

Ramazan Hakkı Namlu\* 

ATILIM Üniversitesi  
İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara

Sadık Engin Kılıç 

ATILIM Üniversitesi  
İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara

Bahram Lotfi Sadigh 

ATILIM Üniversitesi  
İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara

#### Makale Bilgisi:

Araştırma Makalesi

Gönderilme: 22-01-2020

Kabul: 22-02-2020

\*Sorumlu Yazar: Ramazan Hakkı Namlu

Email: ramazan.namlu@atilim.edu.tr

# Minimum Miktar Yağlama Tekniğinin Ti-6Al-4V Alaşımının Kaba İşlenmesinde Kesme Kuvvetlerine Etkisinin İncelenmesi

*Ti-6Al-4V havacılık başta olmak üzere birçok sanayi sektöründe oldukça yaygın olarak kullanılan bir titanyum alaşımıdır. Bu çalışmada Ti-6Al-4V'nin kaba işlenmesinde yeni bir soğutma tekniği olan Minimum Miktar Yağlama (MMY)'nin kesme kuvvetlerine olan etkisi araştırılmıştır. Farklı kesme parametreleri ve soğutucu koşullarında yapılan deneyler sonucunda Ti-6Al-4V'nin kaba işlenmesinde MMY kullanımının kesme kuvvetlerini düşürerek operasyon esnasında gerekli olan enerjiyi azalttığı ve bu sayede operasyon verimliliğini arttırdığı görülmüştür.*

*Anahtar Kelimeler: Ti-6Al-4V, Kaba İşleme, Kesme Kuvvetleri, Minimum Miktar Yağlama*

## GİRİŞ

Ti-6Al-4V malzemesi sahip olduğu yüksek mukavemet/ağırlık oranı, iyi korozyon direnci ve yüksek kırılma tokluğu gibi üstün özelliklerinden dolayı havacılık başta olmak üzere medikal, otomotiv, nükleer sektörlerinde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu sektörlerde talaşlı imalat önemli bir üretim yöntemidir. Sanayide işleme genellikle kaba işleme ve hassas işleme olarak ikiye ayrılmaktadır. Kaba işlemede mümkün olan en yüksek malzeme kaldırma oranının en verimli şekilde elde edilmesi amaçlanırken hassas işlemede mümkün olan en düşük tolerans aralığında ve en iyi yüzey kalitesiyle üretim yapmak amaçlanmaktadır. Ancak Ti-6Al-4V'nin yüksek aşınma direnci ve buna bağlı yüksek takım aşınması ayrıca düşük termal iletkenlik özelliklerinden dolayı bu malzemenin işlenmesi geleneksel işleme yöntemleri ile oldukça zordur. Bu nedenle Ti-6Al-4V'nin işlenmesini kolaylaştırmaya yönelik birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları soğutma tekniklerini geliştirmeye yöneliktir ve bunlardan biri de oldukça yeni bir soğutma tekniği olan Minimum Miktar Yağlama (MMY) yöntemidir. MMY geleneksel soğutma yöntemlerine göre çok daha az kesme sıvısı

kullanımı, daha etkin yağlama kapasitesi ve daha çevreci bir teknik olması gibi birçok avantaja sahiptir [1].

MMY yöntemi düşük miktarda kesme sıvısı kullanarak gerçekleştirilir. Basınçlı hava ile birleşen kesme sıvısı aerosol formunda şekil değiştirme bölgesine püskürtülür ve aerosol form sıvı forma göre bu bölgeye daha etkin şekilde nüfuz edebilir. Bu sayede kesme sıvısı kesici takım ve iş parçası arasında daha yüksek bir yağlama bölgesi elde edilerek yağlama kapasitesi artırılabilir. Ayrıca yüksek basınçla püskürtülmesinden dolayı cebri konveksiyon ile kesme bölgesinin sıcaklığı da düşürülebilir [1]. MMY'nin yağ tüketimi 2-500 mL/s arasında değişmektedir [1]. Bu miktar, ortalama tüketim oranının yaklaşık 1200 l/s olduğu geleneksel soğutma yöntemlerine kıyasla çok düşüktür [2]. Bu düşük oran operasyon maliyetini ciddi ölçüde azaltmaktadır. Geleneksel kesme sıvılarında kullanılan birçok bileşen operasyon esnasındaki yüksek tüketim nedeniyle insan sağlığını ve çevreyi tehdit etmektedir. MMY'nin düşük tüketimi sayesinde, kullanılan bileşenlerin operasyonu yürüten çalışanın sağlığına olumsuz etkisini ve çevreye olan zararlı etkileri minimuma indirilmesi söz konusudur.

