

Nano-akışkan Aşındırıcı Toz Miktarının Yüzey Kalitesine Etkilerinin İncelenmesi

Investigation of the Effects of Nano-fluid Abrasive Powder Amount on the Surface Quality

Ahmet Emre ÖZCAN¹ , Mustafa AY² , Ayhan ETYEMEZ³ 

¹Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, 34722, İstanbul, Türkiye, ahmetemreozcan@gmail.com

²Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 34722, İstanbul, Türkiye, muay@marmara.edu.tr

³Nikken Türkiye, Girne Mah. Irmak Sk., Küçükalyalı İş Merkezi, A Blok, No:5, 34852, İstanbul, Türkiye, ayhan@nikken.com.tr

Öz

Bu çalışmada Minimum Miktarda Yağlama (MMY) sistemine katılan aşındırıcı toz miktarı ve kesme hızına bağlı olarak işlenmiş yüzeylerdeki yüzey pürüzlülüğündeki değişimler incelenmiştir. Kesme hızı olarak (V:100, 120, 140 ve 160 m/dk) ve kesme yöntemi olarak (kuru, MMY, MMY+%1 Al_2O_3 , MMY+%2 Al_2O_3 , MMY+%4 Al_2O_3 ve MMY+%6 Al_2O_3) kesme parametreleri seçilmiştir. Deney malzemesi olarak yüksek sertliğe ulaşabilmek adına 59 HRC sertliğinde sertleştirilmiş 1.2379 soğuk iş takım çeliği seçilmiş olup, kesici uç olarak ise yüksek sertlikte tornalama işlemlerine dayanıklı olan CBN kesici uç seçilmiştir. Kesme sıvısına katılan aşındırıcı toz olarak Al_2O_3 nanopartiküller kullanılmış, deney sonrasında yüzey kalitesindeki değişimleri görmek adına MAHR Perthometer M1 yüzey pürüzlülük ölçüm aleti kullanılmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde en iyi ortalama yüzey pürüzlülüğüne, kesme hızının 160 m/dk ve hacimsel nano-akışkan konsantrasyonunun %4 olarak uygulandığı deneyde 0,888 μm ile ulaşılmıştır. Ortalama yüzey pürüzlülük değerinin en yüksek olduğu deney ise 100 m/dk kesme hızında kuru kesme işleminde ortaya çıkmıştır. Farklı parametreler ile yapılan deneyler karşılaştırıldığında kesme hızı ve nano-akışkan konsantrasyonundaki artışın yüzey kalitesine olumlu yönde etkisi olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Minimum Miktarda Yağlama (MMY), nano-akışkan, yüzey pürüzlülüğü, soğuk iş takım çeliği, nano Al_2O_3 .

Abstract

In this study, changes in the surface roughness are investigated due to the concentration of nano-fluid and cutting speed. Cutting speed (V 100, 120, 140 ve 160 m/min) and cutting method (dry, MQL, MQL+%1 Al_2O_3 , MQL+%2 Al_2O_3 , MQL+%4 Al_2O_3 ve MQL+%6 Al_2O_3) cutting parameters selected. In order to achieve high hardness, hardened 1.2379 cold work tool steel was chosen which is 59 HRC and CBN insert was chosen for the resistant to high hardness. Al_2O_3 nanoparticles were used as abrasive powder and MAHR Perthometer M1 was used for the measuring of surface roughness. When the results were examined, the best average surface roughness was reached with a rate of 160 m/min and volumetric nano-fluid concentration is %4. The average surface roughness value was worst in the dry cutting process at a cutting speed of 100 m/min. When the experiments were compared, it was found that the increase in the cutting speed and the concentration of nano-fluids had a positive effect on the surface quality.

Keywords: Minimum Quantity Lubrication (MQL), nano-fluid, surface roughness, cold work tool steel, nano Al_2O_3 .

I. GİRİŞ

Hassas ve çok adetli seri üretim işlemini gerçekleştirebilmek için üretilen parçalar yüksek hızda kesme işlemine tabi tutulmalıdır. Yüksek hızda kesme ise beraberinde bir takım problemleri getirmektedir. Bu problemler; takım ömrünün azalması, iş parçası yüzey kalitesinin bozulması ve tezgahın aşırı yükü maruz kalması olarak sıralanabilir. Talaş kaldırma operasyonlarında kesici takım ile iş parçası arasında oluşan yüksek ısı; takım ömrünün azalması ve iş parçası yüzey kalitesinin

