



Ferritik paslanmaz çeliğin çok duvarlı karbon nanotüp katkılı kesme sıvısı kullanılarak minimum miktarda yağlama yöntemi ile frezelenmesinde kesme sıcaklığının incelenmesi

Alper Uysal*^{ID}

Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 34349, Beşiktaş, İstanbul, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Minimum miktarda yağlama yöntemi uygulanarak frezeleme
- Çok duvarlı karbon nanotüp katkılı kesme sıvısı kullanımı
- Kesme sıcaklığının incelenmesi

Makale Bilgileri

Geliş: 29.09.2015

Kabul: 22.04.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.337612

Anahtar Kelimeler:

Minimum miktarda yağlama, frezeleme, kesme sıcaklığı, çok duvarlı karbon nanotüp, ferritik paslanmaz çelik

ÖZET

Paslanmaz çelik malzemeler, talaşlı şekillendirme sırasında gösterdikleri pekleşme eğilimleri ve düşük ısı iletkenliklerine rağmen otomotiv, gıda, medikal, kimya vb. birçok alanda talaşlı şekillendirme uygulanarak kullanılmaktadırlar. Bu malzemelerin talaşlı şekillendirilmesinde çeşitli kesme sıvıları kullanılmaktadır. Ancak kesme sıvılarının çevre ve sağlık açısından zararlı olması ve bol miktarda kullanılmalarından doğan maliyet artışı gibi dezavantajları bulunmaktadır. Bu sebeple, bu çalışmada, AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin MQL (Minimum Miktarla Yağlama) yöntemi kullanılarak frezelenmesinde WC (Tungsten Karbür) kesici takım ve MWCNT (çok duvarlı karbon nanotüp) katkılı ticari bitkisel kesme sıvısı kullanılmıştır. Kesme sıvısının soğutma ve yağlama özelliklerini arttırabilmek amacıyla ağırlıkça %0,1, %0,15 ve %0,2 oranlarında MWCNT katılmıştır. MWCNT parçacıkların, karışım oranlarının ve MQL debisinin, frezeleme işlemi sırasında oluşan kesme sıcaklığına etkileri belirlenmiştir. Bitkisel kesme sıvısına MWCNT katkısı, kesme sıcaklığının azalmasına neden olmuştur. Ancak katkı oranı fazla artırıldığında, kesme sıcaklıklarında bir miktar artış gözlemlenmiştir. Ayrıca, MQL debisinin artırılması da kesme sıcaklıklarının azalmasını sağlamıştır.

Investigation of cutting temperature in minimum quantity lubrication milling of ferritic stainless steel by using multi wall carbon nanotube reinforced cutting fluid

H I G H L I G H T S

- Milling by applying minimum quantity lubrication method
- Usage of multi-walled carbon nanotube reinforced cutting fluid
- Investigation of cutting temperature

Article Info

Received: 29.09.2015

Accepted: 22.04.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.337612

Keywords:

Minimum quantity lubrication, milling, cutting temperature, multi-walled carbon nanotube, ferritic stainless steel