Kullanılan havanın basıncı 2 bar ila 8 bar arasında değişmekte olup, kesme parametrelerin seçimine göre değişebilmektedir[1]. MMY sistemlerinde işlenecek malzemeye ve işleme operasyonuna göre çeşitli yağlar kullanılabilir. En yaygın olarak kullanılan yağlar sentetik ve bitkisel yağlardır. Sentetik yağlar ester bazlı yağlar gibi yağlama etkisinin yüksek olması istenilen yağlar olabileceği gibi alkol bazlı düşük buharlaşma sıcaklığı özelliği ile soğutmaya daha çok ihtiyaç duyulan operasyonlarda kullanılabilen yağlar olabilir. Bitkisel yağlar ise daha çevreci ve insan sağlığına olumsuz etkisinin

düşük olması gibi özellikleri ile ön plana çıkarken, performans olarak da yine geleneksel kesme sıvılarına göre daha başarılı sonuçlar vermektedir [1]. MMY'nin işleme performansına etkisi ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Okonkwo ve diğ.[3] MMY yönteminin Al6061 malzemesinin frezelemesinde yüzey pürüzlülüğünün kuru kesme koşuluna göre %20 daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir. Li ve diğ.[4] MMY'nin mikro işlemede yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde azalttığını, takım ömrünü arttırdığını ve çapak oluşumunu azalttığını gözlemlemiştir. Kishawy ve diğ.[5] MMY'nin yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve kesme kuvveti açısından geleneksel kesme sıvısı ile işlemeye benzer sonuçlar gösterdiğini gözlemlemiştir, ancak MMY'nin düşük miktar tüketimi ve çevreye daha az zarar vermesi göz önüne alındığında daha etkili bir yöntem olduğu görülmüştür. Heinemann ve diğ.[6] delik delme işleminde MMY'nin sürekli uygulanması ile kesici takım ömrünün arttırılabileceğini göstermiştir. Li ve diğ.[7] mikro taşlamada MMY ile yüzey pürüzlülüğünde kayda değer bir azalma ve takım ömründe kayda değer bir iyileşme olduğunu gözlemlemiştirler. Kang ve diğ.[8] MMY ile yapılan yüksek hızlı kenar frezelemesinde olağanüstü bir kesme performansı sunduğunu ve tüm geleneksel kesme sıvısı, kuru ve MMY soğutma koşulları arasında en düşük serbest yüzey aşınmasını MMY'de kaydettiklerini bildirmişlerdir. Namlu ve diğ.[9] Al 6061 malzemesi üzerindeki MMY tekniğinin kesme performansını incelemiştirler, sonuçlar kesme kuvvetlerinin ve yüzey pürüzlülüğünün tüm ilerleme ve kesme hızlarında kuru ve geleneksel kesme sıvısı ile kesimlerden daha düşük olduğunu göstermiştir. Liu ve diğ.[10] Ti-6Al-4V malzemesinin frezelemesinde MMY parametrelerinin etkisini incelemiştir ve en uygun püskürtme basıncın 6 bar, en etkili püskürtme açısının ise  $135^{\circ}$  bulmuştur. Bununla birlikte Ti-6Al-4V'nin frezelemesi esnasında değişen kesme hızı ve ilerleme gibi kesme parametreleri de kesme performansını etkilemektedir [11].