bozulması problemlerinin başlıca kaynağıdır. Bu problemin çözümü için oluşan ısının kesme noktasından ivedilikle uzaklaştırılması gerekmektedir. Oluşan ısıyı uzaklaştırmak için kesme noktasına bor yağı vb. soğutma-yağlama sıvıları uygulanarak takım ömründe artış ve iş parçası yüzey kalitesinde düzelme görülmüştür [1]. Geleneksel soğutma sıvılarındaki maliyet artışıyla birlikte çevreye ve insan sağlığına olan olumsuz etkilerinden özellikle talaşlı imalat işlemlerinde yerini MQL (Minimum Quantity Lubrication – Minimum Miktarla Yağlama) uygulamalarına yönelime sebep olmaktadır. MQL, geleneksel ve yüksek hızlarda metalik ve kompozit parçaların işlenmesinde teknolojik, ekonomik ve çevresel faydaları ispatlanmış bir soğutma-yağlama teknolojisidir. MQL’ de az miktarda biyo parçalanabilir (geri dönüşümlü) yağ damlacığı ile basınçlı hava karıştırılır ve kesme alanına püskürtülür. Bu durum kesme sıcaklığını ve kesici takım aşınmasını düşürür, yüzey kalitesini artmasına sebep olur [2]. MQL sisteminde kullanılan kesme sıvısına CNT, C60, TiO₂, Al₂O₃, MoS₂ gibi nano-partiküllerin belirli oranlarda eklenmesi ile oluşan kesme sıvılarına ise nano-akışkan denmektedir. Nano-akışkanların termal iletkenlik özelliklerinin güçlü olması sayesinde kesme noktasında oluşan ısının ortamdan daha verimli olarak uzaklaşması sağlanmaktadır. Ayrıca nano-partiküllerin tribolojik özelliklerine bağlı olarak kesme noktasında iyi bir yağlanma sağlanmakta böylelikle kesme noktasındaki yüzey pürüzlülüğü iyileşmektedir [3].

Bu çalışmada farklı hacimsel konsantrasyonlarda Al₂O₃ nano-partiküllerin katılmasıyla oluşturulan nano-akışkan, kesme noktasına püskürtülen kesme sıvısı olarak kullanılmıştır. Ayrıca farklı kesme hızları seçilerek yüzey pürüzlülüğüne kesme hızının da etkisi görülmek istenmiştir. Kesme sıvısı olarak farklı hacimsel konsantrasyonlarda nano-akışkan kullanımının yüzey kalitesine etkileri değerlendirilmiştir. Daha önce yapılmış olan Al₂O₃ nano-partikül katkılı nano-akışkanın kullanılmış olduğu deneyler incelendiğinde özellikle yüzey kalitesi üzerine çalışmalar yapıldığı ortaya çıkmaktadır. Lee vd. (2011) nano-elmas ve nano-Al₂O₃ partiküllerinin katıldığı nano-akışkan kesme sıvısı kullanılan MQL sisteminin yüzey kalitesi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Seçmiş oldukları nano-partiküllerin yağlayıcı özelliklerinin soğutma özelliklerine göre daha ön planda olmasından dolayı daha yüzey kalitesinde iyileşme görüldüğünü ortaya koymuşlardır [3]. Vasu ve Reddy (2011) nano-partikül olarak Al₂O₃ ve baz sıvı olarak bitkisel bazlı yağ kullandıkları MQL sistemi ile Inconel 600 alaşımını işlemişlerdir. Farklı hacimsel konsantrasyonda nano-akışkan kullanarak yapmış oldukları deneylerin sonucunda, nano-akışkan konsantrasyon yüzdesinin artmasıyla yüzey kalitesinde iyileşme görmüşlerdir [4]. Mao vd. (2012) sertleştirilmiş

AISI 52100 çeliğini Al₂O₃ nano-partikül katkılı nano-akışkan kullanarak taşlamışlardır. Kesme sıvısı olarak nano-akışkan kullanımının taşlama noktasındaki sıcaklığı önemli ölçüde düşürdüğünü, yüzey morfolojisini iyileştirdiğini ve yüzey pürüzlülüğünü azalttığını belirtmişlerdir [5]. Hadi ve Atefi (2015) AISI D3 çelik iş parçasını Al₂O₃ nano-partikül katkılı nano-akışkan kesme sıvılı MMY sistemi kullanarak frezelemişlerdir. Nano-partikül olarak seçilen Al₂O₃ konsantrasyonunun artmasıyla yüzey kalitesinde iyileşme elde etmişlerdir [6].

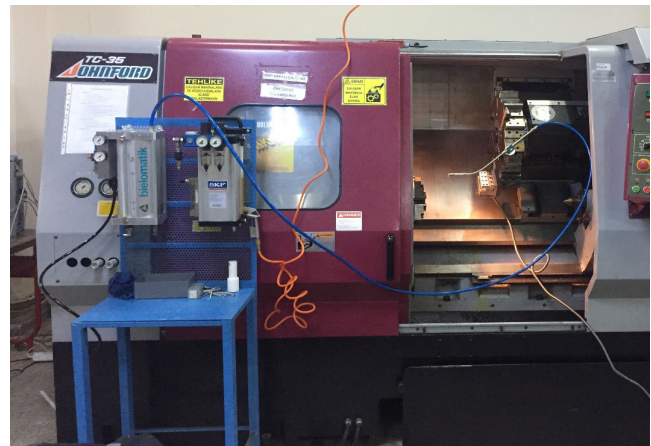
Yiğit vd. (2014) iş parçası olarak alüminyum alaşımı ve kesme sıvısı olarak Al₂O₃ nano-partikül katkılı nano-akışkan seçerek, nano-akışkan kullanımının kesme işlemine etkileri üzerine yapmış oldukları araştırmada nano-akışkan kullanımının yüzey pürüzlülüğüne olumlu yönde etkisini ortaya koymuşlardır [7].