ABSTRACT

Stainless steel materials have been used in many areas such as automotive, food, medical, chemical etc. by performing machining operations although having low thermal conductivity and work hardening tendency during machining. Cutting fluids have been applied in the machining of these materials. However, the cutting fluids have disadvantages such as harmful to the environment and health and the cost increment due to plenty of usage. Therefore, in this study, MWCNT (Multi-Walled Carbon Nanotube) reinforced commercial vegetable cutting fluid and WC (Tungsten Carbide) cutting tool were used in the milling of ferritic stainless steel by MQL (Minimum Quantity Lubrication) method. MWCNT particles were added to the cutting fluid at ratios of 0.1% wt., 0.15% wt. and 0.2% wt. to improve its cooling and lubricating properties. The effects of MWCNT particles, mixture ratios, and MQL flow rate on the cutting temperature occurred during milling operation were determined. The addition of MWCNT to the cutting fluid caused a decrement on the cutting temperature. However, an increment was observed when mixture ratio was further increased. Additionally, increasing of MQL flow rate reduced the cutting temperature.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Birçok sanayi alanda kullanılan paslanmaz çelik malzemeler; talaşlı şekillendirme sırasında gösterdikleri pekleşme eğilimleri ve düşük ısıl iletkenliklerinden dolayı işlenmesi zor malzeme grubuna girmektedirler. Talaşlı şekillendirilmesinde güçlüklerle karşılaşılan bu malzemelerin frezelenmesi konusunda çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiş ve bu konuda çalışmalara devam edilmektedir. Nordin vd. [1] paslanmaz çelik malzemelerin frezelenmesinde çok katmanlı kaplamaların performanslarını takım aşınması ve kopmaları inceleyerek belirlemiştir. Shao vd. [2] ise paslanmaz çelik malzemelerin TiCN/TiN (Titanyum Karbonitrür/Titanyum Nitrür) çok katlı kaplamalı takımlarla frezelenmesinde işlem parametrelerinin takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini araştırmışlardır. Liew ve Ding [3] yaptıkları çalışmada, paslanmaz çelik malzemelerin kaplamasız ve PVD (Fiziksel Buhar Biriktirme) kaplamalı takımlarla düşük kesme hızlarında işlenmesini incelemiştir. Düşük kesme hızlarında, kesme hızının artırılmasının aşınma üzerine çok etkili olmadığını ancak iş parçası sertliğinin artırılmasının takım aşınmasını arttırdığını belirtmişlerdir. Ayrıca kaplamalı takımların daha iyi yüzey pürüzlülüğü ve daha yüksek aşınma direnci sağladıklarını ortaya koymuşlardır. Selvaraj vd. [4] kaplamalı karbür takımlarla paslanmaz çelik malzemelerin işlenmesinde talaş kaldırma parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri ve takım aşınması üzerine etkileri analiz edilmiştir. Paslanmaz çelik malzemelerin kaplamalı takımlar kullanılarak işlenebilmesi konusunda başarılı çalışmalar olmakla birlikte bu malzemelerin talaşlı şekillendirilmesinde, kesme sıvısı kullanımının etkilerinin araştırıldığı çalışmalar da gerçekleştirilmiştir. Routio ve Säynätjoki [5] paslanmaz çelik malzemenin matkaplanmasında kaplamalı ve kaplamasız takımlar ve mineral, yarı sentetik ve bitkisel yağları kullanarak bir çalışma gerçekleştirmiştir. Belluco ve Chiffre [6] ise bitkisel yağ kullanarak HSS (Yüksek Hız Çeliği) matkap ucu ile paslanmaz çelik malzemenin matkaplanmasında takım aşınması, kesme kuvvetleri ve talaş formunu incelemiştir. Bitkisel yağın, mineral yağa göre daha iyi sonuç verdiğini belirlemiştir. Cetin vd. [7] bitkisel kesme sıvılarının, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini paslanmaz çeliğin tornalanmasında incelemiştir. Araştırmacılar, ayçiçek yağı ve kanola yağı esaslı kesme sıvılarının ticari kesme sıvılarına göre daha iyi sonuç verdiklerini belirtmişlerdir. Paslanmaz çelik malzemelerin talaşlı şekillendirilmesinde kaplamalı takımların ve kesme sıvılarının kullanımının yanı sıra bu malzemelerin çevreye duyarlı talaşlı şekillendirilebilmesini sağlamak amacıyla MQL (Minimum Miktarla Yağlama) yönteminin denendiği bazı çalışmalar da yapılmıştır. Hosokawa vd. [8] paslanmaz çelik malzemelerin MQL yöntemi kullanılarak tahrikli döner takımla tornalanması sonucunda oluşan sıcaklıkları incelemiştir. Kesme sıvısı olarak biyolojik çözünebilir kesme yağı seçilmiştir. Araştırmacılar, MQL yönteminin uygun takım dönüş hızı seçildiğinde sıcaklığın azalmasına neden

