

# Ferritik paslanmaz çeliğin nano MoS<sub>2</sub> parçacık takviyeli kesme sıvısı kullanılarak MQL yöntemi ile frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi

**Alper UYSAL**

*Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul*

Makale Gönderme Tarihi: 12.04.2016

Makale Kabul Tarihi: 04.05.2016

## Öz

*Paslanmaz çelik malzemeler, otomotiv, gıda, medikal, kimya vb. birçok alanda talaşlı şekillendirme uygulanarak kullanılmaktadırlar. Ancak bu malzemelerin düşük ısı iletkenlikleri ve işlem sırasında gösterdikleri pekleşme eğilimi nedeniyle talaşlı şekillendirilmelerinde zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu malzemelerin talaşlı işlenmesinde kesme sıvıları kullanılmakta fakat kesme sıvılarının maliyeti artırması ve çevre ve insan sağlığı açısından zararlı olması yeni yöntemlerin geliştirilmesini gerektirmektedir. Bu sebeple, AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin frezelenmesinde, kaplamasız ve TiN (Titanyum Nitrit) kaplamalı WC (Tungsten Karbür) kesici takımlar ile nano MoS<sub>2</sub> (Molibdendisülfür) takviyeli ticari bitkisel kesme sıvısı kullanılarak MQL (Minimum Quantity Lubrication - Minimum Miktarla Yağlama) yönteminin uygulanması bu çalışma kapsamında incelenmiş ve sürdürülebilir talaşlı şekillendirilmenin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.*

*Çalışmada, kesme sıvısı olarak kullanılan ticari bitkisel yağa, performansını arttırabilmek amacıyla ağırlıkça %0,5-%1-%2 oranlarında nano MoS<sub>2</sub> parçacıklar katılmıştır. Frezeleme işlemleri, MQL yöntemi uygulanarak elde edilen sonuçların karşılaştırılabilmesi amacıyla kuru işleme uygulanarak da tekrarlanmıştır. Nano parçacıkların, katkı oranlarının ve MQL akış hızının frezelenmiş yüzey pürüzlülük değerlerine etkileri belirlenmiştir.*

*Frezeleme deneyleri sonucunda, nano akışkan MQL yönteminin kuru işleme ve ticari bitkisel kesme sıvısı kullanılan MQL yöntemine göre avantaj sağladığı belirlenmiştir. Nano MoS<sub>2</sub> parçacık katkı oranının artırılmasıyla nano akışkan performansının arttığı belirlenmiştir. Ayrıca, MQL akış hızının artırılması da ortama gönderilen kesme sıvısı-basınçlı hava karışım miktarını arttırdığından MQL performansının artmasını sağlamıştır.*