Literatürde görüldüğü üzere yapılan araştırmalarda MMY tekniğinin işleme performansına olumlu etkilerinin olduğu bildirilmiştir. Ancak MMY tekniğinin Ti-6Al-4V malzemesinin frezelemesindeki kesme kuvvetlerine etkisi ile ilgili çalışmalar oldukça azdır. Ayrıca yine bu konuda sanayide çokça kullanılan kaba işleme ile ilgili hiçbir çalışma olmadığı görülmektedir, kaba işlemede yüksek malzeme kaldırma oranından dolayı kesme kuvvetleri de yükselmekte bu da enerji tüketimini arttırmaktadır, bu nedenle kaba işlemede kesme kuvvetlerinin azaltılması enerji tüketimini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu çalışmada Ti-6Al-4V malzemesinin frezelemesindeki kaba işlemede MMY tekniğinin kesme kuvvetlerine etkisi incelenmiş ve literatürdeki bu boşluğun doldurulması amaçlanmıştır.

## MALZEME VE YÖNTEM

Deneylerinde kullanılan iş parçası Ti-6Al-4V Derece 5'tir. Alfa fazını stabilize eden alüminyum ve beta fazını stabilize eden vanadyum içeren bir alfa-beta titanyum alaşımıdır. Kimyasal içerik oranları ve fiziksel özellikleri sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir [12]. Deneyler Atılım Üniversitesi İmalat Mühendisliği bölümünün imalat laboratuvarında yapılmıştır. Deney numunesinin ölçüleri  $80mm \times 60mm \times 70mm$ 'dir. Toplam 12 deney yapılmıştır, deney koşulları Tablo 3'te görülebilir. Kaba işleme tekniğinin incelenmesi açısından kesme derinliği 3 mm olarak belirlenmiştir. Bütün deneyler VTEC marka 4 eksenli CNC dik işleme merkezinde otomatik olarak yapılmıştır, kesme düzeneği Şekil 1'de görülebilir. Frezeleme işlemleri sırasındaki kuvvetleri ölçmek için Kistler marka 9265B model dinamometre kullanılmıştır. Numune, fikstürlerle birlikte dinamometreye yerleştirilmiştir. Deneyler esnasında dinamometreden gelen sinyaller öncelikle bir yük yükselticisine iletilmiş orada yükseltilecek sinyaller bilgisayara aktarılmak üzere bir veri toplama cihazına iletilmiştir, daha sonra bilgisayarda kurulu olan DynoWare yazılımı ile veri toplama cihazından gelen sinyallerle kesme kuvvetlerinin değerleri alınmış ve kaydedilmiştir, dinamometre sistemi Şekil 2'de verilmiştir. Deneylerde STOCK marka 64551 kodlu TiAlN kaplamalı 10mm çapında 4 kesme ağızlı karbür parmak freze kullanılmıştır. Farklı ilerleme ve kesme hızlarında yapılan deneyler ayrıca kuru kesme ve MMY koşulları altında yapılmıştır. Kullanılan MMY sisteminin bilgileri Tablo 4'te verilmiştir. MMY sisteminde kullanılan yağ ester bazlı Samnos ZM-22W'dur ve sulu polialkilen-glikol çözeltisi içermektedir [13].

Tablo 1. Ti-6Al-4V'nin Kimyasal Bileşen Oranları

Bileşen	Oran %
Al	6
Fe (Enb.)	0,25
O	Max 0,2
Ti	90
V	4

Tablo 2. Ti-6Al-4V'nin Fiziksel Özellikleri

Özellik	Ortalama Değer
Özkütle ( $g/cm^3$ )	4,42
Erime Sıcaklığı ( $^{\circ}C \pm 15^{\circ}C$ )	1649
Özgül Isı ( $J/kg \cdot ^{\circ}C$ )	560
Termal İletkenlik ( $W/m \cdot K$ )	7,2

Tablo 3. Deney Koşulları

Deney Numarası	Mil Hızı (dev/dk)   Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme (mm/diş)	Soğutma Koşulu	
			Kuru	MMY
1	1500   47	0,03	Kuru	MMY
2		0,04	Kuru	MMY
3		0,05	Kuru	MMY
4	2500   78	0,03	Kuru	MMY
5		0,04	Kuru	MMY
6		0,05	Kuru	MMY