olduğunu ancak takım dönüş hızının çok düşük veya çok yüksek olduğu durumlarda ise sıcaklığa bir etki gösteremediğini belirtmişlerdir. Biermann ve Steiner [9] paslanmaz çelik malzemelerin frezelenmesinde yağlama yönteminin mikro çapak oluşumu üzerine etkilerini incelemiştir. Chuangwen vd. [10] paslanmaz çeliğin tornalanmasında MQL yönteminin, kuru işlemenin ve soğuk hava uygulamanın takım aşınması üzerine etkilerini incelemişler ve MQL yönteminin soğutma ve yağlamada daha üstün özellikler sağladığını belirlemiştir. MQL yönteminde kullanılan kesme sıvılarının ısıl iletkenlik, yağlayıcılık vb. özelliklerini arttırmak amacıyla bu sıvılara çeşitli nano katkıların eklendiği ve bu katkıların etkilerinin araştırıldığı çeşitli çalışmalar da gerçekleştirilmiştir. Shen vd. [11] dökme demir malzemelerin MQL, kuru ve akışkan sıvı kullanılarak taşlanmasını araştırmışlardır. MQL yönteminde, Al_2O_3 (Alüminyum oksit), MoS_2 (Molibden disülfür) ve elmas esaslı nano akışkanlar kullanılmıştır. MQL yönteminin kullanılmasıyla işlem sıcaklığının kuru işlemeye göre azaldığı belirtilmiştir. Ancak, nano akışkan MQL yönteminin katkısız kesme sıvısı kullanılan MQL yöntemine göre sıcaklık azalmasında çok fazla bir fark oluşturmadığı belirlenmiştir. Kwon ve Drzal [12] gerçekleştirdikleri çalışmada, nano grafit parçacıklarını kesme sıvılarına ekleyerek MQL yönteminde kullanmışlardır. Park vd. [13] AISI 1045 çeliğin MQL yöntemi ile frezelenmesinde, nano grafit katkılı kesme sıvısı kullanmışlardır. Frezeleme işlemi katkısız kesme sıvısı kullanılan MQL ve kuru şartlarda da tekrarlanmıştır. Nano grafit katkılı MQL yöntemi, diğer işleme şartlarına göre daha iyi sonuç vermiştir. Rahmati vd. [14] alüminyum alaşımının nano akışkan MQL yöntemi uygulanarak frezelenmesinde yüzey kalitesini incelemiştir. Çalışmada, nano akışkan olarak MoS_2 katkılı kesme sıvısı kullanılmış ve takım-talaş arayüzündeki nano MoS_2 parçacıkların işlenmiş yüzeyin kalitesini arttırdığı görülmüştür. Mao vd. [15] nano Al_2O_3 katkılı deiyonize su ve MoS_2 katkılı kanola yağını MQL yönteminde kesme sıvısı olarak kullanmışlar ve AISI 52100 çeliğin taşlanmasına etkilerini incelemiştir. Taşlama performansının, kesme sıvısındaki nano parçacık konsantrasyonu ile arttığı ancak taşlama sıcaklığı üzerinde nano parçacık çapının fazla etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Gupta ve Sood [16], titanyum alaşımının nano akışkan MQL yöntemi kullanılarak tornalanmasında nano Al_2O_3 , nano MoS_2 ve grafit katkılı bitkisel kesme sıvısı kullanımının yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. Araştırmacılar, en düşük yüzey pürüzlülüğü değerini, viskozite değeri daha düşük olan grafit katkılı nano akışkan kullanıldığı durumda elde etmişlerdir. Paslanmaz çelik malzemelerin talaşlı şekillendirilmesi üzerine çalışmalar bulunmakla birlikte bu malzemelerin MQL yöntemi kullanılarak frezelenmesi üzerine pek fazla çalışma gerçekleştirilmemiştir. Özellikle nano akışkan kullanılan MQL yöntemi uygulaması ile literatürde karşılaşmamıştır. Bu çalışmada, AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin MWCNT (çok duvarlı karbon nanotüp) katkılı ticari bitkisel kesme sıvısı kullanılarak MQL yöntemi ile frezelenmesi incelenmektedir. Deneyler, karşılaştırma yapabilmek

