

AISI 4140 Çeliğinin Tortalanmasında Atomize Edilmiş Bitkisel Esaslı Kesme Sıvılarının Performansının Analizi

Ömer KARABIYIK¹, Selim BACAĞ²

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü, ISPARTA
²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, ISPARTA

(Alınış / Received: 17.01.2019, Kabul / Accepted: 13.02.2019)

Anahtar Kelimeler
Bitkisel Kesme Sıvısı,
Ultrasonik Atomizer,
Kesme Parametreleri
AISI 4140 Çelik

Özet: Bu çalışmada iki farklı oranda soya yağı-su karışımıyla kesme sıvısı oluşturulup, mineral esaslı ticari kesme sıvısı ile tortalama işleminde kesme performansına etkileri bakımından karşılaştırmalar yapılmıştır. İş parçası olarak AISI4140 çelik malzeme kullanılmıştır. İki farklı kesme ve ilerleme hızlarıyla beraber üç adet kesme sıvısı denenerek toplamda on iki deney yapılmıştır. %5 ve % 10 oranlarındaki Soya yağı ve su dan elde edilen kesme sıvılarının, yüzey pürüzlülüğü (Ra), tortalama kuvveti (Fc) ve takım aşınması (VB) üzerindeki performansları karşılaştırılmıştır. Deney için kesme derinliği, kesme hızı ve ilerleme hızları belirlenerek takım aşınması oranı VB için 0,6mm alınmıştır. Deney sırasında bitkisel kesme sıvıları ultrasonik atomizer ile soğuk buhar olarak püskürtülmüştür. Genel olarak deney sonuçları değerlendirildiğinde bitkisel esaslı kesme sıvılarının kesme kuvvetini, yüzey pürüzlülüğünü ve takım aşınmasını azaltmadaki performansının ticari kesme sıvısından daha iyi olduğu görülmüştür.

Analysis Of The Performance Of Plant-Based Cutting Liquids Atomized In The Blasting of AISI 4140 Steel

Keywords
Vegetable Cutting Fluid
Ultrasonic Atomizer
Cutting parameters
AISI 4140 Steel

Abstract: In this study, cutting fluid was formed with a mixture of soybean-water in two different ratios and comparisons were made in terms of their effects on cutting performance with mineral based commercial cutting liquid. AISI4140 steel material was used as the workpiece. A total of twelve experiments were performed by testing three cutting fluids with two different cutting and feed speeds. The performance of cutting fluids from 5% and 10% Soybean oil and water was compared on the surface roughness (Ra), turning force (Fc) and tool wear (VB). For the test, the cutting depth, cutting speed and feed rates were determined and the tool wear rate was taken as 0.6 mm for VB. During the experiment, vegetable cutting fluids were sprayed with ultrasonic atomizer as cold steam. In general, the results of the experiments showed that vegetable based cutting fluids had better cutting force, surface roughness and tool wear performance than commercial cutting fluid.

1. Giriş

Metal işleme sektörü tüm Dünyada sanayi sektörünün temelini oluşturmaktadır. Güçlü bir ekonomiye sahip olmak isteyen ülkeler sanayi ve teknoloji alanında kendilerini güçlendirmek için sürekli olarak araştırma içindedirler. Metal işleme sektörünü oluşturan temel kuramlara bakıldığında soğutma sıvıları gerek takım ömrü, gerek işlenebilirlik, gerekse çevresel ve

ekonomik sonuçlarından dolayı önemli bir yere sahiptir. Talaşlı üretim sırasında uygun şartlarda yapılan bir soğutma işlemi, iş parçası işleme süresi, takım ömrü, kesme sıvısı imha maliyeti gibi birçok kalemden tasarruf sağlanabilecek etkiye sahiptir. Su, kesme sıvılarında kullanılan en önemli akışkan ve soğutma aracı olsa da, tek başına bir kesme sıvısı olamaz. Çünkü suyun gözeneklilik özelliği ve oksidasyon oluşumunu engelleme özelliği yoktur.

Ancak suyun yağ ile karışımı sonucu elde edilecek homojen çözelti, soğutma sıvısı özelliği kazanır ve istenilen yağlamayı sağlar.

Metal kesme sıvıları ilk önce mineral ve hayvansal yağlar kullanılarak yapılmaktaydı. Gelişen teknoloji ile insan sağlığına zararı en az olacak kesme sıvıları yeni yöntemlerle geliştirilmeye başlandı. ARGE çalışmaları öncelikle olarak biyo bozunabilir kesme sıvılarının üretimi ve atıkları imha etme metotları üzerine yoğunlaşmış durumdadır [9].