**Anahtar Kelimeler:** MQL; nano akışkan; yüzey pürüzlülüğü; paslanmaz çelik; nano MoS<sub>2</sub>

## Giriş

Birçok alanda kullanılan ve talaşlı şekillendirilmesi zor malzeme grubuna giren paslanmaz çelik malzemelerin talaşlı şekillendirilmesi üzerine çeşitli çalışmalar yapılmış ve halen üzerine çalışılmaya devam edilmektedir. Selinder vd. (1998) AISI 303 paslanmaz çelik malzemenin frezelenmesinde PVD (Physical Vapour Deposition - Fiziksel Buhar Biriktirme) ve CVD (Chemical Vapour Deposition - Kimyasal Buhar Biriktirme) yöntemleri kullanılarak tek, üç ve çok katmanlı kaplamalı kesici (Tungsten Karbür) kesici takımların performanslarını araştırmışlardır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, PVD kaplamalı kesici takımların diğer takımlara göre daha iyi takım ömrü performansı verdiğini belirtmişlerdir. Nordin vd. (2000) ise AISI 316 östenitik paslanmaz çelik malzemelerin frezelenmesinde, çok katmanlı ve tek katmanlı kaplamaların performanslarını kesici takım aşınmasını ve kopmaları inceleyerek belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda, çok katmanlı kaplamaların tek katlı kaplamalardan daha az talaş-takım etkileşiminden dolayı daha iyi takım ömrü performansı sergilediği belirlenmiştir. Endrino vd. (2006), AISI 316 östenitik paslanmaz çelik malzemenin WC kesici takımla frezelenmesinde PVD yöntemiyle kaplanmış ince taneli ve nano kaplamaların aşınma üzerine etkilerini incelemişlerdir. Minimum takım aşınma değerleri, nano AlTiN (Alüminyum Titanyum Nitrür) kaplamalı WC kesici takım ile elde edilmiş ve nano AlTiN kaplamalı WC kesici takımların, ince taneli AlTiN kaplamalı WC kesici takımlara göre yaklaşık iki kat fazla takım ömrüne sahip olduğu gözlemlenmiştir. Liew ve Ding (2008), STAVAX paslanmaz çelik malzemelerin kaplamasız ve PVD kaplamalı WC kesici takımlarla düşük kesme hızlarında frezelenmesini incelemişlerdir. Düşük kesme hızlarında, kesme hızının artırılmasının serbest yüzey aşınması üzerine çok etkili olmadığını ancak iş parçası sertliğinin artırılmasının serbest yüzey aşınmasını artırdığını belirtmişlerdir. Ayrıca, kaplamalı takımların daha az yüzey pürüzlülüğü ve daha yüksek aşınma direnci

sağladıklarını ortaya koymuşlardır. Liew (2010) farklı sertlik değerlerine sahip STAVAX paslanmaz çelik malzemelerin düşük hızlarda akışkan kesme sıvısı ve MQL (Minimum Miktarla Yağlama) yöntemi kullanılarak frezelenmesinde, kaplamasız, PVD TiAlN (Titanyum Alüminyum Nitrür) tek katman kaplamalı ve PVD TiAlN/AlCrN Titanyum Alüminyum Nitrür/Alüminyum Krom Nitrür) nano çok katman kaplamalı karbür takımların performanslarını incelemişlerdir. Malzeme sertliğinin azalması ile serbest yüzey aşınmasının azaldığı ve MQL yönteminin akışkan kesme sıvısı kullanıma göre serbest yüzey aşınmasını azaltmada daha etkili olduğu belirtilmiştir. Daha az takım aşınması ve iyi yüzey kalitesi nano kaplamalı TiAlN/AlCrN kesici takımlarla elde edilmiştir. Biermann vd. (2013) östenitik paslanmaz çelik malzemelerin mikro frezelenmesinde kaplama malzemelerinin takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemişlerdir. Takım aşınması açısından TiAlN ve AlCrN kaplamaların ve yüzey pürüzlülüğü açısından AlTiN kaplamanın en iyi sonuçları verdiği belirlenmiştir. Selvaraj vd. (2014) kaplamalı WC kesici takımlarla paslanmaz çelik malzemelerin işlenmesinde talaş kaldırma parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri ve takım aşınması üzerine etkilerini analiz etmişlerdir. En düşük yüzey pürüzlülüğü, 100 m/dak kesme hızı ve 0,04 mm/dev ilerleme değerlerinde elde edilirken, en düşük kesme kuvveti, 120 m/dak kesme hızı ve 0,04 mm/dev ilerleme değerlerinde ölçülmüştür. Takım aşınmasının minimum elde edildiği değerler ise 80 m/dak kesme hızı ve 0,04 mm/dev ilerleme olarak belirlenmiştir. İlerlemenin, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerinde, kesme hızının da takım aşınması üzerinde daha etkin parametreler olduğu belirtilmiştir.