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Deneylerde JohnFord TC35 marka CNC torna tezgahı kullanılarak 235 HB sertlik değerinde DIN 1.2379 (SVERKER 21) soğuk iş takım çeliği seçilmiştir (Şekil 1). Kesme/makine bıçakları, vidalar/kovanlar, hassas zımbalama kalıpları ve damgalamada kullanılan bu malzeme deneylerde daha yüksek sertlik değerlerinde çalışmak amacıyla ısıl işleme sokulmuştur. Isıl işlem sonucunda malzeme 59 HRC sertlik değerine ulaşmıştır. Deneylerde kullanılan SVERKER 21 soğuk iş takım çeliği malzemesinin kimyasal özellikleri Tablo 1’ de verilmiştir. Deney malzemesinin çapı 28 mm ve boyu 150 mm’dir.

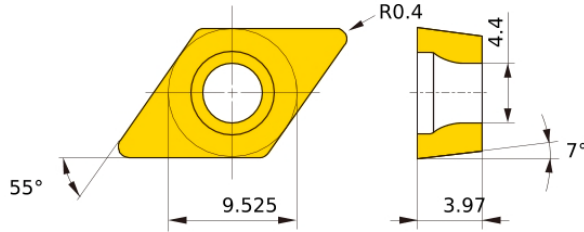
Tablo 1. SVERKER 21 soğuk iş takım çeliği malzemesi kimyasal özellikleri

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu
1,54	0,31	0,37	0,018	0,0006	11,5	0,22	0,74	0,73	0,06



Şekil 1. JohnFord TC35 CNC torna tezgahı ve deney düzeneği

Deneylerde DCMW11T304 geometrisine sahip Sumitomo BN600 kalitesinde CBN kesici uç kullanılmıştır. Kesici ucun uç şekli 55° , Serbest açısı 7° , kesme kenar uzunluğu 11mm, kesici uç kalınlığı 3,97mm ve köşe radyüsü 0,4mm'dir (Şekil 2).



Şekil 2. Deneylerde kullanılan DCMW11T304 kesici uç geometrik şekli [8]

Kesme parametrelerinin belirlenmesinde malzemenin cinsi, tezgah özellikleri ve kesici takım firması katalog değerleri dikkate alınarak Tablo 2'deki kesme parametreleri kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri

PARAMETRE	DEĞER
Kesme Yöntemi	Kuru; MQL; MQL+%1; MQL+%2; MQL+%4; MQL+%6
Kesme Hızı, V (m/dk)	100; 120; 140; 160
İlerleme, f (mm/dev)	0,1
Kesme Derinliği, a (mm)	0,1

Deneyin yapılacağı takım tezgahı ve deney şartları göz önünde bulundurularak harici MMY uygulamalarına uygun olan Bielomatik MQL 1-Channel System tercih edilmiştir (Şekil 3). Yapılan deneylerde Lubrioil cinsinden yağ kullanılmıştır.

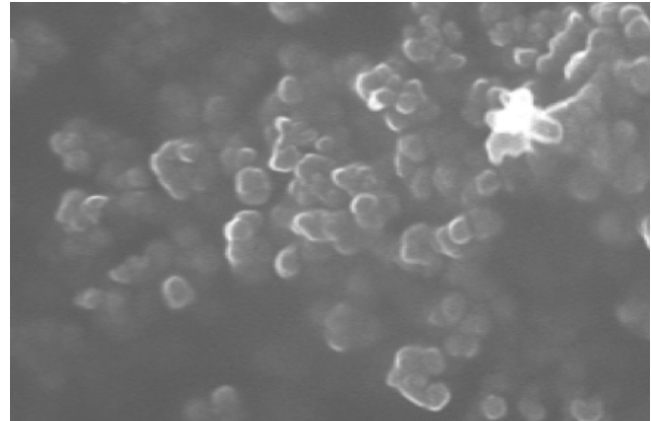


Şekil 3: Bielomatik MQL 1-Channel System [9]

Deneylerde kesme sıvısını nano-akışkan hale getirmek için, kesme sıvısına aşındırıcı toz olarak yüksek sertlik ve yüksek boyutsal stabilite gösteren Al_2O_3 tozu katılmıştır. Precisa marka hassas tartı kullanılarak, işleme esnasında kesme sıvısının ağırlıkça %1, %2, %4 ve %6'sı olacak şekilde kesme sıvısına katılarak 4 farklı nano-akışkan kesme sıvısı oluşturulmuştur. Tablo 3' te deneylerde kullanılan Al_2O_3 aşındırıcı tozunun teknik özellikleri yer almaktadır [10]. Şekil 4'te Al_2O_3 aşındırıcı tozunun taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi görüntüsü yer almaktadır [3].