Bitkisel yağ kullanımı, talaşlı imalatla alternatif olabilirliği düşünülen yağlar kategorisine girmiştir. Çeşitli bitkisel yağların su ve bazı katkı maddeler ile karıştırılarak oluşturulan karışımların soğutma sıvısı olarak kullanılması sonucu, olumlu geribildirimlerin gelmesi, araştırmacıları bitkisel yağ ile hazırlanabilecek soğutma sıvısı karışımlarına yöneltmiştir [2].

ISO 14000 çevre yönetmeliğinde yapılan değişikliklerle mineral yağ bazlı metal kesme sıvılarının tüketimi azalmıştır [8]. Metal endüstrisi, geri dönüşüm sorunlarını çözmek veya en aza indirmek için alternatif kesme sıvılarının geliştirilmesi yönünde çalışmalar yapmaktadır. Hayvansal yağlar metal kesme sıvısı için kullanıldığında yüksek sıcaklıklarda kokmaya başlamış, sıvının tezgâhta bekleme süresi arttığında ise bozulmalar meydana gelmiştir [5]. Petrokimya ürünü metal kesme sıvılarının doğada ayrışmasının uzun yıllar alması ekolojik dengeyi olumsuz etkilemekte, aynı zamanda bu tarz sıvıların çalışma esnasında insan cildine teması tahrişlerin ve kızarıkların olmasına sebep olmaktadır [3,7]. Gerçek anlamda en iyi çözelti, bütünüyle biyolojik olan ve ayrışabilen kesme sıvılarıdır. Çevre dostu olarak bilinen bitkisel bazlı kesme sıvısı karışımlarına talep gün geçtikçe artmaktadır [6,4]. Bitkisel bazlı kesme sıvıları doğada ayrışma oranı yüksek olan, toksin olmayan, sentetik ve yarı sentetik yağlara göre daha ucuz olması nedeniyle caziptirler.

Bu çalışmada kesme sıvısı olarak soya yağı ve su dan oluşan bitkisel akışkanlar, tornalama işleminde ultrasonik atomizer ile püskürtülmüştür. Bu cihaz içinde barındırdığı piezoelektrik sayesinde sıvıyı düşük hızlı buğu haline getirerek, mikron seviyesinde zerreciklere ayırmaktadır. Deney Malzemesi olarak AISI 4140 çeliği kullanılmıştır. Püskürtülen soğutucu akışkanların malzeme üzerindeki yüzey pürüzlülüğü, kesici takım aşınması ve kesme kuvveti parametreleri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Deney malzemesi olarak makine imalatında yaygın olarak kullanılan AISI 4140 çeliği tercih edilmiştir. 100 mm çapında, 300 mm uzunluğundaki malzeme boyutu belirlenirken, TSI ISO 3685 deney standardına

uygunluğu göz önünde bulundurulmuştur. Tablo 1' de çeliğinin kimyasal kompozisyonu gösterilmiştir. [10]

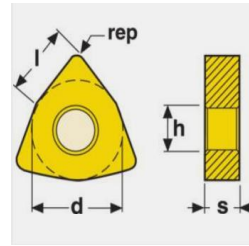
Tablo 1. AISI4140 çeliğinin kimyasal kompozisyonu

Element	% Ağırlık
C	0.38-0.45
Mn	0.75-1.00
P	0.035 (max)
S	0.04 (max)
Si	0.15-0.30
Cr	0.80-1.10
Mo	0.15-0.25

Deneylerde kullanılacak soya yağı özelliklerine bakıldığında, %18-20 oranında yağ içeren soya fasulyesi tohumlarından elde edilmiştir. Soya yağı, linolenik yağlar arasında yer almaktadır. İyi bir yağlama özelliğine karşı oksidatif stabilitesi düşüktür [1].

Ticari kesme sıvısı olarak CNC torna tezgâhında Blaser marka B-Cool 655 kodlu, kesme sıvısı kullanılmıştır. Bu ürün su ile karışabilen, kloruz, düşük mineralli yağa sahip **bir** kesme sıvısıdır. Ürün son derece düşük tüketim ile karakterizedir.