amacıyla kuru ve katkısız bitkisel kesme sıvısı kullanılan MQL şartlarında da gerçekleştirilmiştir. MQL yönteminde kullanılan MWCNT parçacıkların, karışım oranlarının ve MQL debisinin, frezeleme işlemi sırasında oluşan kesme sıcaklığına etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Deneysel çalışmalarda, 400x250x6 mm boyutlarında kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin frezeleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Frezeleme işlemleri, nano akışkan MQL, MQL ve kuru şartlarda iki kesici takım tutturulan 32 mm çapında takım tutucuya mekanik olarak bağlanmış M kalite SPHN 120404 WC (Tungsten Karbür) kesici takımlar kullanılarak First MCV-300 CNC işleme merkezi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. AISI 430 ferritik paslanmaz çelik kimyasal bileşimi (Chemical composition of AISI 430 ferritic stainless steel)

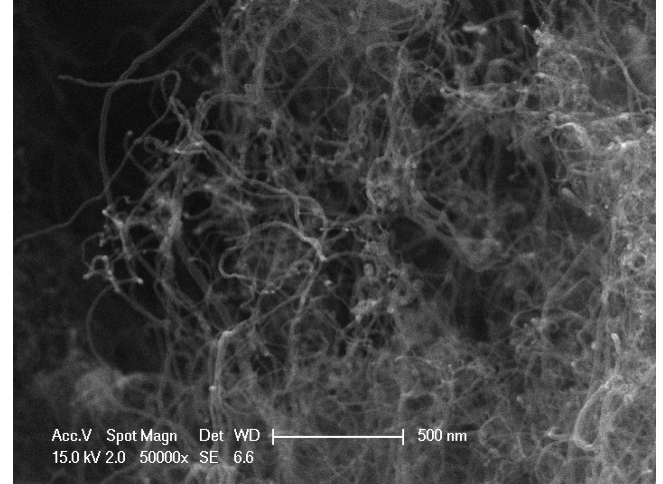
C%	Mn%	S%	P%	Si%	Ni%	Cr%
0,052	0,69	0,002	0,029	0,67	0,26	16,54

Frezeleme parametreleri Tablo 2’de verilmektedir. Deneysel çalışmalarda, kesme sıvısı olarak Eraoil KT/2000 ticari bitkisel kesme sıvısı ve MQL sistemi olarak ise Werte DKN 25 mikro yağlama sistemi kullanılmıştır.

MQL sisteminin yağ haznesine basit bir mekanik karıştırıcı konularak, nano parçacık katkılı kesme sıvısı kullanıldığı durumda kesme sıvısının sürekli karıştırılarak nano parçacıkların çökmesi engellenmiştir. MWCNT (çok duvarlı karbon nanotüp) katkılı bitkisel kesme sıvısını hazırlamak amacıyla Şekil 1’de görülen MWCNT parçacıklar, neminin alınması için 120°C sıcaklıkta 2 saat Termal marka G11420SD model Etüv’de kurutulmuştur. Kurutulmuş MWCNT parçacıklar, ağırlıkça %0,1, %0,15 ve %0,2 oranlarında ticari bitkisel kesme sıvısına eklenmiş ve karışımın homojenliğini arttırmak için kesme sıvısı-MWCNT parçacık karışımına ağırlıkça %0,1 oranında Sodyum Dodesil Sülfat katılmıştır. Daihan marka WiseTis HG-15D model dijital homojenizatör kullanılarak homojen bir karışım elde edilmiştir. Homojenizatör, 2 h süre ile 5000 rpm devirde çalıştırılmıştır. Karışım oranlarının hazırlanırken Radwag marka PS 510.R1 model hassas terazi kullanılmıştır.