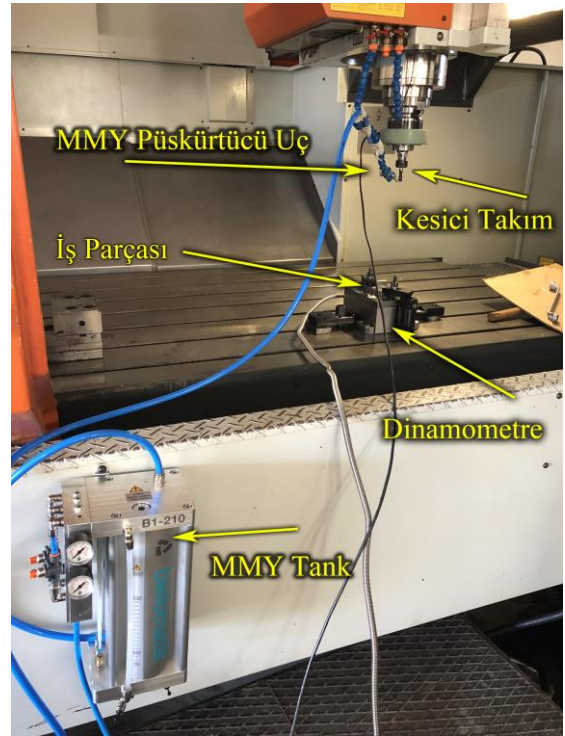
Tablo 4. MMY Sisteminin Özellikleri

Özellik	Değer
Tank Kapasitesi	1,8 lt
Hava Basıncı	5-10 bar
Kalibrasyon	Manuel
Çıkış Opsiyonları	Basınç regülatörlü iki parça
Çalıştırma	Selenoid Valf
Basınç Göstermesi	Manometre
Boyut	460x290x170mm

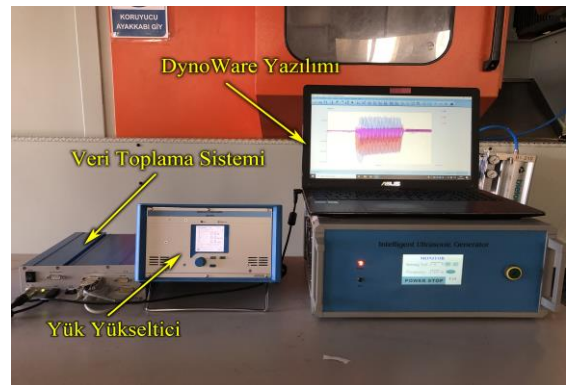
## TARTIŞMA

MMY kullanımının kesme kuvvetleri üzerindeki etkisini araştırmak için kuru ve MMY koşullarında deneyler yapılmıştır. Deneylerden elde edilen kesme kuvvetleri Tablo 5'te görülebilir. Deneylerdeki parametreler ayrıca ilerleme ve kesme hızının, soğutma tekniği ile birlikte kesme kuvvetleri açısından en uygun kombinasyonunu bulmak için kesici takım üreticisinin önerdiği katalog

değerlerinden seçilmiştir [14]. Kesme kuvvetlerinin, MMY kullanılan tüm deneylerde Şekil 3'te görüldüğü üzere azaldığı gözlemlenmiştir. Kesme kuvvetlerindeki en büyük azalış %18,19 ile 78,5 m/dakika kesme hızı ve 0,05 mm/diş ilerlemede yapılan deneylerde olduğu görülmüştür. MMY kullanımına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin azalmasındaki en büyük farklılıklar 0,05 mm/diş ilerlemede kaydedilmiştir. Farklı kesme hızları ve ilerlemelerdeki kesme kuvveti farklılıkları Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 1. Deney Düzeneği