Kesici takım tercihinde, Takım ömrünü daha kısa sürede belirleyebilmek amacıyla SECOTools kesici takımlar firmasından WNMG060404-MF1, 890 kodlu kaplamasız karbür uç ve bu uca uygun bir kater seçilmiştir. Kesici takıma ait özellikler şekil 1' de belirtilmiştir. Kesici takımda belirtilen d ölçüsü; varsayılan daire çapını, h; sabitleme delik çapını, s; uç kalınlığını l ölçüsü ise teorik kesme kenar boyunu ifade etmektedir.



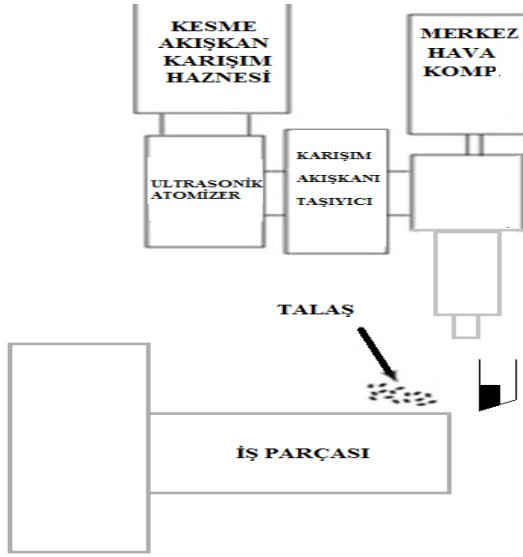
Ürün Tanımı WNMG060404-MF1
Kesme Kenar Sayısı: 6
Teorik kesme Kenar Boyu: 6.5 mm
Köşe Radyüsü: 0,4mm
Uç Şekli: W

Şekil 1. Kaplamasız karbür kesici takım özellikleri

Kesici takımın işleme parametre değerleri katalogdan belirlenirken, TSI ISO 3685 deney standardında yer alan malzeme ve kesici takım için önerilen devir ve ilerleme hızları aralıklarında olmasına da dikkat edilmiştir.

Gerçek deneysel çalışmalara başlamadan önce sistemin çalışmasını kontrol etmek amacıyla bir takım ön deneyler yapılmıştır. Deney kapsamında kullanılacak olan soya yağı, suya %5 ve %10 oranlarında katılarak mekanik karıştırıcı ile karıştırıldı. Su ve yağ ultrasonik atomizere maruz bırakılarak soğuk buhar elde edildi. 50 khz ultrasonik atomizerin üzerinde yer alan hava girişi sayesinde su

ve soya yağı karışımı buharının püskürtülmesi kolaylaştırıldı. Şekil 2 'de sistemin şematik hali belirtilmiştir.



Şekil 2. Deneyde kullanılan püskürtme sistemi

Numunelerden 1mm talaş kaldırılarak haddelemenin yüzey pürüzlüğüne etkileri deneye başlamadan önce ortadan kaldırıldı. %5 ve %10 oranında soya ve su karışımı bitkisel sıvıların yanı sıra ticari kesme sıvısı da kullanılarak 3 adet akışkan deneyde yer aldı. 2 farklı ilerleme hızı ile 2 farklı kesme hızı seçilerek toplamda 12 deney yapılmıştır.

CNC torna tezgâhında AISI 4140 malzemesi uzunluk 100 mm sabit kalacak şekilde tornalanmış ve kesici takım aşınması gerçekleşene kadar işleme devam edilmiştir. Deney sonuçlarında 12 deneyden yüzey pürüzlüğü için Ra, Rz, Rmax değerleri alınmıştır. Yüzey pürüzlüğü verileri her tornalama işleminde ölçülerek, ölçümleri oda sıcaklığında kesme uzunluğu 0,8 mm ve örneklem uzunluğu 17,5 mm olarak yapıldı. Takım aşınmaları her paso işleminden sonra ölçüldü. Ayrıca her boyuna tornalama işlemindeki kuvvetlerin ortalaması alınıp o işlemin kuvvet değeri belirlendi. Deneyler ALEX ANL-75 markalı CNC torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Tezgâh 0,001 hassasiyet ile birlikte maksimum 4000 devirde çalışma kapasitelidir.

Esas kesme kuvveti F_x (F_c), radyal kuvveti F_y (F_f) ve ilerleme kuvveti F_z (F_r) ölçümleri için Kistler firmasına ait 9722-A modeli dinamometre ile yine aynı firmaya ait 5070A11100 tipi amplifikatör kullanılmıştır.

