



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AISI 4140 MALZEMESİNİN
TORNALANMASINDA MİNİMUM
MİKTARDA YAĞLAMA (MQL)
KULLANIMININ İŞLENEBİLİRLİK ÜZERİNE
ETKİSİ

Yunus Emre GÖNÜLAÇAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

MAYIS-2018
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Yunus Emre GÖNÜLAÇAR tarafından hazırlanan "AISI 4140 Malzemesinin Tornalanmasında Minimum Miktarda Yağlama (MQL) Kullanımının İşlenebilirlik Üzerine Etkisi" adlı tez çalışması 28/05/2018 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan
Doç. Dr. Gül TOSUN



Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin GÜRBÜZ



Üye
Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK



Yukarıdaki sonucu onaylarım.



Doç. Dr. Bahattin İŞCAN
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BTÜBAP) tarafından 2017-Yükseklisans-2 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all materials and results that are not original to this work.

Yunus Emre GÖNÜLAÇAR

Tarih: 28.05.2018

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AISI 4140 MALZEMESİNİN TORNALANMASINDA MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA (MQL) KULLANIMININ İŞLENEBİLİRLİK ÜZERİNE ETKİSİ

Yunus Emre GÖNÜLAÇAR

**Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin GÜRBÜZ

2018, 62 Sayfa

Jüri

**Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin GÜRBÜZ
Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK
Doç. Dr. Gül TOSUN**

İmalat işlemlerinde kesici takım ömrünü uzatmak, yüzey kalitesini ve boyut doğruluğunu iyileştirmek için kesme sıvılarının kullanılması yaygın bir yöntemdir. Kesme sıvıları ayrıca talaş kırma ve talaş tahliyesini kolaylaştırmaktadır. Bununla birlikte, kesme sıvılarının aşırı kullanımı çevreye ve insan sağlığına zarar vermekte aynı zamanda toplam üretim maliyetini de önemli ölçüde artırmaktadır. Dolayısıyla, geleneksel kesme sıvılarına alternatif yöntemler belirleme, ihtiyaç olarak ortaya çıkmaktadır. Minimum miktarda yağlama (MQL) gibi teknikler uygulanarak kesme sıvısı tüketimi ve üretim maliyeti azaltılabilmektedir. MQL yöntemi kesme bölgesinde kesici takım ve iş parçasını soğutarak kesici takım ömrünü ve yüzey kalitesini artırmakta aynı zamanda basınçlı hava özelliği aracılığıyla da çıkan talaşları uzaklaştırarak kesme bölgesinde oluşan ısının azalmasına yardımcı olmaktadır.

Bu çalışmada, AISI 4140 malzemesinin tornalanmasında MQL kullanımının işlenebilirlik üzerine etkilerini inceleme amaçlanmıştır. Bu doğrultuda farklı işleme şartlarında ve kesme parametrelerinde işleme ve kesici takım aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. İşleme şartları kuru işleme, ıslak işleme ve üç farklı MQL debisi olarak belirlenmiş ve işlenebilirlik kriterleri kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve kesici takım aşınması açısından değerlendirilmiştir. İşleme deneylerinde kesme parametreleri olarak dört farklı kesme hızı (75, 100, 125, 150 m/dk), üç farklı ilerleme (0.16, 0.25, 0.5 mm/dev) ve sabit kesme derinliği (2.5 mm) kullanılırken kesici takım aşınması deneylerinde ise sabit kesme hızı (125 m/dk), ilerleme (0.16 mm/dev) ve kesme derinliği (2.5 mm) kullanılmıştır. Deneyler sonucunda MQL uygulamasının kuru ve ıslak işlemeye göre esas kesme kuvvetlerini genel olarak azalttığı ve MQL debi artışının esas kesme kuvvetlerini belirli bir yere kadar olumlu etkilediği tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünde en düşük değerlerin genel olarak MQL uygulaması ile elde edildiği ve MQL debi artışına göre yüzey pürüzlülüğü değerlerinde düzenli bir eğilim olmadığı görülmüştür. Kesici takım ortalama yan yüzey aşınmasının MQL uygulaması ile kuru ve geleneksel ıslak işlemeye göre azaldığı ve MQL debi artışından olumlu etkilendiği belirlenmiştir. Ayrıca tüm işleme koşullarında esas kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünün ilerleme ile arttığı ve kesme hızı ile genel olarak azaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Minimum miktarda yağlama (MQL), Kesme kuvvetleri, Yüzey pürüzlülüğü, Kesici takım aşınması, Tornalama

ABSTRACT

MS THESIS

EFFECTS OF MINIMUM QUANTITY LUBRICATION (MQL) USAGE ON MACHINABILITY IN TURNING OF AISI 4140 MATERIAL

Yunus Emre GÖNÜLAÇAR

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Hüseyin GÜRBÜZ

2018, 62 Pages

Jury

**Asst. Prof. Dr. Hüseyin GÜRBÜZ
Assoc. Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK
Assoc. Prof. Dr. Gül TOSUN**

Using cutting fluids is a common method in manufacturing processes to extend the tool life, improve surface quality and dimensional accuracy. Cutting fluids also facilitate chip breaking and chip transfer. However, excessive use of cutting fluids damages environment and human health and it also significantly increases the total production cost. Thus, it is necessary to identify alternative methods to conventional cutting fluids. By applying techniques such as minimum quantity lubrication (MQL), consumption of cutting fluids and production costs can be reduced. MQL method enhances the cutting tool life and surface quality by cooling cutting tool and workpiece in cutting area and it also helps temperature decrease in the cutting area by moving away chips through its compressed air property.

In this study, it is aimed to examine the effects of MQL usage on machinability in turning of material AISI 4140. Therefore, machining and tool wear experiments were performed on different machining conditions and cutting parameters. The machining conditions were determined as dry machining, wet machining and three different MQL flow rates and machinability criteria were evaluated in terms of cutting forces, tool wear and surface roughness. Four different cutting speeds (75, 100, 125, 150 m/min), three different feeds (0.16, 0.25, 0.5 mm/rev) and constant depth of cut (2.5 mm) were used as cutting parameters in machining experiments while constant cutting speed (125 m/min), feed (0.16 mm/rev) and depth of cut (2.5 mm) were used in tool wear experiments. As a result of the experiments, it was determined that the MQL application generally reduced the main cutting forces according to the dry and wet machining and the increase in MQL flow rate had a positive effect on the main cutting forces to a certain level. It was seen that the lowest values in surface roughness were generally obtained by MQL application and there was no regular trend in surface roughness values according to MQL flow rate increase. It was determined that the average flank wear of the cutting tool decreased with MQL application in comparison to dry and conventional wet machining and positively affected by MQL flow rate increase. It was also seen that the main cutting force and surface roughness increased with the feed and generally decreased with the cutting speed in all machining conditions.

Keywords: Minimum Quantity Lubrication (MQL), Cutting forces, Surface roughness, Tool wear, Turning

TEŞEKKÜR

Tüm Yüksek Lisans alıőmam boyunca bana yol gösteren, takıldığım konularda özömlere ulaşmam için değerli bilgilerini esirgemeyen değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin GÜRBÜZ ve hocam Dr. Öğr. Üyesi Şehmus BADAY'a, deneylerin yapımında gösterdikleri yardımlardan dolayı Prof. Dr. Ulvi ŞEKER, Prof. Dr. İhsan KORKUT ve Arş Gör. Dr. Gültekin UZUN'a, bu alıőmayı maddi olarak 2017-Yükseklisans-2 nolu proje ile destekleyen Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne, tüm eğitim hayatım boyunca bana ok değerli bilgiler kazandıran tüm hocalarıma ve desteklerini esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Yunus Emre GÖNÜLAÇAR
BATMAN-2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
SİMGELER.....	xii
KISALTMALAR	xiii
1.GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. GENEL BİLGİLER.....	13
3.1. AISI 4140 Çeliği	13
3.2.Tornalama	13
3.3. İşlenebilirlik	15
3.4. Kesme Kuvvetleri	15
3.5. Yüzey Pürüzlülüğü	16
3.5.1. İdeal yüzey pürüzlülüğü.....	16
3.5.2. Gerçek yüzey pürüzlülüğü	17
3.5.3. Yüzey pürüzlülük parametreleri	17
3.5.4. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler.....	18
3.6. Kesici Takım Aşınması.....	19
3.6.1. Kesici takım aşınma mekanizmaları	19
3.6.2. Kesici takım aşınma çeşitleri	20
3.7. Kesme Sıvıları.....	26
3.7.1. Kesme sıvılarının görevleri.....	27
3.7.2. Kesme sıvılarının insan ve çevre sağlığına etkileri	27
3.8. Minimum Miktarda Yağlama	27
3.8.1. Harici (dıştan) MQL sistemi	28
3.8.2. Dahili (içten) MQL sistemi.....	29
3.8.3. Minimum miktarda yağlama tekniğinin avantajları.....	29
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	31
4.1. İş Parçası Malzemesi	31
4.2. Takım Tezgahı	31
4.3. Kesici Takımlar ve Takım Tutucu	32
4.4. Kesme Parametreleri.....	32
4.5. Geleneksel Soğutma Sıvısı	33
4.6. Minimum Miktarda Yağlama	33