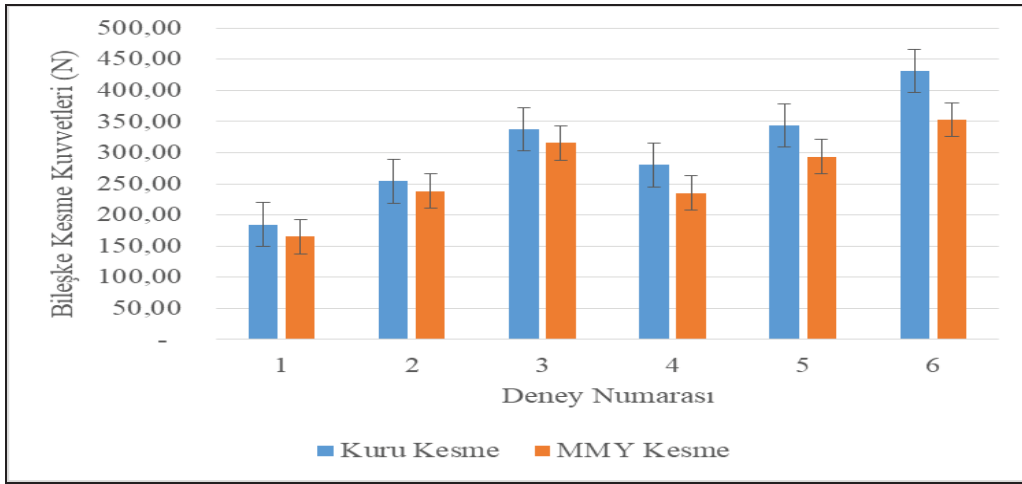
Şekil 2. Dinamometre Sistemi

Elde edilen sonuçlar şu şekilde açıklanabilir; MMY kullanıldığında, püskürtülen aerosol kesme bölgesine çok detaylı bir şekilde nüfuz etmekte ve yüksek yağlayıcı özelliğinden dolayı kesici takım ile iş parçası arasındaki sürtünmeyi azaltmaktadır. Öte

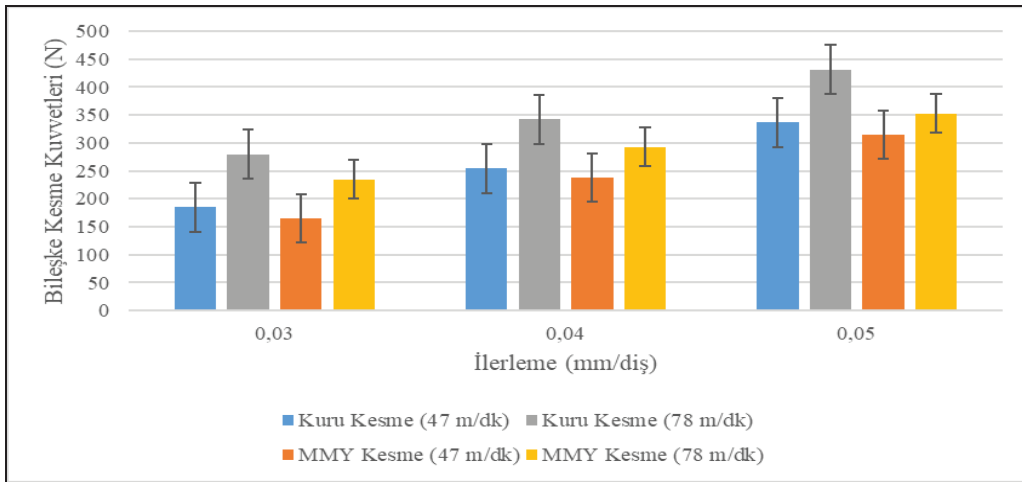
yandan, kullanılan ester bazlı yağ düşük buharlaşma sıcaklığına sahip olmasından dolayı, kesme bölgesinde biriken ısıyı ani buharlaşma yoluyla ortamdaki uzaklaştırmaktadır. Ti-6Al-4V'nin düşük termal iletkenlik özelliği nedeniyle, iş parçası üzerinde değil de kesici takım üzerinde biriken ısı böylece ortamdaki uzaklaştırılmaktadır ve kesici takımın zarar görmesi önlenmektedir. Bu sayede daha az aşınan takım keskinliğini kaybetmeyerek daha kolay talaş kaldırmakta ve kesme kuvvetleri de böylelikle azalmaktadır. Deneylerden çıkarılabilen bir başka sonuç, soğutma ortamına ve kesme hızına bakılmaksızın artan ilerleme ile kesme kuvvetlerinin de artmasıdır. İlerleme arttıkça kesici takımın kaldırması gereken malzeme miktarı da artan talaş kalınlığı ile birlikte artmaktadır.