Numunelerin yüzey pürüzlülükleri 0,01 μm hassasiyette ölçüm yapabilen, elmas uçlu HommelWerke firmasının T 500 yüzey pürüzlülük test cihazı ile ölçülmüştür.

Takım aşınmalarını gözlemleyebilmek ve görüntüleri dijital ortama atabilmek için en küçük 6,7, en büyük 90 büyültme yapabilen, ring aydınlatmalı, hareketli tablası olan ve 1.3 mega pixel çözünürlüklü kamera ile ölçüm programı olan OLYMPUS SZ 61 modeli Stereo Zoom mikroskop kullanılmıştır.

Su ve soya yağını karıştırarak sis damlası şeklinde püskürtülmesini sağlamak amacı için 50 Khz lik ultrasonik atomizer, analog jeneratör ve 10 barlık kompresör kullanılmıştır. Sis damlacıkları 28 mikron büyüklüğünde ve saatte 2 litrelik akışkan püskürtme özelliğine sahiptir. Tercih edilen ultrasonik atomizer modelinde mevcut olan hava girişi sayesinde sis damlacıklarına 7 bar basınç uygulanarak tornalama işleminde püskürtülmüştür.

Kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliği şartları kesici takım katalog değerleri ile TSI ISO 3685 deney standartları göz önünde bulunularak belirlenmiş olup tablo 2' de belirtilmiştir.

Tablo 2. Kesme şartları

Kesme Hızı, V (m/dak.)	İlerleme, F (mm/dev)	Talaş Derinliği, a (mm)
150 - 200	0,1-0,15	1

3. Deneysel Sonuçlar

Oluşturulan sistemde ultrasonik atomizer ile püskürtülen bitkisel esaslı kesme sıvılarının ve referans olarak kullanılan ticari kesme sıvısının performans deneyleri yapılmıştır. AISI4140 malzemesinin boyuna tornalamasında oluşan yüzey pürüzlülüğü (R_a), tornalama kuvvetleri (F_c) ve takım aşınmaları (VB) ölçülerek analiz edilmiştir. Deneylerde iki farklı orana sahip bitkisel esaslı kesme sıvısının talaşlı üretimde yağlama ve soğutma özellikleri araştırılmıştır. Verimli ve ekonomik bir talaşlı üretim işlemi için sağlanması gereken kriterler arasında yüksek yüzey kalitesi, düşük tornalama kuvvetleri ve uzun takım ömrü değerleri bulunmaktadır.

Deneyler ile ilgili genel sonuçlar Tablo 3 'te verilmiştir. Yüzey pürüzlülük değerleri, her sıvı karışımı için ortalama değer olarak alınmıştır. Takım aşınması değerleri ile paso sayısı kıyaslaması yapılarak incelenmiştir. Esas kesme kuvvetlerinin her işlem için ortalaması alınıp takım aşınana kadar ölçümler alınmıştır.

Tablo 3. Deneysel sonuçları

Deneysel No	V (m/dak)	f (mm/dev)	a (mm)	Kesme Akışkanı	Ra _{um}	Takım Aşınması VBmaks.	F _x (ortalama kuvvet) N	Paso Sayısı
1	150	0,1	1mm	%5 Karışım	3,4	0,6987	361,298	5
2	150			%10 Karışım	2,98	0,6210	323,72	7
3	150			Ticari Kesme Sıvısı	7,73	0,7312	597,505	2
4	200	0,1	1mm	%5 Karışım	4,78	0,8057	460,25	3
5	200			%10 Karışım	4,15	0,6515	446,096	3
6	200			Ticari Kesme Sıvısı	7,81	0,7821	768,845	2
7	150	0,15	1mm	%5 Karışım	3,51	0,62	557,806	4
8	150			%10 Karışım	6,68	0,6943	519,992	7
9	150			Ticari Kesme Sıvısı	11,13	0,7612	744,12	2
10	200	0,15	1mm	%5 Karışım	4,23	0,8257	515,874	3
11	200			%10 Karışım	5,49	0,7243	594,272	3
12	200			Ticari Kesme Sıvısı	11,59	0,7812	801,23	2