Paslanmaz çelik malzemelerin kaplamalı takımlar kullanılarak işlenmesinin incelendiği çalışmaların yanı sıra kesme sıvısı kullanımının etkilerinin araştırıldığı çeşitli çalışmalar da gerçekleştirilmiştir (Routio ve Säynätjoki, 1995; Belluco ve Chiffre, 2002; Belluco ve Chiffre, 2004; Xavier ve Adithan, 2009; Cetin vd., 2011). Ancak sentetik, yani sentetik vb. kesme

sıvılarının insan sağlığına ve çevreye olumsuz etkilerinden dolayı paslanmaz çelik malzemelerin çevreye duyarlı talaşlı şekillendirilebilmesini sağlamak amacıyla MQL (Minimum Quantity Lubrication - Minimum Miktarda Yağlama) yönteminin denendiği çalışmalar da yapılmıştır. Braga vd. (2002) alüminyum-silisyum alaşımının delinmesinde kaplamasız ve elmas kaplamalı WC matkap ucu kullanarak akışkan kesme sıvısı ile MQL yöntemini karşılaştırmışlardır. Araştırmada, MQL yöntemi ile yapılan delme işlemlerinde akışkan kesme sıvısına göre daha düşük yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. Rahman vd. (2002) ASSAB 718 HH çeliğinin kaplamasız WC kesici takımınla frezelenmesinde kullanılan kuru, akışkan kesme sıvısı ve MQL yöntemlerinin takım aşınması, çapak yüksekliği, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada, MQL yönteminin daha iyi bir performans sergilediği ve MQL yönteminin kullanımı ile yüzey kalitesinde diğer yöntemlerden daha iyi sonuçlar elde edildiği belirtilmiştir. Kishawy vd. (2005) A356 alüminyum alaşımının yüksek hızlı frezelenmesinde MQL yöntemi kullanılarak elde edilen takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri değerlerini, kuru ve akışkan kesme sıvısı kullanılarak elde edilen değerler ile karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, MQL yönteminin performans karakteristiklerine olan etkisinin akışkan kesme sıvısına göre daha üstün olduğu gözlenmiş ve MQL yönteminin akışkan kesme sıvısının bir alternatifi olabileceği vurgulanmıştır. Dhar vd. (2006a), AISI 4340 çeliğinin MQL yöntemi kullanılarak kaplamasız WC kesici takımlarla tornalanması sonucu elde edilen yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması değerlerini, kuru ve akışkan kesme sıvısı kullanılarak yapılan tornalama işleminden elde edilen değerler ile karşılaştırmışlardır. MQL yönteminin, kuru ve akışkan kesme sıvısı kullanılarak gerçekleştirilen kesmeye göre daha az takım aşınması, daha uzun takım ömrü ve daha iyi yüzey kalitesi sağladığını belirtmişlerdir. Dhar vd. (2006b, 2007) yaptıkları diğer çalışmalarda, AISI 1040 çeliğini kaplamasız WC kesici takım ile kuru ve MQL yöntemi

kullanılarak farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde işlemişlerdir. Deneysel çalışmalar sonucunda, takım-talaş ara yüzey sıcaklığı, takım aşınması, boyutsal sapma, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü incelenmiş ve MQL yöntemi ile işlemede, kuru işlemeğe göre daha iyi sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir.

Talaşlı şekillendirmede kullanılan kesme sıvılarının ısı iletkenlik, yağlayıcılık vb. özelliklerini arttırmak amacıyla bu sıvılara çeşitli nano parçacıkların katıldığı ve bu nano parçacıkların etkilerinin araştırıldığı çeşitli çalışmalar da gerçekleştirilmiştir. Shen vd. (2008) MQL yöntemi kullanarak dökme demir malzemelerin taşlanmasını incelemişlerdir. MQL yönteminde, MoS<sub>2</sub> (Molibdendisülfür) katkılı ve katkısız parafin yağı, soya yağı ve CANMIST yağı kesme sıvısı olarak seçilmiştir. Ayrıca karşılaştırma yapabilmek amacıyla su bazlı taşlama sıvısı da kullanılmıştır. Çalışmada, nano MoS<sub>2</sub> katkısının taşlama işleminde avantaj sağladığı ortaya konulmuştur. Park vd. (2011), MQL yönteminde nano grafen katkılı kesme sıvısının kullanılmasının, AISI 1045 çeliğin frezelenmesinde oluşan takım aşınmasına etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, nano grafen katkılı ve katkısız kesme sıvıları kullanılmış ve kuru işleme ile karşılaştırılmıştır. Takım deformasyonu açısından en iyi sonuç, nano grafen katkılı MQL yönteminin uygulanması ile edilmiş ve küçük çaplı nano grafen katkısının bitkisel yağ içinde daha iyi dağılım gösterdiği belirtilmiştir. Mao vd. (2013), AISI 52100 çeliğin taşlanması sırasında nano Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Alüminyum Oksit) katkılı deiyonize suyu ve MoS<sub>2</sub> katkılı kanola yağını MQL yönteminde nano akışkan olarak kullanmışlardır. Karşılaştırma yapabilmek amacıyla sentetik emülsiyon yağı kullanarak akışkan sıvı yöntemi ve kuru taşlama işlemleri de gerçekleştirilmiştir. Nano katkı miktarının artırılmasıyla taşlama performansının arttığı belirlenmiştir.