Kesme sıcaklıkları (T), Optris® CTlaser 3MH1 çift lazerli temassız sıcaklık ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Sıcaklık ölçümü frezeleme işlemi boyunca sürekli yapılmış ve ölçülen sıcaklık değerleri Compact Connect yazılımı aracılığıyla bilgisayar ortamında işlenmiştir. Temassız sıcaklık ölçerler çeşitli talaşlı işleme çalışmalarında kullanılmakta ve fiziksel temas olmaması, hızlı cevap vermesi, malzeme üzerinde olumsuz etkisi olmaması gibi avantajlar sunmaktadır [17, 18]. Bu yöntemle elde edilen sıcaklıklar yaklaşık olarak belirlenmiş ve çalışmada karşılaştırma yapabilmek amacıyla kullanılmıştır. Sıcaklık ölçümleri sırasında, lazer ışını kesici takım uç noktasına

odaklanmış ve o noktadan işlem boyunca ölçüm alınmıştır (Şekil 2).



Şekil 1. MWCNT SEM görüntüsü (SEM view of MWCNT)



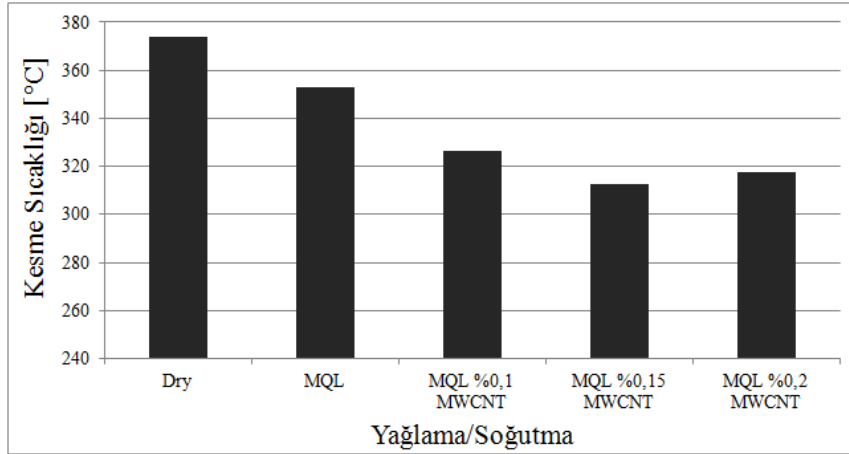
Şekil 2. Frezeleme işlemi ve sıcaklık ölçümü (Milling operation and temperature measurement)

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

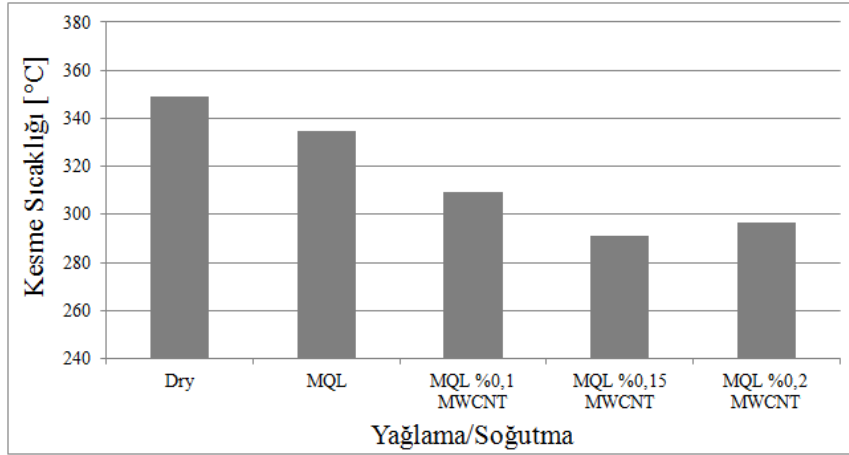
AISI 430 ferritik paslanmaz çelik malzemenin kuru, ticari bitkisel kesme sıvısı kullanılan MQL yöntemi ve MWCNT katkılı bitkisel kesme sıvısı kullanılan MQL yöntemi ile frezelemede oluşan kesme sıcaklığı değişimleri Şekil 3 ve Şekil 4’de verilmektedir. Maksimum kesme sıcaklıkları kuru frezelemede oluşurken, MQL sistemi aracılığıyla