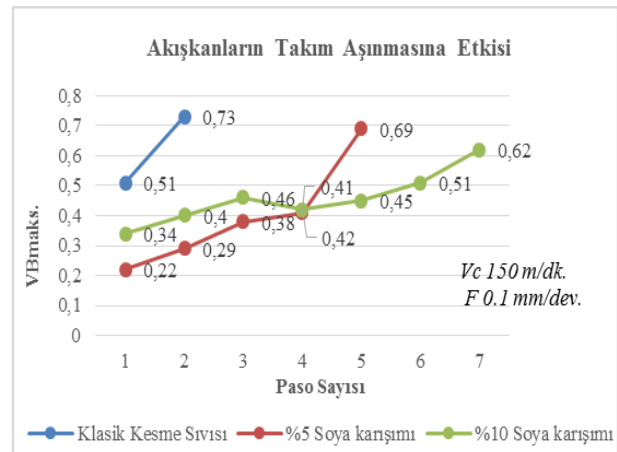
Tablo 3’ te deneysel sonuçları incelendiğinde ultrasonik atomizer ile püskürtülen soya yağı ve su karışımı akışkanların yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve kesme kuvveti değerlerinde daha iyi sonuç verdiği ortaya çıkmıştır.

3.1 Metal Kesme Sıvılarının Kesici Takım Aşınmasına Etkileri

Farklı karışım oranlarındaki soya yağı ve su akışkanının püskürtülmesi ile CNC torna tezgâhında kullanılan kesme sıvısının VBmaks. kesici takım aşınmasına etkileri tablo 3’ te yer almaktadır. VBmaks. oranı TSI ISO 3685 deney standardın da belirtilen 0,6 mm değerine ulaştığında takım aşındı olarak değerlendirilmiştir. Takım aşınmasını sadece kullanılan kesme akışkanları değil, kesme hızı ve ilerleme hızının da etkilediği görülmüştür.

Şekil 3’ te kesme hızı 150 m/dk, talaş derinliği 1mm, ilerleme hızı ise 0,1 mm/dev. olan tornalama işleminde 3 farklı akışkanın kaç pasoda kesici takımı aşındırdığı grafiksel olarak gösterilmiştir. En iyi sonuç, %10 soya yağı karışımının ultrasonik atomizer ile püskürtülmesi ile elde edilmiştir. Tornalama işleminde kesme uzunluğu 100 mm sabit tutularak 7 defa talaş kaldırılan akışkana karşılık %5 lik karışım 5. tornalama işleminden sonra kesici takım ucunu aşındırmıştır.

Kesme hızının 150 m/dk ile 200 m/dk. ve ilerleme hızlarının 0,1 mm/dev. ile 0,15 mm/dev. arasında değişkenlik gösterdiği deneyler incelendiğinde takım aşınma değerlerinin daha az sayıdaki tornalama işlemlerinde daha yüksek değerlere ulaştığı ve daha hızlı aşındığı gözlemlenmiştir.



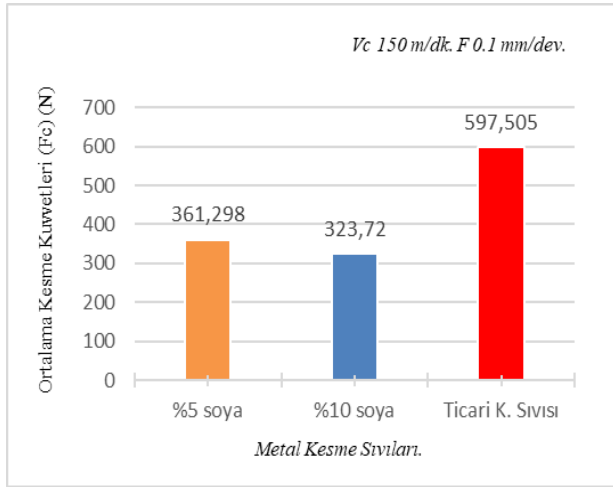
Şekil 3. Soğutucu akışkanların takım aşınmasına etkisi.

3.2. Metal Kesme Sıvılarının Tornalama Kuvvetlerine Etkileri

Kesme akışkanlarının CNC torna tezgâhındaki tornalama performanslarını belirlemek için, her bir kesme akışkanı ile yapılan tornalama işleminde dinamometre yardımı ile kuvvet ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümler MATLAB yazılımına aktararak

kuvvetlerin ayrı ayrı ortalamaları alınmış ve Tablo 3 'te gösterilmiştir. Kesme kuvveti ölçümleri kesici takım ömrü tamamlanana kadar devam etmiştir. Deneylerin sonuçları incelenirken büyük ölçekte esas kesme kuvveti olan F_x (F_c) değerleri üzerinde durulmuştur.

