hızının artışı, kesici takım ömrünün azalmasına neden olmuştur.
- Tüm kesme hızlarında en yüksek takım ömrü 30 kHz ile yapılan ultrasonik tornalamada görülürken, en düşük takım ömrü geleneksel tornalamada oluşmuştur.
- Ultrasonik tornalamada artan titreşim frekans değerleri kesici takım ömrünün artışına neden olmuştur.
- Tüm işleme yöntemlerinde ve kesme hızı değerlerinde CBN kesici takım karbür kesici takıma göre daha uzun takım ömrü sergilemiştir.

İleriye dönük olarak elde edilen sonuçlar değerlendirilerek, AISI 52100 rulman çeliğinin ultrasonik ve geleneksel tornalama sonucunda elde edilen sonuçlar gelecekte yapılacak olan farklı çalışmalara ışık tutacaktır.

Bilgilendirme

Bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.

Teşekkür

Yapılan bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BAP) tarafından Proje Numarası: MF.17.61 ile desteklenmiştir. Çalışmanın yazarları Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne desteklerinden ötürü teşekkür etmektedir.

Referanslar

- [1] Sahin H. M., & Acır A. (2003). Talaş kaldırma işlemlerinde kesici takım ve talaş arasında oluşan sıcaklık dağılımının sonlu farklar metodu ile analizi. *Politek. Derg.*, vol. 6, pp. 541–549.
- [2] Babitsky, V. I., Mitrofanov, A. A., & Silberschmidt, V. V. (2004). Ultrasonically assisted turning of aviation materials: simulations and experimental study. *Ultrasonics*, 42(1-9), 81-86.
- [3] Xiao, S., Yan, J., Farajtabar, M., Song, L., Yang, X., & Zha, H. (2017). Joint modeling of event sequence and time series with attentional twin recurrent neural networks. *arXiv preprint arXiv:1703.08524*.
- [4] Sanlitürk I., & Tosun N. (2013). “Ultrasonik Tornalamada İşlem Parametrelerinin Performans Karakteristiklerine Etkilerinin Araştırılması,” 4. Ulus. Talaşlı İmalat Sempozyumu, pp. 519–531.
- [5] Zhang, J., Cui, T., Ge, C., Sui, Y., & Yang, H. (2016). Review of micro/nano machining by utilizing elliptical vibration cutting. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 106, 109-126.
- [6] Pujana, J., Rivero, A., Celaya, A., & De Lacalle, L. L. (2009). Analysis of ultrasonic-assisted drilling of Ti6Al4V. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 49(6), 500-508.
- [7] Çiçek, A., Ekici, E., Uygur, İ., Akıncıoğlu, S., & Kıvık, T. (2012). AISI D2 Soğuk İş Takım Çeliğinin Delinmesinde Derin Kriyojenik İşlemin Takım Ömrü Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 4(1), 1-9.
- [8] Groover, M. P. (2020). Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems. John Wiley & Sons.
- [9] Nie, G. C., Zhang, X. M., Zhang, D., & Ding, H. (2018). An experimental study of the white layer formation during cryogenic assisted hard machining of AISI 52100 steel. *Procedia Cirp*, 77, 223-226.
- [10] Kıyak, M., Eraslan, M., & Altan, E. (2011). Tornalamada Kesici Takım Aşınmasını İşlem Esnasında Sıcaklık Ölçümü İle Saptama. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(1), 893-900.
- [11] Pul M. & Seker U. (2010). An investigation of wear behaviors of different cutting tools in machining by means of turning Al-MgO composites produced by vacuum infiltration method. *J. Eng. Nat. Sci.*, vol. 28, pp. 179–187.
- [12] Çelik, Y. H., Kilickap, E., & Güney, M. (2017). Investigation of cutting parameters affecting on tool wear and surface roughness in dry turning of Ti-6Al-4V using CVD and PVD coated tools. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 39, 2085-2093.
- [13] Özdemir, K., & Çakır, M. C. (2008). Kesme parametrelerinin başlangıç aşınmasına etkisinin deneysel olarak incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Derg.*, vol. 13, no. 2, pp. 99–109, 2008.
- [14] Parlak, N., Ozler, L., & Dogru, N. (2013). Investigation of tool life in turning of AISI D6 steel. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 404, pp. 10-15). Trans Tech Publications Ltd.