Tablo 2. Frezeleme parametreleri (Milling parameters)

Frezeleme şartları	kuru, MQL ve %0,1, %0,15 ve %0,2 MWCNT katkılı MQL
MQL debisi	20 ml/h ve 40 ml/h
MQL basıncı	5 bar
Nozül mesafesi	50 mm
Kesici takım	WC
Kesme hızı	100 m/min
İlerleme hızı	180 mm/min
Kesme derinliği	0,5 mm



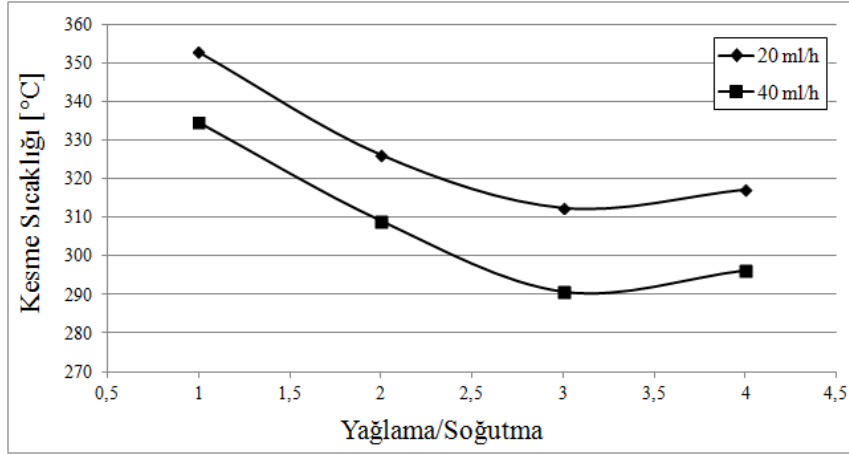
Şekil 3. Ferritik paslanmaz çeliğin frezelenmesinde MQL yöntemi kullanımının ve kesme sıvısına katılan MWCNT miktarının kesme sıcaklığına etkisi (20 ml/h) (The effects of MQL method and amount of MWCNT added to the cutting fluid on cutting temperature in the milling of ferritic stainless steel (20 ml/h))



Şekil 4. Ferritik paslanmaz çeliğin frezelenmesinde MQL yöntemi kullanımının ve kesme sıvısına katılan MWCNT miktarının kesme sıcaklığına etkisi (40 ml/h) (The effects of MQL method and amount of MWCNT added to the cutting fluid on cutting temperature in the milling of ferritic stainless steel (40 ml/h))

ortama gönderilen kesme sıvısı-basınçlı hava karışımı oluşan kesme sıcaklıklarının azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca, MWCNT katkılı kesme sıvısının kullanıldığı MQL yönteminin uygulanmasıyla da MWCNT parçacıkların yüksek ısıl iletkenliği (~3000 W/mK) ve yağlayıcılık özelliklerinden dolayı kesme sıcaklıkları daha da düşmektedir. MWCNT katkı oranının %0,1'den %0,15'e artırılması oluşan sıcaklığın azalmasına neden olmakta ancak bu oran %0,15'den %0,2'ye artırılması artan viskozite değeri ve çökeltme eğiliminden dolayı sıcaklık

değerlerinde bir miktar artışa sebep olmaktadır. Viskozite ölçümleri, AND marka ST100 model viskozite tayin cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Ticari bitkisel kesme sıvısının viskozitesi 11 cst ölçülürken, ağırlıkça %0,1, %0,15 ve %0,2 MWCNT katkılı kesme sıvılarının viskozite değerleri ise sırasıyla 15,7 cst, 18,3 cst ve 21,7 cst olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar ve ölçülen sıcaklık değerleri göstermektedir ki MWCNT katkı oranının artırılması belirli bir seviyeye kadar fayda sağlamakta katkı oranı artırıldıkça etkinlik azalmaktadır. Deneysel çalışmalar sonucunda ölçülen kesme