Tablo 3. deneylerde kullanılan Al_2O_3 aşındırıcı tozunun teknik özellikleri [10]

Teknik Özellikler	
Safılık %	99,5+
Renk	Beyaz
Ortalama Partikül Boyutu (nm)	18
Yüzey Alanı (m ² /g)	140
Isı Kapasitesi (J/Kg.K)	890
Yoğunluk (Kg/m ³)	3900
Morfoloji	Dairesel



Şekil 4: Deneylerde kullanılan Al_2O_3 aşındırıcı tozu SEM analizi görüntüsü [3]

Yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçümü için DIN, ISO, CNOMO parametrelerinin seri ölçümlerini yapabilen, otomatik ve dinamik kalibrasyon özelliğine sahip, otomatik, 1,75/5,6/17,5 mm tarama boyu seçimli, profil çözünürlüğü 0,012 μ m, entegre termal yazıcı MAHR Perthometer M1 ölçü aleti kullanılmıştır.

Deney sonrasında iş parçası incelemeleri için; bilgisayar USB girişine bağlantı yapılabilen, 500 kata kadar büyütme özelliğine sahip dijital mikroskop kullanılmıştır.

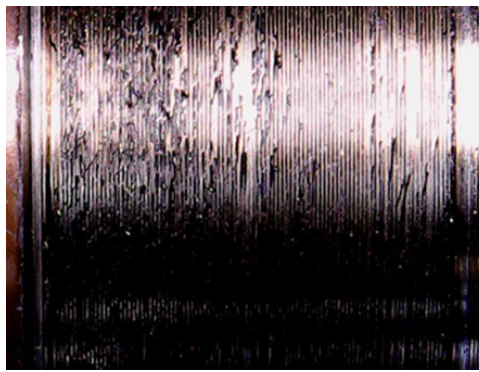
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tablo 4'te MQL sistemine katılan farklı miktarlarda aşındırıcı toz, farklı kesme hızları (V 100, 120, 140 ve 160 m/dk) ve farklı kesme yöntemlerine (kuru, MQL, MQL+%1 Al_2O_3 , MQL+%2 Al_2O_3 , MQL+%4 Al_2O_3 ve MQL+%6 Al_2O_3) bağlı olarak gerçekleştirilen deneyler gösterilmiştir. Bu parametrelerle yapılan işleme sonrası oluşan yüzey pürüzlülüğünde ki değişimler Şekil 9-12'deki grafiklerde gösterilmiştir. Şekil 5-8'deki dijital mikroskop altındaki iş parçasının işleme sonrası yapılan incelemelerinde ise kuru kesme ile nano-akışkan kullanılan MQL sisteminin kullanıldığı kesme yöntemi arasındaki yüzey kalitesi farkı görülmektedir.

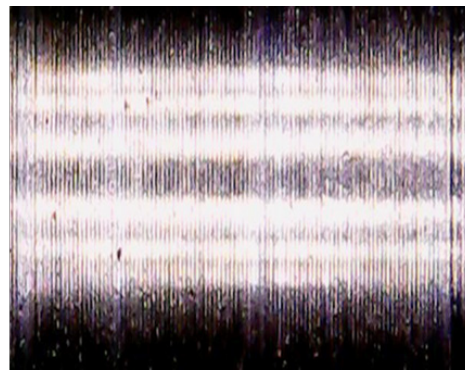
Aşağıdaki şekiller incelendiğinde; V=100, 120 ve 140 m/dk kesme hızı için ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra)'nın en düşük olduğu kesme yönteminin %6 Al_2O_3 hacimsel nanoakışkan konsantrasyonuna sahip olduğu deneylerde, V=160 m/dk kesme hızı uygulandığında ise en iyi yüzey kalitesinin %4 Al_2O_3 hacimsel nanoakışkan konsantrasyonun uygulandığı deneyde elde edildiği görülmüştür. Kesme hızının 100, 120 ve 140 m/dk alındığı deneyler incelendiğinde nanoakışkan konsantrasyonun artması yüzey pürüzlülüğüne olumlu etki göstermiştir [6].