Paslanmaz çelik malzemelerin yüksek pekleşme eğilimleri, yüksek dayanımları ve düşük ısı iletkenliklerinden dolayı talaşlı şekillendirilmesi zor malzeme grubuna girdiği bilinmektedir. Ancak paslanmaz çelik malzemelerin talaşlı

şekillendirmelerinde karşılaşılan güçlükler rağmen otomotiv sanayinden, medikal uygulamalara kadar birçok alanda talaşlı şekillendirme uygulanarak kullanılmalarına devam edilmektedir. Bu malzemelerin talaşlı şekillendirilebilmelerini iyileştirmek amacıyla çeşitli kesme sıvıları ve kaplamalı takımlar kullanılmaktadır. Fakat son yıllarda, bu malzemelerin MQL yöntemi kullanılarak sürdürülebilir talaşlı şekillendirilmesi üzerine çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemin yüksek sıcaklıklarda kısıtlamalara sahip olmasından dolayı kullanılan kesme sıvılarına soğutma ve yağlama özelliklerini geliştirmek amacıyla çeşitli nano parçacıkların katılmasının belirli şartlarda avantaj sağladığı da belirtilmektedir.

Bu çalışmada, AISI 430 ferritik paslanmaz çelik malzeme, nano MoS<sub>2</sub> parçacık katkılı ticari bitkisel kesme sıvısı kullanılarak MQL yöntemi ile kaplamasız ve TiN (Titanium Nitrid) kaplamalı WC kesici takımlarla frezelenmiştir. Nano parçacık katkı oranının ve MQL akış hızının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri incelenmiş ve karşılaştırma yapabilmek amacıyla frezeleme deneyleri kuru şartlarda ve katkısız kesme sıvısının kullanıldığı MQL yöntemi uygulanarak da tekrarlanmıştır.

## Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, First MCV-300 CNC işleme merkezi kullanılarak kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilen 400x250x6 mm boyutlarında AISI 430 ferritik paslanmaz çelik frezelenmiştir. Frezeleme deneyleri, kuru şartlarda ve MQL yöntemi uygulanarak gerçekleştirilmiş olup MQL yönteminde nano MoS<sub>2</sub> katkılı ve saf bitkisel kesme sıvısı kullanılmıştır.

**Tablo 1.** AISI 430 paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi

C%	Mn%	S%	P%	Si%	Ni%	Cr%
0,052	0,69	0,002	0,029	0,67	0,26	16,54

Çalışmada, 32 mm çapında takım tutucuya SPHN 120404 kaplamasız ve TiN kaplamalı WC kesici plakette mekanik olarak bağlanmış ve

Tablo 2’de verilen parametreler kullanılarak frezeleme işlemleri gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 2.** Deney parametreleri