4.7. MQL Debinin Belirlenmesi.....	34
4.8. Kesme Kuvvetlerinin Ölçümü	34
4.9. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçümü.....	36
4.10. Kesici Takım Aşınmasının Ölçümü.....	37
4.11. Deney Şeması	38
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	40
5.1. Esas Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi	40
5.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi.....	43
5.3. Kesici Takım Aşınmasının Değerlendirilmesi.....	47
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	55
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	62

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. İş parçası malzemesinin kimyasal bileşimi ve sertlik değeri	31
Çizelge 4.2. JohnFord TC35 CNC torna tezgahının özellikleri	32
Çizelge 4.3. İşleme deneylerinde kullanılan parametreler	33
Çizelge 4.4. Lubrioil yağın özellikleri.....	34
Çizelge 4.5. KISTLER 9257B tipi dinamometrenin özellikleri	35
Çizelge 4.6. Mahr Perthometer-M1 ölçüm cihazının özellikleri	37



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Tornalama işlemi.....	14
Şekil 3.2. Kesme parametrelerinin tornalama işleminde gösterimi.....	14
Şekil 3.3. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri.....	16
Şekil 3.4. Örnekleme uzunluğu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu.....	17
Şekil 3.5. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiksel ifadesi.....	18
Şekil 3.6. Profil ve genlik dağılım eğrisi.....	18
Şekil 3.7. Serbest yüzey aşınması.....	21
Şekil 3.8. Serbest yüzey aşınmasının zamana göre değişimi.....	21
Şekil 3.9. Krater aşınması.....	22
Şekil 3.10. Çentik aşınması.....	22
Şekil 3.11. Uç kavsi aşınması.....	23
Şekil 3.12. Isıl ve mekanik çatlaklar.....	23
Şekil 3.13. Ağız birikintisi oluşumu (BUE).....	24
Şekil 3.14. Plastik deformasyon.....	24
Şekil 3.15. Kenar çentiklenmesi.....	25
Şekil 3.16. Talaş vurma.....	25
Şekil 3.17. Uç kırılması.....	26
Şekil 3.18. Minimum miktarda yağlamada dıştan ve içten püskürtme.....	28
Şekil 4.1. JohnFord TC35 CNC torna iç ünitesi.....	31
Şekil 4.2. (a) SNMG 120408MS kesici uç, (b) PSBNR 2525M12 takım tutucu.....	32
Şekil 4.3. UFB20 Basic MQL sistemi.....	33
Şekil 4.4. MQL debilerinin belirlenmesi.....	34
Şekil 4.5. Tornalama işleminde esas kesme kuvveti ölçümü için kullanılan ekipmanların gösterimi.....	36
Şekil 4.6. Dynoware programı ile esas kesme kuvvetlerinin ölçülmesi.....	36
Şekil 4.7. Mahr Perthometer-M1 ölçüm cihazı.....	37
Şekil 4.8. Mitutoyo TM optik mikroskobu.....	38
Şekil 4.9. JEOL JSM-6060LV SEM cihazı.....	38
Şekil 4.10. Deney şeması.....	39

Şekil 5.1. Farklı kesme hızlarında ilerleme oranı ve işleme koşullarının esas kesme kuvvetine etkisi	41
Şekil 5.2. Farklı ilerleme oranlarında kesme hızı ve işleme koşullarının esas kesme kuvvetine etkisi	42
Şekil 5.3. Farklı kesme hızlarında ilerleme oranı ve işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi.....	44
Şekil 5.4. Farklı ilerleme oranlarında kesme hızı ve işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi.....	45
Şekil 5.5. Farklı işleme şartlarında oluşan uzun formulu talaş tiplerinin iş parçasını sarma görüntüsü	46
Şekil 5.6. Kuru işlemede talaş kaldırma hacmine göre optik mikroskop görüntülerinden V_B ölçümü.....	47
Şekil 5.7. Islak işlemede talaş kaldırma hacmine göre optik mikroskop görüntülerinden V_B ölçümü	48
Şekil 5.8. 0.35 ml/dk debide talaş kaldırma hacmine göre optik mikroskop görüntülerinden V_B ölçümü.....	49
Şekil 5.9. 0.8 ml/dk debide talaş kaldırma hacmine göre optik mikroskop görüntülerinden V_B ölçümü	50
Şekil 5.10. 1.7 ml/dk debide talaş kaldırma hacmine göre optik mikroskop görüntülerinden V_B ölçümü	51
Şekil 5.11. İşleme koşulları ve talaş kaldırma hacmine göre V_B değerlerinin değişimi.	52
Şekil 5.12. İşleme koşullarına göre kesici takım uçlarının SEM görüntüleri.....	53
Şekil 5.13. MQL debilerine göre kesici takım uçlarının SEM görüntüleri	54

SİMGELER

a	: Kesme derinliği (mm)
Al	: Alüminyum
C	: Karbon
Cr	: Krom
f	: İlerleme (mm/dev)
Fc	: Esas kesme kuvveti (N)
Ff	: İlerleme kuvveti (N)
Fp	: Pasif kuvvet (N)
Ra	: Ortalama yüzey pürüzlülüğü (μm)
Rq	: Kuadratik ortalama yüzey pürüzlülüğü (μm)
r_ε	: Kesici takım burun yarıçapı (mm)
MoS₂	: Molibden Disülfid
N	: Azot
Nb	: Niyobyum
Si	: Silisyum
Ti	: Titanyum
V	: Kesme hızı (m/dak)
V_B	: Kesici takım ortalama serbest (yan) yüzey aşınması
WS₂	: Tungsten disülfid
Q	: Debi

KISALTMALAR

AISI	: Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (American Iron and Steel Institute)
ANOVA	: Varyans Analizi Yöntemi
BUE	: Yığıntı Talaş Oluşumu (Built-up Edge)
CBN	: Kübik Bor Nitrit
CNC	: Bilgisayarlı Sayısal Denetim (Computer Numerical Control)
EN	: Avrupa Standartları (European Norm)
ISO	: Uluslararası Standartlar Teşkilatı (International Organization for Standardization)
MQL	: Minimum Miktarda Yağlama (Minimum Quantity Lubrication)
NDM	: Kuruya Yakın İşleme (Near-Dry Machining)
SDBS	: Sürfaktan Sodyum Dodesilbenzen Sülfonat
SEM	: Tarama Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscopy)

1.GİRİŞ

Talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan kesme sıvıları, kesici takım-iş parçası ve kesici takım-talaş arayüzlerini soğutmada ve imalat sırasında oluşan talaşları kesme bölgesinden uzaklaştırmada önemli bir rol oynamaktadır (Sharma ve ark., 2016; Abhang ve Hameedullah, 2010). Kesme sıvıları bu sayede, kesme bölgesindeki sıcaklık ve sürtünmeyi azaltarak kesici takım ömrünün uzamasına ve yüzey kalitesinin artmasına yardımcı olmaktadır (Yıldırım ve ark., 2016). Bu avantajlarından dolayı kesme sıvıları, talaşlı imalat işlemlerinde yaygın olarak kullanılsalar da neden oldukları çeşitli olumsuz etkiler nedeniyle son zamanlarda sorgulanmışlardır (Dhar ve ark., 2007). Çevre kirliliği, su kirliliği, atıklardan kaynaklanan toprak kirliliği gibi olumsuz etkilere sebep olduğundan ve operatör sağlığını da tehdit ettiğinden dolayı kesme sıvılarının uygulanması büyük bir sorun haline gelmiştir (Sayuti ve ark., 2014). Ayrıca yapılan birçok araştırmada, kesme sıvısı maliyetinin kesici takım ekipmanının maliyetinden daha yüksek olduğu belirtilmektedir. Dolayısıyla, talaşlı imalat işlemlerinde kesme sıvısının kullanımını en aza indirmek veya önlemek için bazı alternatifler aranmaktadır. Bu alternatiflerden bazıları, minimum miktarda yağlama (MQL) ve kuru işleme yöntemleridir (Dhar ve ark., 2007).