Tablo 4. Deney parametreleri; kesme hızı ve kesme yöntemi

Deney No	Kesme Yöntemi	Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme (mm)	Talaş Derinliği (mm)
Deney 1	Kuru Kesme	100	0,1	0,1
Deney 5	MQL			
Deney 9	MQL + %1 Al_2O_3			
Deney 13	MQL + %2 Al_2O_3			
Deney 17	MQL + %4 Al_2O_3			
Deney 21	MQL + %6 Al_2O_3			
Deney 2	Kuru Kesme	120	0,1	0,1
Deney 6	MQL			
Deney 10	MQL + %1 Al_2O_3			
Deney 14	MQL + %2 Al_2O_3			
Deney 18	MQL + %4 Al_2O_3			
Deney 22	MQL + %6 Al_2O_3			
Deney 3	Kuru Kesme	140	0,1	0,1
Deney 7	MQL			
Deney 11	MQL + %1 Al_2O_3			
Deney 15	MQL + %2 Al_2O_3			
Deney 19	MQL + %4 Al_2O_3			
Deney 23	MQL + %6 Al_2O_3			
Deney 4	Kuru Kesme	160	0,1	0,1
Deney 8	MQL			
Deney 12	MQL + %1 Al_2O_3			
Deney 16	MQL + %2 Al_2O_3			
Deney 20	MQL + %4 Al_2O_3			
Deney 24	MQL + %6 Al_2O_3			

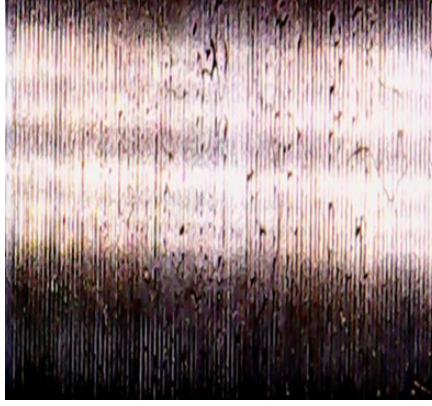


(Deney 1)

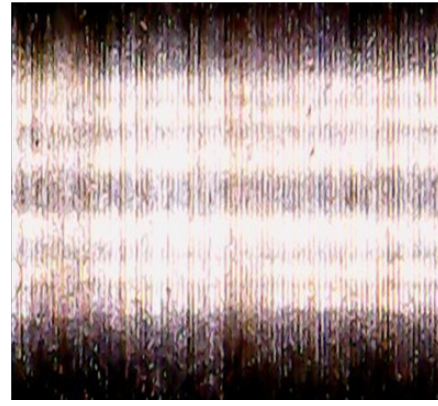


(Deney 21)

Şekil 5: V=100 m/dk kesme hızında kuru kesme ve MQL+ %6 Al_2O_3 nano-akışkanın kullanıldığı iş parçası yüzeylerinin dijital mikroskop altında incelenmesi

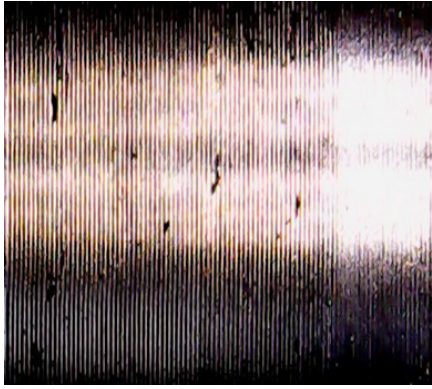


(Deney 2)

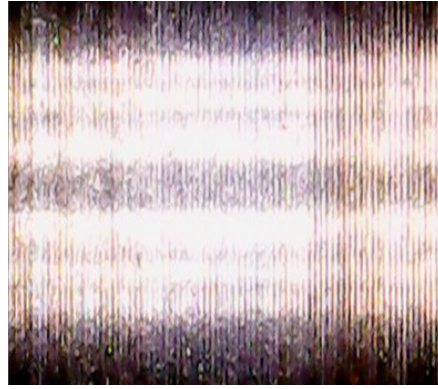


(Deney 22)

Şekil 6: $V=120$ m/dk kesme hızında kuru kesme ve MQL+%6 Al_2O_3 nano-akışkanın kullanıldığı iş parçası yüzeylerinin dijital mikroskop altında incelenmesi



(Deney 3)

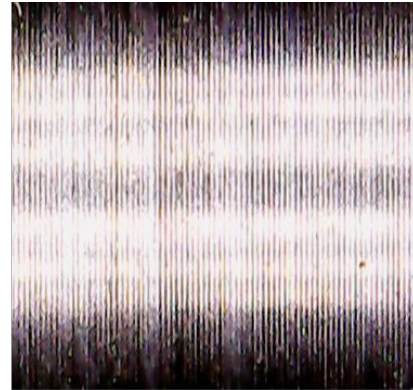


(Deney 23)

Şekil 7: $V=140$ m/dk kesme hızında kuru kesme ve MQL+%6 Al_2O_3 nano-akışkanın kullanıldığı iş parçası yüzeylerinin dijital mikroskop altında incelenmesi



(Deney 4)