Bu artış kesici takım ve iş parçası arasındaki temas alanını arttıracak için sürtünmenin de

artmasına neden olmaktadır, artan sürtünme ile birlikte kesme kuvvetleri de artmaktadır. Ayrıca kesme hızının artmasının da diğer değişkenlerden bağımsız olarak kesme kuvvetini arttırdığı gözlemlenmiştir. Kesme hızı arttıkça, kesme bölgesindeki sıcaklığın artan sürtünme nedeniyle arttığı bilinmektedir. Ti-6Al-4V malzemesinin düşük termal iletkenliği nedeniyle artan ısı kesme bölgesi dışına yayılamamaktadır ve talaşla birlikte atılamamaktadır. Kesme bölgesinde biriken ısı giderilemediğinden, bu ısı kesici takımın ve iş parçasının kesilmemiş yüzeyinde birikmektedir. İş parçasının kesilmemiş yüzeyinde biriken ısı nedeniyle, malzeme talaş sertleşmesine maruz kalmakta, bu da malzemenin yüzeyinden talaşların kaldırılmasını zorlaştırarak kesme kuvvetlerini arttırmaktadır. Bu sonuçlar literatürdeki çeşitli çalışmalarla desteklenmiştir [15], [16].



Şekil 3. MMY kullanımının kesme kuvvetlerine etkisi



Şekil 4. Kesme parametrelerinin kesme kuvvetine etkisi

Tablo 5. Deneylerden elde edilen kesme kuvvetleri

Mil Hızı (dev/dk)   Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme (mm/diş)	Kuru Kesme (N)	MMY Kesme (N)
1500   47	0,03	185	165
	0,04	254	238
	0,05	337	315
2500   78	0,03	280	235
	0,04	342	293
	0,05	431	353

## SONUÇLAR

Ti-6Al-4V malzemesinin kaba işlemeli frezelemede MMY tekniğinin kesme kuvvetleri üzerine incelenmesi için yapılan deneyler başarı ile sonuçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir,

- MMY kullanımı bütün deneylerde kesme kuvvetlerini azaltmıştır.
- Kaba işlemede kesme kuvvetlerinin azalması, operasyon için gerekli enerjiyi azaltacağı için MMY tekniğinin kullanımının kesme performansını arttırabileceği görülmüştür.
- İlerleme ve kesme hızı arttıkça soğutma tekniğine bakılmaksızın kesme kuvvetlerinin de arttığı gözlemlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar oldukça olumlu olup ileriki çalışmalar için de gelecek vaat etmektedir. MMY tekniğinin de farklı parametreleri denenerek en uygun koşullar bulunabilir, ayrıca farklı malzemede MMY kullanımının etkisi araştırılabilir.

## INVESTIGATION OF THE EFFECT OF MINIMUM QUANTITY LUBRICATION TECHNIQUE ON CUTTING FORCES OF ROUGH MACHINING OF Ti-6Al-4V ALLOY

Ti-6Al-4V is a titanium alloy that is widely used in many industries, especially in aviation. In this study, the effect of Minimum Quantity Lubrication (MQL), which is a new cooling technique in the rough machining of Ti-6Al-4V, on cutting forces is investigated. As a result of the experiments carried out under different cutting parameters and coolant conditions, it was observed that the use of MQL in the rough machining of Ti-6Al-4V reduces the energy required during the operation by reducing the cutting forces, thereby increasing the operational efficiency.