Kesme sıvısı kullanılmayan kuru işleme yöntemi kirliliği azalttığı için son zamanlarda popüler olmuştur. Ancak işlenmesi zor olan iş parçaları kuru işleme şartlarında işlenirken kesici takım ile iş parçası arasında daha fazla sürtünme ve yapışmaya neden olmakta ve bu da kesici takım aşınmasında artışa sebep olup daha fazla kesici takıma ve maliyet artışına yol açmaktadır (Wang ve ark., 2015). Dolayısıyla kuru işleme şartlarında kesme sıvısı tüketimi ortadan kaldırılırken kesici takım ve ürün kalitesi olumsuz yönde etkilenmektedir (Çakır ve ark., 2016). Bu noktada çok az miktarda kesme sıvısı kullanılan minimum miktarda yağlama (MQL) yöntemi ön plana çıkmaktadır (Dhar ve ark., 2007). Minimum miktarda yağlama (MQL), kesme sıvısı kullanımını azaltarak güvenli, çevresel ve ekonomik faydalar elde etmek için kullanılan ve tornalama, frezeleme ve delme gibi işlemlerde başarıyla uygulanan bir yöntemdir (Attanasio ve ark., 2006; Sarıkaya ve Güllü, 2014). Bu yöntemde, az miktarda bitkisel yağ veya biyolojik olarak parçalanabilir sentetik ester sıkıştırılmış hava yardımıyla kesme bölgesine püskürtülmektedir (Kamata ve Obikawa, 2007). Yağlama fonksiyonu yağ tarafından ve soğutma fonksiyonu basınçlı hava tarafından sağlanmaktadır (Hadad ve Sadeghi, 2013). Endüstriyel uygulamalarda yağ tüketimi genellikle 10-100 ml/s

aralığındadır (Kamata ve Obikawa, 2007). Bu küçük yağ miktarı, çoğu zaman kesici takım-talaş arayüzündeki sürtünmeyi önemli oranda azaltmak ve talaşın kesici takıma yapışmasını önlemek için yeterli olmaktadır (Diniz ve ark., 2003). Bu sayede kesici takım-talaş ve kesici takım-iş parçası etkileşimlerinde istenmeyen olumsuz değişiklikler meydana gelmemekte ve kesme bölgesinde oluşacak yüksek sıcaklıklar önlenmektedir. Böylece kesici takım aşınması azaltılarak iş parçası kalitesinin artması sağlanmaktadır (Sayuti ve ark., 2014). Üstelik bu az miktardaki geri dönüşümlü yağ sadece atık kirliliğini azaltmamakta, aynı zamanda işçi sağlığına da zarar vermemektedir (Wang ve ark., 2015). Ayrıca son yıllarda yapılan araştırmalar MQL yönteminin; kesici takım ömrünü uzatma, kesme kuvvetlerini ve kesme sıcaklığını düşürme ve yüzey kalitesini iyileştirme bakımından kuru ve geleneksel ıslak işlemeden daha iyi performans sağladığını göstermektedir (Elmunafi ve ark., 2015). Dolayısıyla, metal kesme endüstrisi için dünya çapındaki araştırmacılar tarafından MQL yöntemi denenip önerilmekte ve bu yöntemle ilgili çalışmalar halen devam etmektedir (Khalil ve ark., 2015).

Bu çalışmada, AISI 4140 malzemesinin tornalanmasında MQL kullanımının işlenebilirlik üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla farklı MQL debileri ve kesme parametreleri kullanılarak tornalama deneyleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar kuru işleme ve ıslak işleme ile karşılaştırılmıştır. İşlenebilirlik kriterleri açısından kesme kuvveti, kesici takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü dikkate alınmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

İmalat işlemlerinde kullanılan kesme sıvılarının neden olduğu olumsuz etkiler, araştırmacıları yeni tekniklere yöneltmiş ve özellikle son yıllarda MQL yöntemi ile ilgili birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde tez konusuyla ilgili geniş kapsamlı literatür araştırması yapılmıştır. Yapılan detaylı literatür araştırması aşağıda özetle verilmiştir.

Diniz ve arkadaşları (2003), AISI 52100 çeliğinin kübik bor nitrit (CBN) takımla işlenmesinde kuru işleme, ıslak işleme ve MQL uygulamasını karşılaştırmışlardır. Deneylerde farklı kesme hızı ile sabit ilerleme, kesme derinliği, MQL debisi ve basınç kullanmışlardır. Sonuç olarak kesici takım aşınması açısından MQL ile kuru kesmenin benzer ve ıslak işlemeden daha düşük değerler verdiğini ve MQL'nin yüzey pürüzlülüğü açısından kuru ve ıslak işlemeye yakın sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca kullandıkları üç farklı MQL debisi ile hem yüzey pürüzlülüğü hem de kesici takım aşınması açısından birbirine yakın sonuçlar elde ettiklerini ve kesme hızıyla yüzey pürüzlülüğü arasında herhangi bir ilişki olmadığını tespit etmişlerdir.

Dhar ve arkadaşları (2006), AISI 4340 malzemesinin tornalanmasında MQL'nin kesici takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini incelemişlerdir. Yazarlar, sonuçları kuru işleme ve ıslak işleme ile karşılaştırmışlardır. Kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve MQL debisi sabit tutularak yapılan deneyler sonucunda MQL uygulaması ile elde edilen sonuçlarla daha az kesici takım aşınması ve daha iyi yüzey kalitesi elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Bruni ve arkadaşları (2006), AISI 420B paslanmaz çeliğinin tornalanmasında kuru işleme, ıslak işleme ve MQL uygulamasının yüzey pürüzlülüğü ve kesici takım aşınmasına etkilerini araştırmışlardır. Optimum yağ debisinin belirlenmesi amacıyla ön tornalama deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda MQL debi oranının kesici takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde etkilemediğini ve MQL'nin kuru işlemeye göre yüzey pürüzlülüğü ve kesici takım aşınması açısından herhangi bir avantaj sağlamadığını belirtmişlerdir. Ayrıca ilerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün de arttığını ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde belirgin bir etkisinin bulunmadığını gözlemlemişlerdir.

Dhar ve arkadaşları (2006), AISI 1040 çeliğinin tormalanmasında MQL uygulamasının kesme sıcaklığı, talaş ve boyutsal kesinlik üzerindeki etkilerini araştırmışlar ve elde ettikleri sonuçları kuru işleme ve ıslak işleme ile karşılaştırmışlardır. Tormalama deneylerinde kesme derinliğini, debiyi ve basıncı sabit tutarlarken kesme hızını ve ilerlemeyi değiştirmişlerdir. Sonuç olarak MQL'nin kesme sıcaklığı ve boyutsal hataları önemli ölçüde azalttığı ve MQL koşullarında talaş oluşumunun ve kesici takım-talaş etkileşiminin daha iyi olduğu sonucuna varmışlardır.