Şekil 5. MQL yöntemi ile frezelemede kesme sıcaklığının MQL debisi ile değişimi
(Variation of cutting temperature with MQL flow rate during MQL milling)

sıcaklığı değerleri, Chang [19] ve Okada vd. [20] tarafından paslanmaz çelik malzemelerin benzer talaş kaldırma parametrelerinde işlenmesi ile gerçekleştirilen çalışmalarda ölçülen kesme sıcaklıkları ile uyum göstermektedir. Literatürdeki çalışmalarda ve bu çalışmada ölçülen kesme sıcaklığı değerleri karşılaştırıldığında ölçümlerin birbirine yakınlık gösterdiği ve güvenilir olduğu belirlenmiştir. MQL debisinin kesme sıcaklığına etkisi incelendiğinde, artan MQL debisi ile ortama gönderilen kesme sıvısı-basınçlı hava karışımı arttığı ve daha fazla ısının transfer edilebilmesinden dolayı kesme sıcaklıklarının azaldığı gözlemlenmektedir (Şekil 5). Özellikle MWCNT katkı oranının artırılmasıyla, katkısız ticari bitkisel kesme sıvısına göre oldukça avantaj sağlandığı görülmektedir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada; AISI 430 ferritik paslanmaz çelik malzeme, MWCNT katkılı bitkisel kesme sıvısı kullanılan MQL yöntemi uygulanarak WC kesici takım ile frezelenmiştir. Kesme sıvısı olarak, katkısız ticari bitkisel kesme sıvısı ve ağırlıkça %0,1, %0,15 ve %0,2 MWCNT parçacık katkılı ticari bitkisel kesme sıvıları kullanılmıştır. MWCNT parçacık katkısının, katkı oranının ve MQL debisinin ferritik paslanmaz çelik malzemenin frezelenmesinde oluşan kesme sıcaklıklarına etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışmaların yapılabilmek için kuru şartlarda da tekrarlanmıştır. Deneysel çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Maksimum kesme sıcaklıkları kuru frezelemede oluşmuş ancak MQL yönteminin kullanılmasıyla kesme sıcaklıklarının azaldığı görülmüştür. MWCNT katkılı bitkisel kesme sıvısının MQL yönteminde kullanılmasında, MWCNT parçacıkların yüksek ısıl iletkenlikleri ve iyi yağlama özelliklerinden dolayı kesme sıcaklıklarını azaltmıştır. MWCNT parçacık katkı oranının artırılmasıyla oluşan kesme sıcaklığının azalmasında olumlu etki yaratmış ancak bu oranın %0,15'den %0,2'ye artırılması artan viskozite değeri ve çökme eğiliminden dolayı sıcaklık değerlerinde bir miktar artışa sebep olmuştur. MQL debisinin artmasıyla, ortama daha fazla kesme sıvısı-basınçlı hava karışımı

gönderilmesinden dolayı soğutma ve yağlama verimi artmış ve kesme sıcaklıklarında azalma gözlemlenmiştir.

5. SİMGELER (SYMBOLS)

AISI	: Amerikan Demir Çelik Enstitüsü
Al ₂ O ₃	: Alüminyum Oksit
HSS	: Yüksek Hız Çeliği
MoS ₂	: Molibden Disülfür
ML	: Minimum Miktarla Yağlama
MWCNT	: Çok Duvarlı Karbon Nanotüp
PVD	: Fiziksel Buhar Biriktirme
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
T	: Kesme Sıcaklığı
TiCN	: Titanyum Karbonitrür
TiN	: Titanyum Nitrid
WC	: Tungsten Karbür