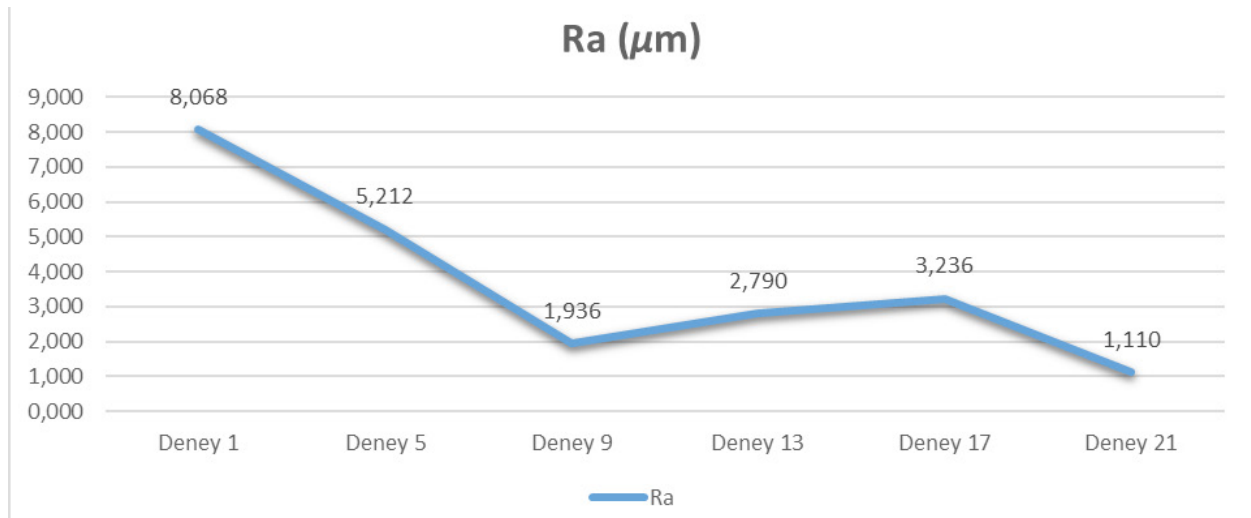


(Deney 20)

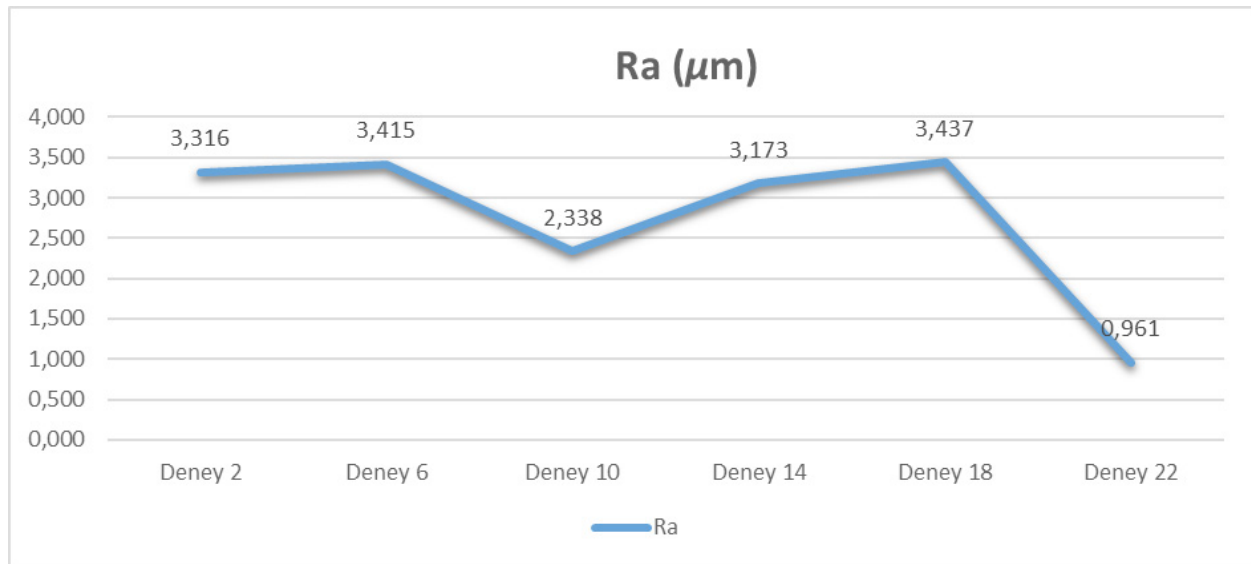
Şekil 8: $V=160$ m/dk kesme hızında kuru kesme ve MQL+%4 Al_2O_3 nano-akışkanın kullanıldığı iş parçası yüzeylerinin dijital mikroskop altında incelenmesi

V=100, 140 ve 160 m/dk kesme hızlarında kuru kesmeye göre MQL sisteminin uygulanmasının yüzey kalitesine olumlu yönde etki ettiği görülmektedir. %1 Al_2O_3 hacimsel konsantrasyonda nano-akışkan kullanılan deneylerde ise V=100 ve 120 m/dk kesme hızlarında yüzey kalitesinde iyileşme görülürken V=140 ve 160 m/dk kesme hızlarında yüzey kalitesinde bozulma görülmüştür. 140 ve 160 m/dk kesme hızına çıkıldığında %1 Al_2O_3 konsantrasyonunun kullanıldığı soğutma sistemi uygulamasının yüzey