Davim ve arkadaşları (2007), pirinç malzemesinin tormalanmasında ıslak işleme ve MQL uygulamasını kesme gücü, spesifik kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve talaş formu açısından karşılaştırmışlardır. Sabit kesme derinliği ile farklı MQL debisi, ilerleme ve kesme hızı kullanılarak yapılan deneyler sonucunda en düşük spesifik kesme kuvveti değerini en yüksek MQL debisiyle elde ettiklerini ve yüzey pürüzlülüğü, talaş formu ve kesme gücü açısından MQL ve ıslak işlemenin benzer sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca ilerlemenin artmasıyla kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünün de arttığını gözlemlemişlerdir.

Kamata ve Obikawa (2007), Inconel 718 malzemesinin iki farklı kaplamalı kesici takımla tormalanmasında MQL debi oranı ve kesme hızının kesici takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini incelemişlerdir. TiCN/Al₂O₃/TiN kaplamalı takımla yaptıkları deneylerde MQL debi oranının artmasıyla takım ömrünün arttığını ancak yüzey kalitesinin iyileşmediğini, TiN/AlN kaplamalı takımla yaptıkları deneylerde ise MQL debi oranının artmasıyla yüzey kalitesinin iyileştiğini ancak kesici takım ömrünün uzamadığını söylemişlerdir. Ayrıca her iki durumda da kesme hızıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığını tespit etmişlerdir.

Dhar ve arkadaşları (2007), AISI 1040 çeliğinin tormalama işleminde MQL ve kuru işlemeyi kesici takım aşınması, bitiş yüzeyi, kesme kuvveti, kesme sıcaklığı ve boyutsal sapma açısından karşılaştırmışlardır. Farklı ilerleme ve kesme hızları kullanarak yaptıkları deneyler sonucunda kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetlerinin azaldığını ve MQL'nin kuru işlemeye göre kesici takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti, kesme sıcaklığı ve boyutsal sapmayı azalttığını belirtmişlerdir.

Gaitonde ve arkadaşları (2008), pirinç malzemesinin tormalanmasında farklı kesme parametreleri ve MQL debilerinin yüzey pürüzlülüğü ve spesifik kesme kuvvetine etkisini incelemişlerdir. Deneylerde üç farklı debi, kesme hızı ve ilerleme

kullanmışlardır. Sonuç olarak MQL debi oranındaki artışla spesifik kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünün azaldığını ve ilerlemenin artmasıyla hem spesifik kesme kuvveti hem de yüzey pürüzlülüğünün arttığını tespit etmişlerdir.

Sreejith (2008), AA6061 alüminyum alaşımının tornalanmasında kuru işleme, ıslak işleme ve MQL yöntemlerini kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve kesici takım aşınması açısından incelemiştir. Deneyleerde ilerleme ve kesme derinliğini sabit tutarken kesme hızı ve MQL debisini değiştirmiştir. Sonuç olarak MQL debi oranındaki artışın yan yüzey aşınması üzerinde fazla bir etki göstermediğini, MQL'nin doğru şekilde uygulandığında çevre dostu olduğunu ve işlenebilirlik özelliklerini geliştirdiği için avantajlı olduğunu vurgulamıştır.

Khan ve arkadaşları (2009), AISI 9310 malzemesinin tornalanmasında kuru işleme, ıslak işleme ve MQL'yi kesici takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve kesici takım-talaş arayüz sıcaklığı açısından karşılaştırmışlardır. İşleme deneylelerinde kesme derinliğini, debiyi ve basıncı sabit tutarlarken kesme hızını ve ilerlemeyi değiştirmişlerdir. Sonuç olarak MQL'nin kuru ve ıslak işlemeye göre kesici takım aşınmasını, yüzey pürüzlülüğünü ve kesici takım-talaş arayüz sıcaklığını azalttığını gözlemlemişlerdir.

Hwang ve Lee (2010), AISI 1045 çeliğinin tornalanması işleminde ıslak işleme ile MQL yöntemini kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından karşılaştırmışlardır. Deneylelerde iki farklı kesme derinliği, ilerleme, kesme hızı, basınç ve nozül çapı kullanmışlardır. Sonuç olarak MQL'nin ıslak işlemeye göre yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri açısından daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca kesme hızı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetiyle ters orantılı olduğunu tespit etmişlerdir.

Abhang ve Hameedullah (2010), EN-31 alaşımlı çeliğin tornalanmasında kuru ve MQL uygulamasını karşılaştırmak için bir çalışma yapmışlardır. Farklı ilerleme ve kesme hızı ile sabit kesme derinliği kullanarak yaptıkları deneyleler sonucunda MQL'nin kuru işlemeye göre kesme sıcaklığını, kesme kuvvetlerini, talaş kalınlığını ve yüzey pürüzlülüğünü azalttığını belirtmişlerdir. Ayrıca esas kesme kuvvetlerinin ilerlemenin artmasıyla artarken kesme hızının artmasıyla azaldığını vurgulamışlardır.

Yazid ve arkadaşları (2011), Inconel 718 malzemesinin tornalanmasında MQL ve kuru işlemeyi uygulamasının yüzey bütünlüğüne olan etkisini incelemişlerdir. Farklı

kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve MQL yağ debisi şartlarında deneyler gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak MQL ile kuru işleme göre daha iyi yüzey kalitesi elde ettiklerini, kesme hızının artışıyla yüzey pürüzlülüğü değerinin azaldığını ve özellikle düşük kesme hızlarında düşük MQL debisinin daha iyi yüzey kalitesi verdiğini belirtmişlerdir.

Leppert (2011), AISI 1045 (C45) çeliğinin tornalanmasında kuru işleme, emülsiyon ve MQL uygulamasını yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri açısından karşılaştırmıştır. Farklı ilerleme ve kesme hızı; sabit kesme derinliği ve debi kullanarak yaptığı deneyler sonucunda yüzey kalitesi ve kesme kuvvetleri açısından MQL'nin diğer yöntemlere göre daha iyi sonuçlar verdiğini ve çevre dostu olduğunu tespit etmiştir.

Fratila ve Caizar (2012), AISI 1045 çeliğinin tornalanmasında kesme parametreleri ve üç farklı soğutma yönteminin (kuru işleme, ıslak işleme ve MQL) yüzey kalitesine etkisini incelemişlerdir. Farklı ilerleme, kesme hızı, kesme derinliği ve MQL debisi kullanarak deneyler yapmışlar ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla varyans analizi yöntemi (ANOVA) kullanmışlardır. Sonuçta üç işleme koşulunun yüzey pürüzlülüğü değerlerinde birbirine benzer sonuçlar verdiğini ve kesme hızı ve MQL debi oranının artmasıyla daha iyi yüzey kalitesi elde ettiklerini belirtmişlerdir. Ayrıca en iyi yüzey pürüzlülüğü değerini en yüksek kesme hızı, en yüksek debi ve en düşük kesme derinliğinde elde ettiklerini gözlemlemişlerdir.

Hadad ve Sadeghi (2013), AISI 4140 malzemesinin tornalanmasında kuru işleme, ıslak işleme ve MQL uygulamasını yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti ve kesici takım-talaş arayüz sıcaklığı açısından karşılaştırmak için bir çalışma yapmışlardır. Farklı kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği; sabit basınç ve debi kullanılarak gerçekleştirilen deneyler sonucunda MQL'nin kuru ve ıslak işleme göre yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti ve kesici takım-talaş arayüz sıcaklığı için daha iyi sonuç verdiğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca ilerlemenin artmasıyla hem kesme kuvvetinin hem de yüzey pürüzlülüğünün arttığını ve MQL uygulamasında nozül pozisyonunun MQL'nin tornalama işlemindeki performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Lohar ve Nanavaty (2013), AISI 4340 malzemesinin tornalanmasında MQL, kuru ve ıslak işleme kesme kuvveti, kesme sıcaklığı ve yüzey kalitesi açısından karşılaştırmışlardır. İşleme deneylerinde farklı kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği kullanmışlardır. Sonuçta MQL'nin diğer işleme yöntemlerine göre kesme kuvvetini % 40, kesme sıcaklığını % 36 oranında düşürdüğünü ve yüzey kalitesini % 30 oranında iyileştirdiğini tespit etmişlerdir.