**Keywords:** Ti-6Al-4V, Rough Machining, Cutting Forces, Minimum Quantity Lubrication

## TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışmayı ATÜ-BAD-1819-02 proje koduyla destekleyen Atılım Üniversitesi'ne ve malzeme temininden dolayı Alp Havacılık'a teşekkürlerini sunar.

## KAYNAKÇA

1. H. Tschätsch, A. Reichelt, "Cutting fluids (coolants and lubricants)", in Applied Machining Technology, Ed. Berlin Heidelberg: Springer, 2009, pp. 349-352
2. B. L. Tai, D. A. Stephenson, R. J. Furness, A. J. Shih, "Minimum Quantity Lubrication (MQL) in Automotive Powertrain Machining", Procedia CIRP, Vol: 14, pp. 523-528, 2014.
3. U.C. Okonkwo, I.P. Okokpuije, J.E. Sinebe, C.A.K. Ezugwu, "Comparative analysis of aluminium surface roughness in end-milling under dry and minimum quantity lubrication (MQL) conditions", International Journal of Automotive and Mechanical Engineering, Vol: 11, pp. 2771-2785, 2015
4. K.M. Li, S.Y. Chou, "Experimental evaluation of minimum quantity lubrication in near micro-milling", Journal of Materials Processing Technology, Vol: 210, pp. 2163-2170, 2010
5. H. A. Kishawy, M. Dumitrescu, E.G. Ng, M.A. Elbestawi, "Effect of coolant strategy on tool performance, chip morphology and surface quality during high-speed machining of A356 aluminium alloy", International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol: 45, pp. 219-227, 2005
6. R. Heinemann, S. Hinduja, G. Barrow, G. Petuelli, "Effect of MQL on the tool life of small twist in deep-hole drilling", International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol:46, 1-6, 2006
7. K.M. Li, C.P. Lin, "Study on minimum quantity lubrication in micro-grinding", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol: 62, 99-105, 2012
8. M.C. Kang, K.H. Kim, S.H. Shin, S.H. Jang, J.H. Park, C. Kim, "Effect of the minimum quantity lubrication in high speed end milling of AISI D2 coldworked die steel (62

- HRC) by coated carbide tools”, Surface Coating Technology, Vol: 202, 5621-5624, 2008
9. R. H. Namlu, O. D. Yılmaz, S. E. Kilic, B. Cetin, Investigating The Effect Of Cutting Conditions On Machining Performance Of Al 6061-T6 Alloy, In 10th International Congress On Machining, 2019, pp. 293-304
  10. Z. Q. Liu, X. J. Cai, M. Chen, Q. L. An, “Investigation of cutting force and temperature of end-milling Ti-6Al-4V with different minimum quantity lubrication (MQL) parameters”, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, Vol: 225, pp. 1273–1279, 2011
  11. R. H. Namlu, O. D. Yılmaz, C. Şimşir, Investigating the effect of milling parameters on residual stresses of Ti-6Al-4V, In The 18th International Conference on Machine Design and Production, 2018, pp. 375-383
  12. R. Boyer, G. Welsch, and E. W. Collings, Materials Properties Handbook: Titanium Alloys, ASM International, Materials Park, OH, 1994
  13. Internet:<https://www.hpntechnologie.de/de/schmierstoffe/samnos.html> Erişim Tarihi:[19.12.2019]
  14. Internet:[https://www.stock.de/pdf/Fräswerkzeuge\\_VHM%20Schafftfräser\\_Standard\\_Schafftfräser\\_EN.pdf](https://www.stock.de/pdf/Fräswerkzeuge_VHM%20Schafftfräser_Standard_Schafftfräser_EN.pdf) [18.02.2020]
  15. J. Hou, W. Zhou, H. Duan, G. Yang, H. Xu, N. Zhao “Influence of cutting speed on cutting force, flank temperature, and tool wear in end milling of Ti-6Al-4V alloy”, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol: 70, pp. 1835–1845, 2014
  16. C.L. Veiga, J.P. Davim, “Review on Machinability of Titanium Alloys: The Process Perspective”, Reviews of Advanced Materials Science, Vol: 3, pp. 148-164, 2013