En ideal kesme kuvveti ortalamaları kesme hızı 150 m/dk talaş derinliği 1mm, ilerleme hızı ise 0,1 mm/dev olan deney şartlarında ortaya çıkmıştır. Şekil 4 'te görüldüğü üzere en düşük kesme kuvveti ortalaması %10 soya ve su karışımı sonucunda çıkarken en yüksek kesme kuvveti ortalaması ticari kesme sıvısının kullanıldığı deneylerde tespit edilmiştir.

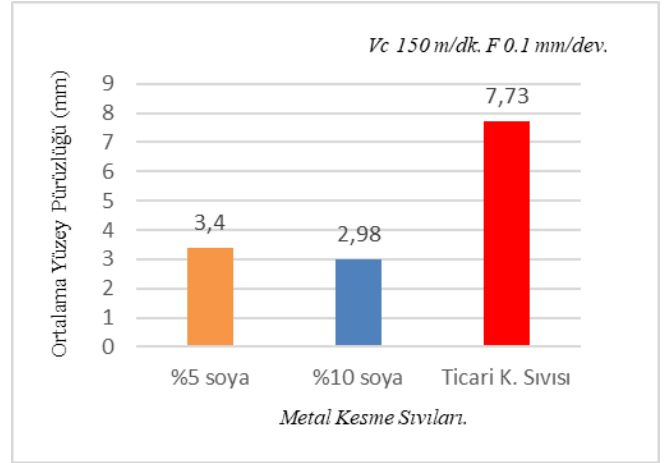


Şekil 4. Soğutucu akışkanların esas kesme kuvveti üzerine etkisi

3.3 Metal Kesme Sıvılarının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri

Akışkanların tornalama esnasındaki performansını belirleyebilmek için, kesme sıvıları ile belirtilen deney şartlarında tornalama işlemi yapılmıştır. Her bir tornalama işleminden sonra ölçülen yüzey pürüzlülük değerlerinin ortalaması alınmıştır ve sonuçlar Şekil 5' deki grafikte gösterilmiştir.

Şekil 5' te görüldüğü üzere en ideal yüzey pürüzlülüğü ortalamaları kesme hızı 150 m/dk talaş derinliği 1mm, ilerleme hızı ise 0,1 mm/dev olan deney şartlarında ortaya çıkmıştır. En düşük yüzey pürüzlülüğü, %10 soya ile su karışımından oluşan akışkanın ultrasonik atomizer ile püskürtülmesi sonucu ortaya çıkmıştır.



Şekil 5. Soğutucu akışkanların yüzey pürüzlülüğüne etkisi

%10 soya yağı karışımından oluşan kesme sıvısı ile tornalama deneyleri sonucunda en iyi yüzey pürüzlülüklerinin ortalaması 2,98 µm olarak ölçülmüştür.

Yüzey pürüzlülüğünün daha küçük olması istendiğinden kesme sıvılarının performansı iyiden kötüye doğru şöyle sıralanabilir: %10 soya karışımı, %5 soya karışımı ve ticari kesme sıvısıdır.

Yüksek yağ oranına sahip kesme sıvısının püskürtülmesi, takım talaş ara yüzeyine daha iyi nüfuz ederek sınır yağlamayı artırmıştır. Bu sebeple yüzey kalitesi, %10 soya yağı ihtiva eden ve atomize edilen kesme sıvısının kullanıldığı deneylerde daha yüksek çıkmıştır.

4. Sonuçlar

Otomobil ve uçak yapımında, krank mili, aks mili ve kovani, dişli çark, gemi zincir yapımında vb. gibi sanayinin birçok kolunun imalatında sıklıkla kullanılan AISI 4140 çeliğinin talaşlı imalatında, imalat bölgesinde oluşan ısıyı düşürecek, sürtünmeyi azaltacak ve takım ömrünü uzatacak bir soğutma ve yağlama için bir sistem geliştirilmiştir. Talaşlı imalatla bitkisel yağlar fiyat ve performans avantajı sağlamak için denenmiştir fakat ultrasonik atomizer kullanılarak soğuk buhar hiçbir akışkan alternatif kesme sıvısı yerine kullanılmamıştır. Bu çalışmada iki farklı orandaki bitkisel kesme sıvısı ile ticari olarak elde edilen mineral esaslı kesme sıvısı kıyaslaması yapıp, tornalama işlemindeki, yüzey pürüzlülüğünü iyileştirme, takım ömrünü uzatma ve esas kesme kuvvetini azaltma açısından tornalama işlemindeki performansları kıyaslanmıştır. Gerek yüzey pürüzlülüğü, gerek esas kesme kuvveti, gerekse takım aşınması açısından en iyi işleme parametreleri, kesme hızı 150 m/dk, talaş derinliği 1mm ve ilerleme hızı ise 0,1 mm/dev. olan kesme şartlarında ortaya çıkmıştır.

- Yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirildiğinde mineral esaslı ticari

kesme sıvısına oranla soya ve su karışımı bitkisel akışkanların ultrasonik atomizer ile püskürtülmesi daha iyi performans göstermiştir.

- Bitkisel sıvılarının her biri ile yapılan deneylerde %5 soya karışımına sahip akışkanın ortalama yüzey pürüzlülüğü 3,4 µm, %10 luk soya yağı karışımında 2,98 µm, ticari kesme sıvısında ise 7,73 µm seviyesinde çıkmıştır. En iyi yüzey kalitesi %10 soya yağı karışımında ortaya çıkmış olup ticari kesme sıvısına oranla yüzey kalitesini %61 oranında, %5 soya yağı karışımı ise %12 oranında iyileştirmiştir.
- Kesme kuvveti (Fc) açısından metal kesme sıvıları arasındaki fark kıyaslandığında %10 soya yağı karışım oranına sahip akışkan parça yüzeyindeki kayma gerilmesinin düşmesi sebebiyle tornalama kuvvetlerinde azalmaya sebep olmuştur. Diğer iki sıvıya oranla %45 ve %10 avantaj sağlayarak en düşük kesme kuvveti değeri ortaya çıkmıştır.
- Kesme sıvılarının takım aşınması açısından performans analizi için incelendiğinde %10 soya yağı karışımına sahip karışım en iyi sonucu vermiştir. Tornalama işlem sayısına göre de kıyaslama yapılan incelemede mineral esaslı ticari kesme sıvısı takım ömrünü uzatmaya yönelik deneylerde en zayıf sıvı olmuştur.
- Kesme sıvılarının performanslarının değerlendirildiği çalışmada deneysel sonuçlar göstermiştir ki bitkisel yağlardan oluşturulan kesme sıvılarının tasarlanan sistem ile atomize edilerek sağladığı avantajlar imalat verimliliğini artırmaya yönelik olmuştur.

vegetable oil in terms of cutting force, cutting zone temperature, tool wear, job dimension and surface finish in turning AISI-1060 steel”, Journal of Zhejiang University Science A., 7 (11) 1790-1799.

- [5] Birova, A., Pavloviova, A. and Cvengro, J., 1998., “Lubricating oils based on chemically modified vegetable oils”, Journal of Synthetic Lubrication, 291.
- [6] Childers, J., 2004 “The Chemistry of Metalworking Fluids.” Metal working Fluids. New York, Marcel Dekker, 165-190.
- [7] Dolapçı, F., 2010, “Bitkisel kesme sıvılarının bileşim – özellik bağıntılarının modellenmesi” Gebze Yüksek teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Gebze.
- [8] Singh, A.K. and Gupta, A.K., 2006. Metalworking fluids from vegetable oils, Journal of Synthetic Lubrication, 23, 167-176.
- [9] Akagawa A., 1998. Development of cutting fluids in machining. Lubrication Engineering; 54 (8): 31-34.
- [10] AISI 4140 Çeliği, Erişim Tarihi: 01.12.2018. Erişim Adresi: <http://www.cemilsenocak.com/bitirmem/4140.htm>

Kaynakça

- [1] Dal M. “Bitkisel esaslı kesme sıvılarının frezelemedeki performansının araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze 2009.
- [2] Birova, A., Pavloviova, A. and Cvengro, J., 1998., “Lubricating oils based on chemically modified vegetable oils”, Journal of Synthetic Lubrication, 291.
- [3] Belluco, W. and Chiffre, L., D., 2004., “Performance evaluation of vegetable-based oils in drilling austenitic stainless steel”, Journal of Materials Processing Technology, 148, 171-176.
- [4] Khan, M.M.A. and Dhar, N.R., 2006., “Performance evaluation of minimum quantity lubrication by