İlhan ve arkadaşları (2013), AISI 1040 çeliğinin tornalanmasında kesme hızının ve MQL debisinin yüzey kalitesi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Deneylerde ilerleme ve kesme derinliğini sabit tutarak beş farklı MQL debisi ve dört farklı kesme hızı kullanmışlardır. Sonuç olarak kesme hızındaki artışın yüzey kalitesini iyileştirdiğini ve MQL uygulamasındaki debi artışının yüzey kalitesini özellikle düşük debilerde ve düşük hızlarda olumlu etkilediğini söylemişlerdir.

Liu ve arkadaşları (2013), Ti-6Al-4V alaşımının iki farklı nanokompozit kaplamalı (AlTiN, AlCrN) takımla tornalanmasında kuru işleme ve MQL uygulamasını kesici takım aşınması açısından karşılaştırmak için bir çalışma yapmışlardır. Sabit kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, debi ve basınç kullanılarak gerçekleştirilen deneyler sonucunda MQL'nin kuru kesmeyle kıyaslandığında soğutma ve yağlama etkisi nedeniyle kesici takım ömrünü iyileştirmede çok daha etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Priarone ve arkadaşları (2014), Ti-48Al-2Cr-2Nb intermetalik alaşımının tornalanmasında üç farklı işleme yöntemini (kuru işleme, ıslak işleme ve MQL) kesici takım aşınması ve yüzey kalitesi açısından karşılaştırmışlardır. Farklı kesme parametrelerinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda kesici takım aşınması açısından ıslak işlemenin daha iyi sonuç verdiğini, en iyi yüzey kalitesini MQL ile elde ettiklerini ve MQL'nin çevre dostu olarak avantajlı olduğunu vurgulamışlardır.

Sarıkaya ve Güllü (2014), AISI 1050 çeliğinin tornalanmasında kesme derinliği, ilerleme ve kesme hızı gibi işleme parametrelerinin yüzey kalitesi üzerindeki etkilerini üç farklı işleme koşulu (kuru işleme, geleneksel ıslak işleme ve MQL) altında araştırmışlardır. Sonuç olarak MQL'nin, işlenmiş yüzey kalitesini arttırmak için iyi bir çözüm olduğunu, ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkili parametre olduğunu ve yüzey pürüzlülüğünün ilerlemenin artmasıyla de artarken kesme hızının artmasıyla azaldığını tespit etmişlerdir.

Ji ve arkadaşları (2014), AISI 4130 çeliğinin tornalanmasında kuru işleme, ıslak işleme ve MQL uygulamasını kesme kuvveti, kesme sıcaklığı ve kalıntı gerilmeler açısından karşılaştırmak için bir çalışma yapmışlardır. Deneylede farklı kesme hızı, ilerleme, MQL yağ debisi ve sabit kesme derinliği kullanmışlardır. Sonuçta kesme kuvvetleri açısından MQL uygulamasının kuru işlemeğe göre daha düşük sonuçlar verirken ıslak işlemeyle benzer sonuçlar verdiğini, MQL debi artışının kesme kuvvetlerini bir yere kadar azalttığını ve ilerlemenin artmasıyla kesme kuvvetlerinin de arttığını belirtmişlerdir. Kesme sıcaklığı ve kalıntı gerilmeler açısından ıslak işlemenin diğere işleme koşullarına göre daha iyi sonuçlar verdiğini söylemişlerdir.

Saini ve arkadaşları (2014), AISI 4340 çeliğinin tornalanmasında kuru işleme ve MQL uygulamasını kesme kuvveti ve kesici takım ucu sıcaklığı açısından karşılaştırmışlardır. Farklı kesme hızı, ilerleme ve yaklaşma açısı; sabit kesme derinliği, basınç ve debi kullanılarak gerçekleştirilen deneyler sonucunda ilerlemenin artmasıyla kesme kuvvetlerinin de arttığını ve MQL'nin kuru işlemeğe göre kesme kuvvetlerini % 17.07'ye kadar ve takım ucu sıcaklığını % 6.72'ye kadar düşürdüğünü ortaya koymuşlardır.

Rahim ve arkadaşları (2015), AISI 1045 malzemesinin tornalanmasında MQL ve kuru işlemeği kesme sıcaklığı, kesme kuvvetleri ve talaş kalınlığı açısından karşılaştırmak için bir çalışma yapmışlardır. Deneylede farklı ilerleme ve kesme hızı ile sabit kesme derinliği, basınç ve debi kullanılmıştır. Sonuç olarak MQL'nin kuru işlemeğe göre kesme sıcaklığı ve kesme kuvvetini azalttığını ve MQL ile daha ince talaşlar elde edildiğini söylemişlerdir. Ayrıca kesme kuvvetinin, ilerlemenin artmasıyla artarken kesme hızının artmasıyla azaldığı sonucuna ulaşmışlardır.

Sarıkaya ve Güllü (2015), kobalt esaslı süper alaşım Haynes 25 malzemesinin tornalanmasında farklı kesme hızları ve MQL debilerinin kesici takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir. Üç farklı debi ve kesme hızı kullanarak gerçekleştirdikleri deneyler sonucunda MQL debisindeki artışın yüzey pürüzlülüğünü ve kesici takım aşınmasını azalttığını ve kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerinin azaldığını tespit etmişlerdir.

Yıldırım ve arkadaşları (2016), AISI 4340 çeliğini farklı kesme hızı, ilerleme, debi, yağ çeşidi ve püskürtme mesafesi kullanarak tornalamışlar ve sonuç olarak kesme hızı ve MQL yağ debisinin artmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerinin belli bir sınıra kadar

azaldığını ve ilerlemenin artmasının yüzey kalitesini olumsuz etkilediğini belirtmişlerdir. Ayrıca en iyi yüzey pürüzlülüğü değerlerini 300 m/dk kesme hızı, 0.1 mm/dev ilerleme, bitkisel yağ, 80 ml/sa debi, tip-1 nozül ve 20 mm püskürtme mesafesi kombinasyonunda elde ettiklerini ortaya koymuşlardır.

Çelik ve Kıvak (2016), 17-4 PH paslanmaz çeliğinin tornalanmasında üç farklı MQL debisi, kesme yağı cinsi ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak MQL debisinin ve kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün azaldığını ve yüzey kalitesi üzerinde en etkili parametrenin kesme yağı cinsi olduğunu belirtmişlerdir.

Çakır ve arkadaşları (2016), AA7075 ve AA2024 alüminyum alaşımlarının tornalanmasında farklı kesme parametreleri ve MQL debilerinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini araştırmışlardır. Farklı kesme hızı, ilerleme ve debi kullanarak yaptıkları deneyler sonucunda kesme hızı ve ilerlemedeki artışın yüzey kalitesini olumsuz etkilediğini ve artan debi oranının yüzey kalitesini olumlu etkilediğini tespit etmişlerdir.

Hemaid ve arkadaşları (2016), alüminyum malzemesinin tornalanmasında farklı kesme parametreleri ve MQL debi uygulamalarının bitiş yüzeyine olan etkilerini araştırmışlar ve sonuçları kuru ve ıslak işlemeyle karşılaştırmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda düşük ilerleme ve yüksek kesme hızının bitiş yüzeyi açısından daha iyi olduğunu, yüzey pürüzlülüğü açısından MQL uygulamasının kuru işleme göre daha iyi sonuçlar verirken ıslak işlemeyle karşılaştırılabilir sonuçlar verdiğini ve MQL debi oranının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin çeşitli nedenlerden dolayı tutarlı olmadığını belirtmişlerdir.

Kumar ve arkadaşları (2017), AISI 4340 sertleştirilmiş çeliğinin tornalanmasında kuru işleme, ıslak işleme ve MQL uygulamasını yüzey pürüzlülüğü açısından karşılaştırmak için bir çalışma yapmışlardır. Deneylerde farklı kesme hızı, ilerleme, malzeme sertliği ve kesici takım uç yarıçapı kullanmışlardır. Sonuç olarak MQL uygulamasıyla kuru ve ıslak işleme göre daha iyi yüzey kalitesi elde ettiklerini ve yüzey pürüzlülüğünün ilerlemenin artmasıyla artarken kesme hızının artmasıyla azaldığını söylemişlerdir.