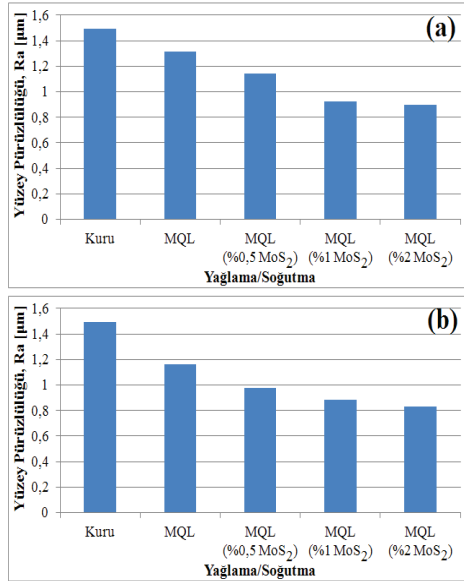
Soğutma şartları	Kuru, MQL ve MQL (MoS <sub>2</sub> )
Nano MoS <sub>2</sub> katkı oranı	%0,5, %1, %2
MQL akış hızı	20 ml/saat, 40 ml/saat
MQL basıncı	5 bar
Nozül mesafesi	50 mm
Kesici takım	WC, TiN kaplamalı WC
Kesme hızı	100 m/dak
İlerleme hızı	180 mm/dak
Kesme derinliği	0,5 mm

MQL sistemi olarak Werte DKN 25 mikro yağlama sistemi kullanılıp bu sistemde Eraoil KT/2000 ticari bitkisel kesme sıvısı kullanılmıştır. Boyutları 10-20 nm arasında değişen nano MoS<sub>2</sub> parçacıklar, Termal G11420SD model Etüv’de 120°C sıcaklıkta 2 saat süreyle neminin alınması amacıyla kurutulmuştur. Kurutulan nano MoS<sub>2</sub> parçacıklar, ağırlıkça %0,5, %1 ve %2 oranlarında ticari bitkisel kesme sıvısına katılmış ve homojen bir karışım elde etmek amacıyla hazırlanan karışıma nano parçacık ağırlığının 2 katı kadar lesitin (Shen vd., 2008) emülsifer olarak eklenmiştir. Malzemelerin belirtilen oranlarda hazırlanmasında Radweg PS 510.R1 model hassas terazi kullanılmış ve hazırlanan karışımlar, Daihan WiseTis HG-15D model dijital homojenizatör ile 500 dev/dak devirde 2 saat süreyle karıştırılarak homojen bir karışım elde edilmiştir. Ayrıca, MQL sisteminin yap haznesinde bekleyen nano akışkan içerisindeki nano MoS<sub>2</sub> parçacıkların zamanla çökmesini engellemek amacıyla hazneye basit bir mekanik karıştırıcı monte edilmiştir. Frezelenen yüzeylerin pürüzlülük değerleri (Ra), 5 µm çapında TS110 elmas uçlu detektöre sahip ve hareket hızı 1 mm/s olan Time TR200 model yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülük cihazının hassas yükseklik ayarı dijital mihengir kullanılarak sağlanmıştır.

## DeneySEL Sonuçlar ve Tartışma

AISI 430 paslanmaz çelik malzemenin; kuru, saf ticari bitkisel kesme sıvısı kullanılan MQL ve nano akışkan olarak nano MoS<sub>2</sub> parçacık katkılı

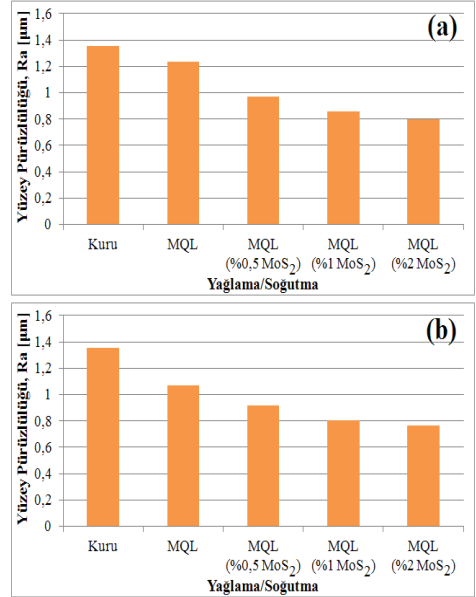
bitkisel kesme sıvısı kullanılan MQL şartlarında frezelenmesi sonrası ölçülen aritmetik ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmektedir. MQL yöntemi kullanılmasıyla ortama gönderilen kesme sıvısı/basınçlı hava karışımının etkisiyle yüzey pürüzlülüklerinde azalma sağlandığı ve MQL sisteminde nano akışkanın kullanılmasıyla bu faydanın nano MoS<sub>2</sub> parçacıkların yağlayıcılık özelliği göstermesi sayesinde arttığı görülmektedir. Ayrıca, nano MoS<sub>2</sub> katkı oranı arttırıldıkça ortama gönderilen nano parçacık miktarı ile doğru orantılı olarak artan yağlayıcılık etkisiyle yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 1. AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin kaplamasız WC kesici takım ile MQL yöntemi kullanılarak frezelenmesinde nano MoS<sub>2</sub> katkısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi, a) 20 ml/saat, b) 40 ml/saat