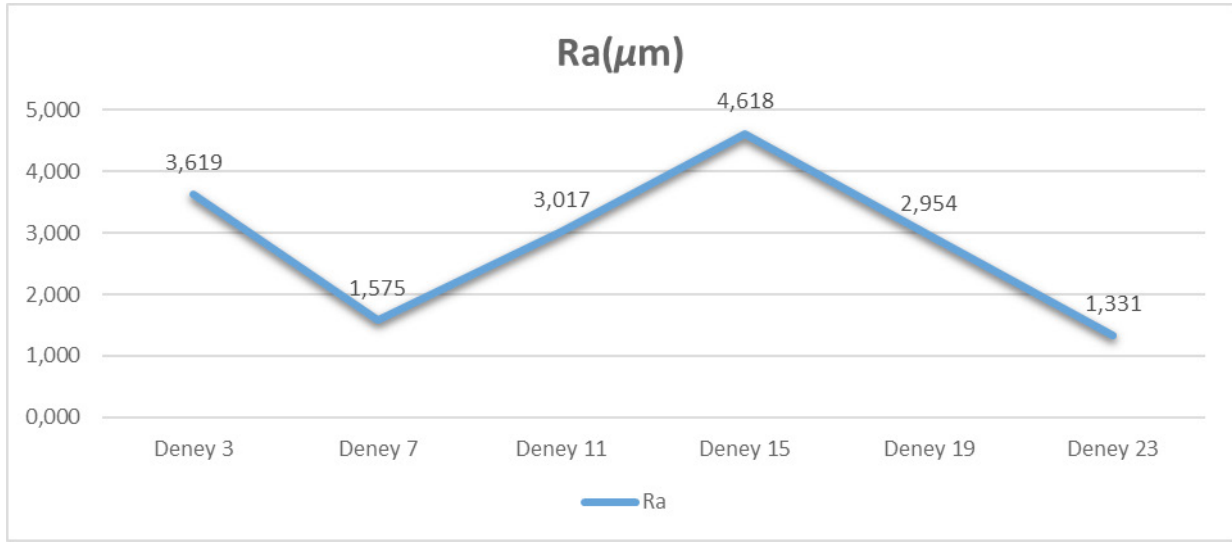
kalitesine yeterli şekilde etki etmediği görülmektedir. Hacimsel Al_2O_3 konsantrasyonunun %2' nin üzerine çıkması ile birlikte yüzey kalitelerinde iyileşme görülmüş olup, %4 Al_2O_3 hacimsel konsantrasyona sahip olan 160 m/dk kesme hızında yapılan deney en iyi ortalama yüzey pürüzlülüğü değerini vermiştir. Yukarıda bahsedilen literatür çalışmalarından da görüleceği üzere Al_2O_3 nano-partiküllerin katıldığı nano-akışkan kullanılan deneyler yüzey kalitesine olumlu yönde etki göstermiştir.



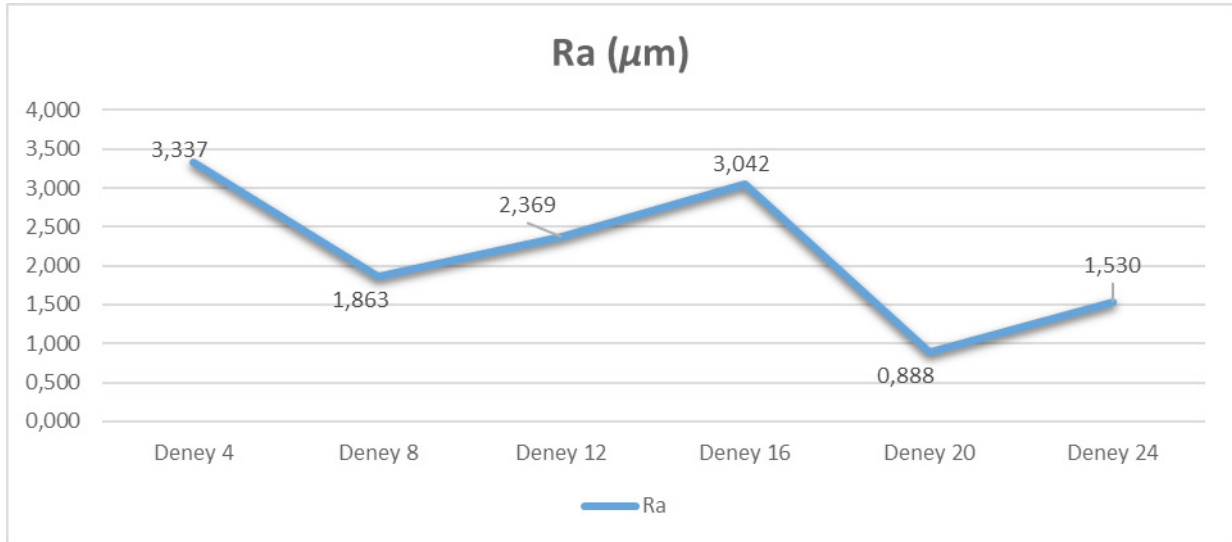
Şekil 9: Kesme hızı V=100 m/dk için kesme yöntemine bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri değişimi