Khan ve Maity (2018), ticari saf titanyum malzemesinin tornalanmasında kuru işleme, ıslak işleme ve MQL uygulamasını kesici takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti ve işleme sıcaklığı açısından karşılaştırmışlardır. Deneylerde farklı

kesme hızı ile sabit kesme derinliği ve ilerleme kullanmışlardır. Sonuç olarak MQL uygulamasının kuru ve ıslak işlemeğe göre işleme sıcaklığı, kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve kesici takım aşınmasını azalttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün azaldığını belirtmişlerdir.

Behera ve arkadaşları (2018), Inconel 718 malzemesinin tornalanmasında MQL debi oranının kesme kuvveti üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Deneylerde farklı kesme hızı, MQL debisi, basınç kullanmışlar ve kesme kuvvetlerinin tahmini için bir kuvvet modeli önermişlerdir. Sonuçta MQL debisinin artmasıyla kesme kuvvetlerinin belli bir yere kadar azaldığını ve kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetlerinde bir azalma meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

Bazı araştırmacılar MQL tekniğinde kullanılan yağların özelliklerini iyileştirmek ve bu sayede MQL'nin olumlu etkilerini arttırmak amacıyla birtakım çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Bu doğrultuda yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Sayuti ve arkadaşları (2014), AISI 4140 malzemesinin tornalanmasında nanopartikül (SiO_2) katkılı MQL'nin kesici takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini incelemişlerdir. Deneylerde kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve MQL debisini sabit tutarlarken nanoparçacık yüzdesi, hava basıncı ve nozül açısını değiştirmişlerdir. Sonuçta minimum kesici takım aşınmasını % 0.5 nanoparçacık yüzdesi, 2 bar hava basıncı ve 60° nozül açısında ve en iyi yüzey pürüzlülüğünü % 0.5 nanoparçacık yüzdesi, düşük hava basıncı ve 30° nozül açısında elde ettiklerini vurgulamışlardır.

Khalil ve arkadaşları (2015), AISI 1050 çeliğinin MQL ile tornalanmasında Sürfaktan Sodyum Dodesilbenzen Sülfonatlı (SDBS) Al_2O_3 nanoyağlayıcının kesici takım aşınması üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Deneylerde üç farklı kesme sıvısı (kuru, saf nanoyağlayıcılı MQL ve SDBS nanoyağlayıcılı MQL) ve sabit kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, debi ve basınç kullanmışlardır. Sonuçta en fazla kesici takım aşınmasını kuru işlemede gözlerken saf nanoyağlayıcılı MQL ve SDBS nanoyağlayıcılı MQL'nin kesici takım aşınmasını düşürdüğünü belirtmişlerdir.

Padmini ve arkadaşları (2016), AISI 1040 çeliğinin MQL ile tornalanmasında bitkisel yağ esaslı nanosıvıların etkinliğini araştırmışlardır. Bunun için nanomolibden disülfid (nMoS_2) katkılı üç farklı bitkisel yağ (hindistan cevizi yağı, susam yağı, kanola yağı) kullanmışlardır. Deneylerde farklı nanoparçacık yüzdesi, ilerleme ve kesme hızı

ile sabit debi ve kesme derinliği kullanmışlar ve sonuçları kuru kesmeyle karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak en iyi işleme performansını % 0.5 nMoS₂ katkılı hindistan cevizi yağlı MQL ile elde ettiklerini ve kuru kesmeyle karşılaştırıldığında kesme kuvvetini % 37, kesme sıcaklığını % 21, kesici takım aşınmasını % 44 ve yüzey pürüzlülüğünü % 39 düşürdüğünü tespit etmişlerdir.

Sharma ve arkadaşları (2016), AISI 1040 çeliğinin tornalanmasında Al₂O₃ nanopartikül esaslı MQL kesme sıvısının etkisini incelemişler ve sonuçları kuru işleme, geleneksel kesme sıvılı ıslak işleme ve saf MQL ile karşılaştırmışlardır. Sabit kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, debi ve basınç kullanarak gerçekleştirdikleri deneyler sonucunda Al₂O₃ nanopartikül esaslı MQL kesme sıvısının kesici takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti ve talaş biçimi açısından diğer yöntemlere göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Paturi ve arkadaşları (2016), Inconel 718 malzemesinin tornalanmasında tungsten disülfid (WS₂) katı yağlayıcı katkılı MQL ile saf MQL uygulamasını yüzey pürüzlülüğü açısından karşılaştırmışlardır. Farklı kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği; sabit debi ve basınç kullanarak yaptıkları deneyler sonucunda WS₂ katkılı MQL'nin saf MQL ile karşılaştırıldığında % 35 oranında daha iyi yüzey kalitesi verdiğini söylemişlerdir. Ayrıca ilerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerinin de keskin bir şekilde arttığını ve kesme hızının artışıyla yüzey pürüzlülüğünün azalma eğiliminde olduğunu vurgulamışlardır.

Marques ve arkadaşları (2016), Inconel 718 alaşımının MQL ile tornalanmasında farklı katı yağlayıcıların kesici takım ömrü ve yüzey bütünlüğüne olan etkisini araştırmışlardır. Farklı kesme hızı ile sabit ilerleme, kesme derinliği, MQL debisi ve basınç kullanarak deneyler yapmışlar ve grafit katkılı MQL, molibden disülfid (MoS₂) katkılı MQL ve saf MQL karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak MoS₂ katkılı MQL ve saf MQL ile karşılaştırıldığında grafit katkılı MQL'nin kesici takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünü azalttığını, ayrıca grafit katkılı MQL ile daha düzenli mikrosertlik gözlendiğini ve çekme kalıntı gerilmesi gözlenmediğini belirtmişlerdir.

Yapılan literatür araştırması sonucunda MQL tekniğinin; geleneksel soğutma yöntemleri ve kuru işlemeye göre işlenebilirlik kriterleri açısından büyük önem arz eden kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve kesici takım aşınması üzerinde genel olarak daha iyi sonuçlar verdiği ve çevre ve insan sağlığı açısından da olumlu etkileri olduğu

gözlenmektedir. Yapılan bu deneysel çalışmada da farklı kesme parametrelerinde MQL yönteminin kuru ve ıslak işlemeye göre işlenebilirlik açısından ne kadar etkili olduğunu ortaya koymak amaçlanmıştır.