MQL akış hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelendiğinde, ortama gönderilen kesme sıvısı/basınçlı hava karışım miktarının artmasından dolayı MQL akış hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azalmaktadır (Şekil 1 ve Şekil 2). Yüzey pürüzlülüğünde oluşan bu azalma

oranı, nano parçacık katkı oranının arttırılmasıyla bir miktar artan viskoziteden dolayı azalmakta ancak bu durumda da yüksek MQL akış hızlarında daha düşük yüzey pürüzlülükleri oluşmaktadır.



Şekil 2. AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin TiN kaplamalı WC kesici takım ile MQL yöntemi kullanılarak frezelenmesinde nano MoS<sub>2</sub> katkısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi, a) 20 ml/saat, b) 40 ml/saat

AISI 430 paslanmaz çelik malzemenin MQL yöntemi kullanılarak frezelenmesinde TiN kaplamasının yüzey pürüzlülüğüne etkileri ise Şekil 1 ve Şekil 2 karşılaştırıldığında anlaşılmaktadır. TiN kaplamalı WC kesici takımların kullanıldığı frezeleme işlemlerinde, yüzey pürüzlülüklerinde TiN kaplamanın yüksek sertlik, aşınma direnci ve yağlayıcılık özelliklerinden dolayı azalma gözlemlenmiştir. Ayrıca, TiN kaplama nedeniyle kesici ağızda daha az bozulma olduğunda, daha iyi yüzeyler elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü değerlerinde elde edilen bu azalma nano parçacık katkı oranının arttırılmasıyla bir miktar azalmıştır. Çünkü artan nano parçacık miktarı ile nano

akışkan MQL yöntemi yağlamada etkinliğini arttırmakta ve kaplamasız ve TiN kaplamalı kesici takımlar ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri arasındaki fark azalmaktadır.

## Sonuç

Bu çalışmada; AISI 430 ferritik paslanmaz çelik malzeme, çevreye duyarlı ve sürdürülebilir talaşlı işleme kapsamında nano MoS<sub>2</sub> parçacık takviyeli bitkisel kesme sıvısı kullanılan MQL yöntemi uygulanarak kaplamasız ve TiN kaplamalı WC kesici takımlarla frezelenmiştir. Nano parçacık katkı oranı ve MQL akış hızının, frezelenmiş ferritik paslanmaz çelik malzemenin yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenmiştir. Deneyle, karşılaştırma yapabilmek için kuru şartlarda ve saf ticari bitkisel kesme sıvısı kullanılan MQL yöntemi uygulanarak da tekrarlanmıştır. Nano akışkan MQL yönteminin kullanılmasıyla ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri azalma gözlemlenmiştir. Ayrıca, nano parçacık miktarının artırılmasıyla da yüzey pürüzlülük değerleri azalmıştır. MQL akış hızı arttıkça ortama gönderilen kesme sıvısı/basınçlı hava karışım miktarının artmasından dolayı yüzey pürüzlülüğü azalmış ve yüzey kalitesinde iyileşme gözlemlenmiştir. MQL yöntemi kullanılarak TiN kaplamalı WC kesici takımlar ile frezeleme işlemi sonucunda yüzey pürüzlülüklerinde TiN kaplamanın yüksek sertlik, aşınma direnci ve yağlayıcılık özelliklerinden dolayı azalma gözlemlenmiştir.