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmadaki deneylerin yapılması ve ölçümlerin gerçekleştirilmesinde, TÜBİTAK tarafından desteklenen 114M098 numaralı proje bütçesiyle satın alınan MQL sistemi ve kızılötesi lazer termometre kullanılmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Nordin M., Sundström R., Selinder T.I., Hogmark S., Wear and Failure Mechanisms of Multilayered PVD TiN/TaN Coated Tools When Milling Austenitic Stainless Steel, Surf. Coat. Technol., 133-134, 240-246, 2000.
2. Shao H., Liu L., Qu H.L., Machinability Study on 3%Co-12%Cr Stainless Steel in Milling, Wear, 263, 736-744, 2007.
3. Liew W.Y.H., Ding X., Wear Progression of Carbide Tool in Low-Speed End Milling of Stainless Steel, Wear, 265, 155-166, 2008.
4. Selvaraj D.P., Chandramohan P., Mohanraj M., 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, 2014.
5. Routio M., Säynätjoki M., Tool Wear and Failure in the Drilling of Stainless Steel, J. Mater. Process. Technol., 52, 35-43, 1995.
 6. Belluco W., Chiffre L.D., Performance Evaluation of Vegetable-Based Oils in Drilling Austenitic Stainless Steel, J. Mater. Process. Technol., 148, 171-176, 2004.
 7. Cetin M.H., Ozcelik B., Kuram E., Demirbas E., Evaluation of Vegetable Based Cutting Fluids with Extreme Pressure and Cutting Parameters in Turning of AISI 304L by Taguchi Method, J. Cleaner Prod., 19, 2049-2056, 2011.
 8. Hosokawa A., Ueda T., Onishi R., Tanaka R., Furumoto T., Turning of Difficult-to-Machine Materials with Actively Driven Rotary Tool, CIRP Ann., 59, 89-92, 2010.
 9. Biermann D., Steiner M., Analysis of Micro Burr Formation in Austenitic Stainless Steel, Procedia CIRP, 3, 97-102, 2012.
 10. Chuangwen X., Ting X., Huaiyuan L., Zhicheng S., Hongbing J., Mandong L., Friction, Wear, and Cutting Tests on 022Cr17Ni12Mo2 Stainless Steel under Minimum Quantity Lubrication Conditions, Int. J. Adv. Manuf. Technol., 90, 677-689, 2017.
 11. Shen B., Shih A.J., Tung S.C., Application of Nanofluids in Minimum Quantity Lubrication Grinding, Tribol. Trans., 51, 730-737, 2008.
 12. Kwon P., Drzal L.T., Nanoparticle Graphite-Based Minimum Quantity Lubrication Method and Composition, Patent Numarası: US 2010/0204072 A1, 2010.
 13. Park K.H., Ewald B., Kwon P.Y., Effect of Nano-Enhanced Lubricant in Minimum Quantity Lubrication Balling Milling, J. Tribol., 133, 031803-1-8, 2011.
 14. Rahmati B., Sarhan A.A.D., Sayuti M., Morphology of Surface Generated by End Milling AL6061-T6 using Molybdenum Disulfide (MoS₂) Nanolubrication in End Milling Machining, J. Cleaner Prod., 66, 685-691, 2014.
 15. Mao C., Zhang J., Huang Y., Zou H., Huang X., Zhou Z., Investigation on the Effect of Nanofluid Parameters on MQL Grinding, Mater. Manuf. Processes, 28, 436-442, 2013.
 16. Gupta M.K., Sood P.K., Surface Roughness Measurements in NFMQL Assisted Turning of Titanium Alloys: An Optimization Approach, Friction, 5 (2), 155-170, 2017.
 17. Abukhshim N.A., Mativenga P.T., Sheikh M.A., Heat Generation and Temperature Prediction in Metal Cutting: A Review and Implications for High Speed Machining, Int. J. Mach. Tools Manuf., 46, 782-800, 2006.
 18. Davoodi B., Hosseinzadeh H., A New Method for Heat Measurement during High Speed Machining, Measurement, 45, 2135-2140, 2012.
 19. Chang S.C., Prediction of the Cutting Temperatures of Stainless Steel with Chamfered Main Cutting Edge Tools, J. Mater. Process. Technol., 190, 332-341, 2007.
 20. Okada M., Hosokawa A., Asakawa N., Ueda T., End Milling of Stainless Steel and Titanium Alloy in an Oil Mist Environment, Int. J. Adv. Manuf. Technol, 74, 1255-1266, 2014.