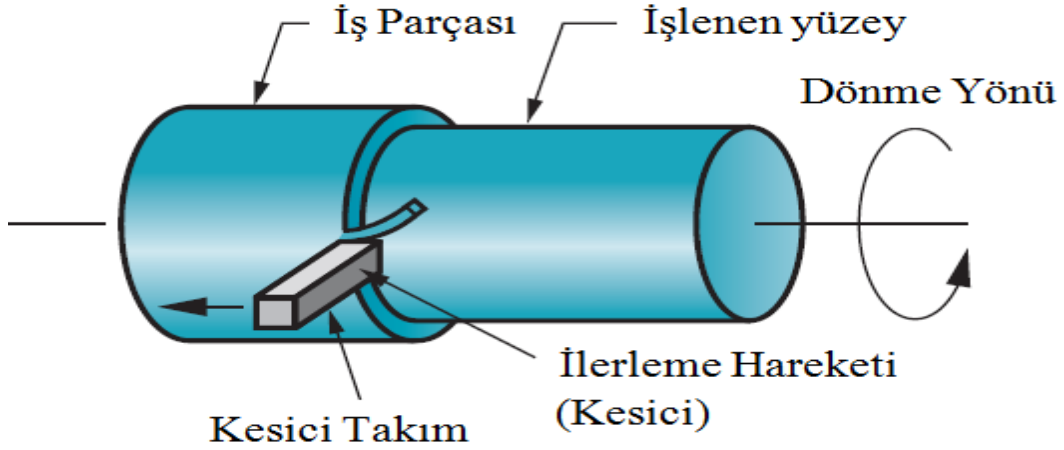
3. GENEL BİLGİLER

3.1. AISI 4140 Çeliği

Islah çelikleri; ıslah işlemi sonucunda çekme dayanımında yüksek tokluk özelliği gösteren ve kimyasal bileşimlerindeki karbon miktarı açısından sertleştirilmeye uygun çeliklerdir. Makine ve otomotiv sanayisinde kullanılan ıslah çeliklerinin en yaygın kullanım alanına sahip olan çelik türü AISI 4140 çeliğidir (Kam ve Saruhan, 2016). AISI 4140 çeliği; dövme kalite çeliği, alaşımlı çelik, düşük alaşımlı yapı çeliği ve orta karbonlu çelik olarak da adlandırılır. Bu çelik malzemenin en önemli özelliği içerdiği Mo ve Cr alaşım elementleri sebebiyle, su verme sonrasında sert martenzitik bir yapı oluşturabilmesi ve bu sayede tokluk, süneklik ve mukavemet gibi özelliklerin bir arada sağlanmasına olanak vermesidir (Karayel, 2015). Bu nedenle AISI 4140 çeliği daima yaygın kullanım alanına sahip bir malzemedir (Esener, 2017). Kullanım alanları arasında uçak ve otomobil yapımı; aks mili, krank mili, yivli mil ve benzeri sünekliği yüksek parçalar, bandaj ve dişli çark gibi parçalar sayılabilir (Karayel, 2015). Ayrıca, türbin motorları, yaylar, makine çelikleri, starter dişlileri, gemi zincir ve demirleri, demir yol tekerlekleri ve milleri, soğuk çekme mil ve çubukları, turbo jeneratörlerin fren halka ve kolları gibi birçok yerde kullanılmaktadırlar (Arman, 2017).

3.2. Tortalama

Tortalama işlemi, talaş kaldırma ile ilgili gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda en yaygın kullanılan talaşlı imalat metotudur. Tortalama işleminde işlenecek olan dairesel iş parçası genellikle bir aynaya bağlanır ve döndürülür. Bir kater üzerine rijit şekilde bağlanmış ve dönen iş parçası ekseninde ilerletilen kesici takım vasıtasıyla iş parçasından bir tabaka kaldırılır ve böylece dairesel veya daha karmaşık profilli yüzeyler elde edilir (Mavi, 2013). Tortalama işlemi şematik olarak Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Tornalama işlemi (İlhan, 2014)

Torna tezgahında silindirik tornalama, alın tornalama, konik tornalama, delik delme, kılavuz çekme, vida çekme, pafta çekme ve raybalama gibi işlemlerin yanı sıra yay sarma, profil tornalama, frezeleme, taşlama, demir, çelik, plastik alaşımlar ve yumuşak gereçlere istenilen biçim ve şekil verme işlemleri yapılabilir (Karayel, 2015).

Tornalama işlemlerinde talaş kaldırma işlemine etki eden üç temel kavram vardır. Bunlar; kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğidir. Bu parametrelerin tornalama işlemine göre tanımları aşağıdaki gibi yapılabilir (Karayel, 2015).

Kesme hızı (V), iş parçası yüzeyindeki kesilmemiş bir noktanın birim zamanda kesici takım önünde aldığı yol olarak tanımlanır ve genellikle m/dk cinsinden ifade edilir.

İlerleme (f), kesici takımın iş parçası malzemesinin her bir dönüşünde iş parçası eksenine paralel olarak kat ettiği mesafedir ve mm/dev cinsinden ifade edilir.

Kesme derinliği (a), iş parçası yüzeyinden kaldırılan malzemenin derinliği olarak tanımlanır ve iş parçası eksenine dik doğrultuda ölçülür (Mavi, 2013). Kesme parametrelerinin tornalama işleminde gösterimi Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Kesme parametrelerinin tornalama işleminde gösterimi (Bingül, 2014)

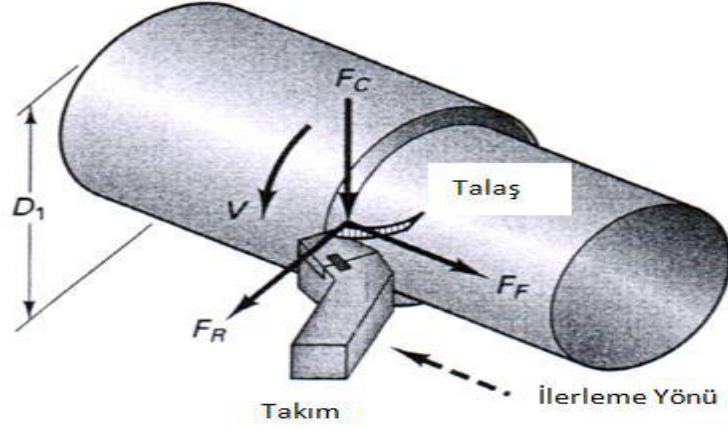
3.3. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik; kolay veya zor işlemenin bir kriteri olarak malzemenin kalitesi veya varlığını ifade etmek için kullanılır. İşlenebilirlik kavramının kesin bir tanımı olmamakla genellikle bir malzemenin istenen boyutta, biçimde ve yüzey kalitesinde işlenmesinin zorluğunu veya kolaylığını belirten bir kavram olarak tanımlanır (Karayel, 2015). İş parçasının mikro yapısı, kimyasal bileşimi, ısıl işlem, saflık gibi değişkenler işlenebilirliği etkiler. Bu etkilerin yanında işlenebilirlik üzerinde işleme yöntemi ve işleme parametrelerinin de etkisi büyüktür (Bingül, 2014).

Bir malzemenin işlenebilirliği kesme kuvveti ve gücü, yüzey kalitesi, kesici takım ömrü, kesme hızı, talaş kaldırma miktarı ve talaş şekli gibi kriterlerden birine veya birden fazlasına göre değerlendirilir. Bu kriterlerden, kesme hızının veya kesici takım ömrünün büyük olması, kesme kuvvetinin veya gücün düşük olması iyi işlenebilirliğin mevcut olduğunu gösterir (Bingül, 2014).

3.4. Kesme Kuvvetleri

Talaş kaldırma işlemi sırasında oluşan kesme kuvvetleri; yüzey kalitesi, iş parçasının boyutları, kesici takım ömrü ve ısı oluşumunu önemli ölçüde etkilemektedir (Gürbüz, 2012). Torna tezgahı için talaş kaldırma işleminde kesici takıma etki eden kesme kuvveti bileşenleri Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Kesici takım-talaş yüzeyi üzerine tesir eden kesme ucuna dik yöndeki kuvvet bileşeni esas kesme kuvveti (F_c) olarak isimlendirilir. F_c , genel olarak oluşan kuvvetlerin en büyüğü olup kesme işlemi için gerekli gücün % 99'nu içerir. İlerleme kuvveti (F_f), ilerleme yönüne paralel doğrultuda kesici takım üzerine etki eden kuvvet bileşenidir ve bu kuvvet genellikle F_c kuvvetinin yaklaşık olarak % 55'ine kadar ulaşabilmektedir. Ancak kesme hızları ile kıyaslandığında ilerleme miktarları çok küçük olduğu için gereken gücün az bir kısmını harcar. Üçüncü kuvvet bileşeni olan pasif kuvvet (F_r), kesici takımı iş parçasından radyal yönde uzaklaştırmaya çalışan ve işlenmiş yüzeye dik olarak tesir eden kuvvettir. Pasif kuvvet, ilerleme kuvvetinin yaklaşık olarak yarısı kadardır ve güç gereksinimine katkısı radyal yöndeki hız ihmal edilebilir olduğundan dolayı çok azdır (Mavi, 2013).



Şekil 3.3. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri (Mavi, 2013)

3.5. Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü, yüzey dokusunun ölçüsüdür. İdeal yüzey ile gerçek yüzey arasındaki dikey sapmaların sayısallaştırılmasıdır. Eğer bu sapma büyük ise yüzey pürüzlülüğü kaba, sapma küçük ise yüzey daha düzdür. Varsayılan yüzey çizgisinin üstünde ve altında düzensiz sapmalar oluşturan bu duruma yüzey pürüzlülüğü denir (İlhan, 2014). Talaş kaldırma işlemlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi aşağıdaki iki bağımsız değişkenle özetlenebilir:

- İdeal yüzey pürüzlülüğü; ilerleme, ilerleme hızı veya kesici takımın geometrisinin sonucudur.
- Tabii yüzey pürüzlülüğü; talaş kaldırma işlemindeki düzensizliklerin sonucudur.