## Kaynaklar

Belluco, W. ve Chiffre, L.D., (2002). Surface integrity and part accuracy in reaming and tapping stainless steel with new vegetable based cutting oils, *Tribology International*, **35**, 865-870.

Belluco, W. ve Chiffre, L.D., (2004). Performance evaluation of vegetable-based oils in drilling austenitic stainless steel, *Journal of Materials Processing Technology*, **148**, 171-176.

Biermann, D., Steiner, M. ve Krebs, E., (2013). Investigation of different hard coatings for micromilling of austenitic stainless steel, *Procedia CIRP*, **7**, 246-251.

Braga, D.U., Diniz, A.E., Miranda, G.W.A. ve Coppini, N.L., (2002). Using a minimum quantity of lubricant (MQL) and a diamond coated tool in the drilling of aluminum-silicon alloys, *Journal of Materials Processing Technology*, **122**, 127-138.

Cetin, M.H., Ozcelik, B., Kuram, E. ve Demimbaz, E., (2011). Evaluation of vegetable based cutting fluids with extreme pressure and cutting parameters in turning of AISI 304L by Taguchi method, *Journal of Cleaner Production*, **19**, 2049-2056.

Dhar, N.R., Kamruzzaman, M. ve Ahmed, M., (2006a). Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear and surface roughness in turning AISI-4340 steel, *Journal of Materials Processing Technology*, **172**, 299-304.

Dhar, N.R., Islam, M.W., Islam, S. ve Mithu, M.A.H., (2006b). The influence of minimum quantity of lubrication (MQL) on cutting temperature, chip and dimensional accuracy in turning AISI-1040 steel, *Journal of Materials Processing Technology*, **171**, 93-99.

Dhar, N.R., Ahmed, M.T. ve Islam, S., (2007). An experimental investigation on effect of minimum quantity lubrication in machining AISI 1040 steel, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, **47**, 748-753.

Endrino, J.L., Rabinovich, G.S.F. ve Gey, C., (2006). Hard AlTiN, AlCrN PVD coatings for machining of austenitic stainless steel, *Surface and Coatings Technology*, **200**, 6840-6845.

Kishawy, H.A., Dumitrescu, M., Ng, E.G. ve Elbestawi, M.A., (2005). Effect of coolant strategy on tool performance, chip morphology and surface quality during high-speed machining of A356 aluminum alloy, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, **45**, 219-227.

Liew, W.Y.H. ve Ding, X., (2008). Wear progression of carbide tool in low-speed end milling of stainless steel, *Wear*, **265**, 155-166.

Liew, W.Y.H., (2010). Low-speed milling of stainless steel with TiAlN single-layer and TiAlN/AlCrN nano-multilayer coated carbide tools under different lubrication conditions, *Wear*, **269**, 617-631.

- Mao, C., Zhang, J., Huang, Y., Zou, H., Huang, X. ve Zhou, Z., (2013). Investigation on the effect of nanofluid parameters on MQL grinding, *Materials and Manufacturing Processes*, **28**, 436-442.
- Nordin, M., Sundström, R., Selinder, T.I. ve Hogmark, S., (2000). Wear and failure mechanisms of multilayered PVD TiN/TaN coated tools when milling austenitic stainless steel, *Surface and Coatings Technology*, **133-134**, 240-246.
- Park, K.H., Ewald, B. ve Kwon, P.Y., (2011). Effect of nano-enhanced lubricant in minimum quantity lubrication balling milling, *Journal of Tribology*, **133**, 031803-1-8.
- Rahman, M., Kumar, A.S. ve Salam, M.U., (2002). Experimental evaluation on the effect of minimal quantities of lubricant in milling, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, **42**, 539-547.
- Routio, M. ve Säynätjoki, M., (1995). Tool wear and failure in the drilling of stainless steel, *Journal of Materials Processing Technology*, **52**, 35-43.
- Selinder, T.I., Sjöstrand, M.E., Nordin, M., Larsson, M., Östlund, Å. ve Hongmark, S., (1998). Performance of PVD TiN/TaN and TiN/NbN superlattice coated cemented carbide tools in stainless steel machining, *Surface and Coatings Technology*, **105**, 51-55.
- Selvaraj, D.P., Chandramohan, P. ve Mohanraj, M., (2014). Optimization of surface roughness, cutting force and tool wear of nitrogen alloyed duplex stainless steel in a dry turning process using Taguchi method, *Measurement*, **49**, 205-215.
- Shen, B., Malshe, A.P., Kalita, P. ve Shih A.J., (2008). Performance of novel MoS<sub>2</sub> nanoparticles based grinding fluids in minimum quantity lubrication grinding, *Transactions of NAMRI/SME*, **36**, 357-364.
- Xavior, M.A. ve Adithan, M., (2009). Determining the influence of cutting fluids on tool wear and surface roughness during turning of AISI 304 austenitic stainless steel, *Journal of Materials Processing Technology*, **209**, 900-909.