Şekil 10: Kesme hızı V=120 m/dk için kesme yöntemine bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri değişimi



Şekil 11: Kesme hızı $V=140$ m/dk için kesme yöntemine bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri değişimi



Şekil 12: Kesme hızı $V=160$ m/dk için kesme yöntemine bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri değişimi

IV. SONUÇLAR

1.2379 sertleştirilmiş soğuk iş takım çeliği deney numunelerinin CNC torna tezgahında, farklı kesme hızları ve MMY sistemine katılan farklı aşındırıcı toz miktarları ile işlenmesi sonucunda elde edilen deney sonuçları aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

1- Bütün parametrelerin sabit tutulup sadece kesme hızının artırılmasının yüzey kalitesine olumlu yönde etki ettiği görülmüştür.

2- En iyi ortalama yüzey pürüzlülüğüne (Ra), kesme hızının 160 m/dk ve nanoakışkan konsantrasyonunun %4 olarak uygulandığı deneyde 0,888 μm ile ulaşılmıştır. Ortalama yüzey pürüzlülük değerinin en yüksek olduğu deney ise 100 m/dk kesme hızında kuru kesme işleminde ortaya çıkmıştır. Bu iki sonuç göz önüne alındığında kesme hızındaki artışın ve nanoakışkan kullanılan MMY sisteminin yüzey kalitesine olumlu yönde etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

- 3- Kuru kesme ile MMY sistemi karşılaştırıldığında, MMY sistemi kullanılan deneylerde ortalama yüzey pürüzlülüğünde azalma görülmüştür. MMY sistemi ile nano-akışkan katkılı MMY sistemi karşılaştırıldığında ise nano-akışkan katkılı MMY sisteminin daha iyi yüzey kalitesi oluşturduğu görülmüştür.
- 4- Kesme sıvısına katılan aşındırıcı toz olarak seçilen Al_2O_3 nano-partiküllerinin konsantrasyonunun yüzey pürüzlülüğü üzerinde gösterdiği olumlu etki, MMY sisteminin ve katılan aşındırıcı toz miktarının önemini kanıtlamış, insan sağlığı ve çevre kirliliği açısından tercih edilmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

Teşekkür

Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenen FEN-E-090.517.0273 numaralı proje kapsamında alınan ekipmanlar ile deneyler yapılmıştır.

Kaynaklar

- [1] Yıldırım, Ç. V., Kıvak, T. ve Erzincanlı, F. (2015). Minimum Miktarda Yağlama Tekniğinin Delme ve Taşlama Operasyonlarındaki Uygulamaları Üzerine Bir Derleme. 6. Ulusal Taşlı İmalat Sempozyumu, İstanbul, 247-263.
- [2] Gürbüz, H., Baday, Ş., & Gönülaçar, Y. E. (2017). Minimum Miktarda Yağlamanın Frezeleme İşlemleri Üzerine Etkisinin Araştırılması: Derleme. Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, 7(2/2), 59-78..
- [3] Lee, P. H., Nam, J. S., Li, C., & Lee, S. W. (2012). An experimental study on micro-grinding process with nanofluid minimum quantity lubrication (MQL). International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 13(3), 331-338..
- [4] Vasu, V., & Pradeep Kumar Reddy, G. (2011). Effect of minimum quantity lubrication with Al_2O_3 nanoparticles on surface roughness, tool wear and temperature dissipation in machining Inconel 600 alloy. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part N: Journal of Nanoengineering and Nanosystems, 225(1), 3-16.
- [5] Mao, C., Tang, X., Zou, H., Huang, X. ve Zhou, Z. (2012). Investigation of Grinding Characteristic using Nanofluid Minimum Quantity Lubrication. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 13 (10): 1745-1752.
- [6] Hadi, M. ve Atefi, R. (2015). Effect of Minimum Quantity Lubrication with Gamma- Al_2O_3 Nanoparticles on Surface Roughness in Milling AISI D3 Steel. Indian Journal of Science and Technology, 8 (S3): 130-135.
- [7] Yiğit, R., Yıldırım, S. ve Çelik E. (2013). The Improvement of Metal Cutting Processing Using Al_2O_3 Nanoparticles. Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering, 14 (2014): 441-445.
- [8] Mitsubishi Materials Web Catalogue, http://www.mitsubishicarbonide.net/mhg/enuk/turning_inserts/no_srs/20042879 (Eylül 2018)
- [9] Bielomatik MQL Systems, https://www.bielomatik.com/file-admin/Dokumente/EN/Schmiersysteme/Brochure_MQL_EN_0316KL.pdf. (Aralık 2018)
- [10] Alüminyum oksit nanopartikül kimyasal özellikleri, <http://nanografi.com.tr/al2o3-aluminyum-oksit-nanopartikul-gama-18nm-safl-k-99-5-hidrofilik>. (Aralık 2018)