## Investigation of surface roughness in MQL milling of 430 ferritic stainless steel by using nano MoS<sub>2</sub> particle reinforced cutting fluid

### Extended abstract

*Stainless steel materials are categorized under a group of materials that are hard to machine due to high strength, low thermal conductivity and work hardening tendency during machining. It is possible that these materials can be machined by using various cutting fluids, but cutting fluids have disadvantages such as being harmful to the environment and health and cost due to using copiously. In this study, it is intended that the MQL (Minimum Quantity Lubrication) method is applied by using nano MoS<sub>2</sub> reinforced commercial vegetable cutting fluid during milling of AISI 430 ferritic stainless steel material and the sustainable machining is realized.*

*Stainless steel materials have been used lots of fields such as automotive, food, medical, chemistry etc. by applying machining operations although in spite of being faced with problems during machining. In literature, there are a few studies about machining of stainless steel materials by using MQL method. In this study, ferritic stainless steel material categorized under a group of materials that are hard to machine was milled without being harmful to the environment by applying MQL method using nanofluid obtained from mixing commercial vegetable cutting fluid and nano particles.*

*Experiments were performed by using First MCV-300 CNC machining center. In experimental studies, uncoated and TiN (Titanium Nitride) coated WC (Tungsten Carbide) cutting tools were used. The stainless steel workpieces were prepared in the dimensions of 400x250x6 mm.*

*The slots were machined under dry, MQL with vegetable cutting fluid, and MQL with nanofluid conditions. In MQL milling, Werte DKN 25 micro lubrication system was used and Eraoil KT/2000 commercial vegetable cutting fluid was selected as lubricant. MQL flow rates were applied as 20 ml/h and 40 ml/h and spindle speed, feed rate, and depth of cut were selected as 995 rpm, 180 mm/min, and 0.5 mm, respectively.*

*The commercial vegetable cutting fluid was reinforced by nano MoS<sub>2</sub> particles to prepare nanofluid. The nano MoS<sub>2</sub> particles were added at 0,5%wt., 1%wt., and 2%wt. Before the addition, nano particles were dried in Termal G11420SD drying oven for 2 hours and at 120°C then added to the vegetable cutting fluid with lecithin which is a dispersant and added to the mixture to get stable nanofluid. Daihan WiseTis HG-15D digital homogenizer was used at 500 rpm to blend the mixture.*

*Surface roughness (Ra) measurements of machined surfaces were performed by Time TR200 surface roughness tester. The cut-off length was adjusted as 0.8 mm and the resolution of tester is 0.001 µm. Five measurements were done on each surface and arithmetic means were calculated.*

*In the result of milling experiments, it was specified that the nanofluid MQL method has advantages over dry milling and MQL method using pure commercial vegetable cutting fluid. The performance of nanofluid increased with increase of the amount of nano MoS<sub>2</sub> particles in the nanofluid. Additionally, high MQL flow rate provided that the performance of MQL method was increased because of supplying high amount of cutting fluid/pressure air mist.*

**Keywords:** MQL, nanofluid, surface roughness, stainless steel, nano MoS<sub>2</sub>