3.5.1. İdeal yüzey pürüzlülüğü

Kesici takımdaki yığıntı talaş oluşumu, vuruntular ve hatalar gibi etkenler azaltıldığında, kesici uç biçimine ve ilerlemeye bağlı oluşturulan en iyi bitirme değerlerini belirtir. Sayısal analizler ve karşılaştırmalar için, tek bir faktöre veya bir diziye göre işlenmiş yüzeyin pürüzlülüğünü belirlemek çok kullanışlı bir metot olabilir. Bu maksatla genellikle aritmetik ortalama değeri (R_a) kullanılır (Bingül, 2014). Ortalama pürüzlülük değerini uç yarıçapı (r_ϵ) ve ilerlemeye (f) göre veren bağıntı, Eş.3.1'de verilmiştir.

$$R_a = 0,0321 \times f^2 / r_\epsilon \quad (3.1)$$

3.5.2. Gerçek yüzey pürüzlülüğü

Uygulamada Eş. 3.1'deki gibi ilerlemeye ve kesici uç yarıçapına bağlı olarak ideal bir pürüzlülük değeri elde etmek mümkün değildir. Verilen bilgiler yüzey pürüzlülük değerinin büyük kısmını oluşturmaktadır. Doğal yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler kesme hızı, kesici takım ve malzeme çifti, soğutma koşulları, yapışma (BUE) ve titreşimdir. Bu faktörlerin değişmesi yüzey pürüzlülüğünü etkilemektedir (İlhan, 2014).

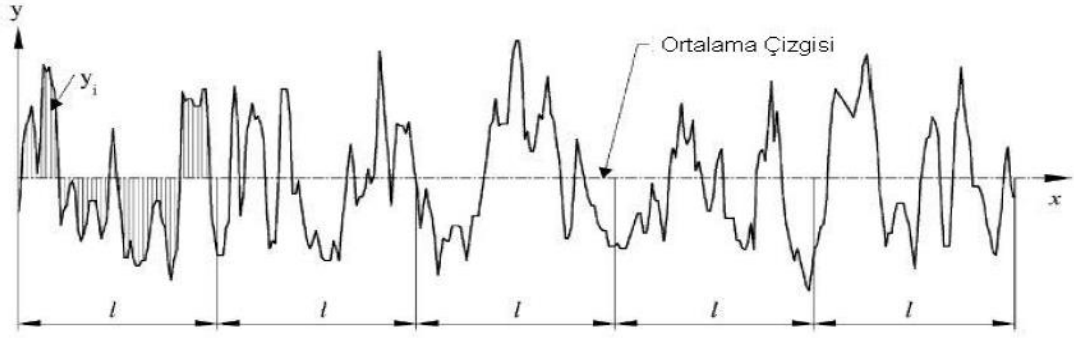
3.5.3. Yüzey pürüzlülük parametreleri

- Örneklem uzunluğu ve örneklem sayısı: Şekil 3.4'te l ile belirtilen örneklem uzunluğu, kesici takımın ilerlemesini temsil edecek büyüklükte seçilmelidir. Profil üzerinde değerlendirilen tüm örneklem uzunluklarının bir araya gelmesi sonucunda ln ile gösterilen ölçüm uzunluğu meydana gelir. ln uzunluğu $n > 5$ olmak üzere, örneklem uzunluğunun (l) n ile çarpılmasıyla elde edilir ($ln = l \times n$).



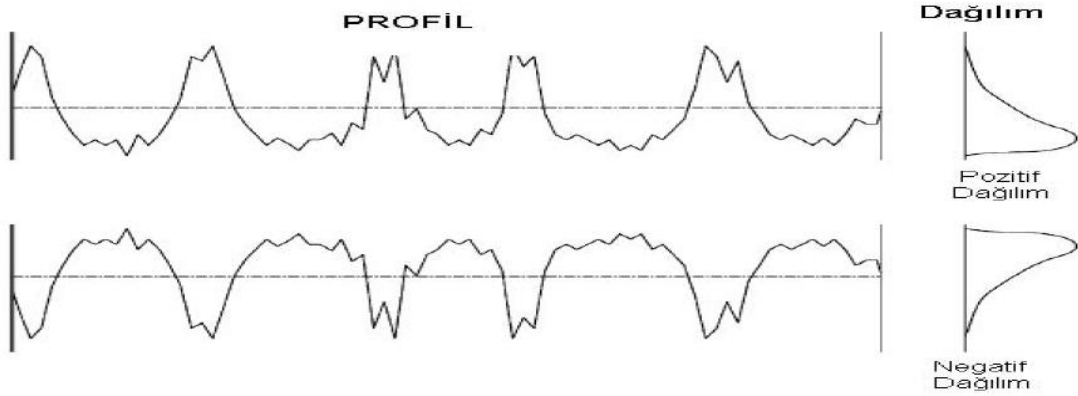
Şekil 3.4. Örneklem uzunluğu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu (Karayel, 2015)

- Ortalama çizgisi: Bu doğru, ölçme uzunluğu içinde profilin üstte ve altta kalan alanlarının eşit olduğu yerden geçer (Şekil 3.5)
- Ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a): Ortalama çizgisinin üstünde ve altında oluşan mutlak yükseklik değerlerinin aritmetik ortalamasıdır (Şekil 3.5). R_a , kalite kontrolü alanında dünya genelinde kabul edilen bir yüzey pürüzlülük parametresidir. Bu parametrenin tanımlanması ve ölçülmesi basittir. Yükseklik dağılımlarıyla alakalı genel bir tanımlama getirdiğinden dolayı profildeki hassas değişimler ve dalga boyu hakkında yeteri kadar bilgi vermez.



Şekil 3.5. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiksel ifadesi (Karayel, 2015)

- Genlik dağılım eğrisi: Bu parametre profil genlik yoğunluğunun ortalama çizgiye göre simetrisini gösteren ve aynı R_q ve R_a değerine sahip profilleri birbirinden ayırt etmede yararlanan dağılım eğrisidir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Profil ve genlik dağılım eğrisi (Karayel, 2015)

3.5.4. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler

Talaşlı imalat sırasında yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler şunlardır:

1. Malzeme çiftinin mekanik özellikleri
2. Kesici takım geometrisi
3. Kesme parametreleri
4. Kesici takım aşınması
5. Takım tezgahının rijitliği
6. Takım tutucu rijitliği
7. Yataklama sisteminden doğan hatalar
8. Soğutma sıvısı (Karayel, 2015)

3.6. Kesici Takım Aşınması

Kesici takım aşınması, kesici takımın ilk şekline göre malzeme kaybından dolayı oluşan farklılıktır. Bütün kesici takımlar, talaş kaldırma esnasında ömürlerinin sonuna kadar aşınırlar. Kesici kenar üzerinde etkili olan ve kesici kenarın geometrisini değiştirmeye çalışan yük faktörleri ile kesici kenarın ömrü belirlenir (Bingül, 2014).

3.6.1. Kesici takım aşınma mekanizmaları

Talaş kaldırma esnasında kesici kenar üzerine yük faktörlerinin etki etmesi sonucunda, talaş kaldırma işlemine bazı temel aşınma mekanizmaları tesir eder. Bunlar, abrazyon aşınma, adhezif aşınma, difüzyon aşınması, oksidasyon aşınması, yorulma aşınması ve kimyasal aşınmadır (Karayel, 2015; Akben, 2009).

- Abrazyon aşınma mekanizması, iş parçası içerisindeki sert parçacıkların kesici takım yüzeyine sürtünmesi ve taşlamaya benzer bir işlemle kesici takımdan malzeme kaldırması sonucu oluşur. Özellikle ağızdan başlayarak kesici takımın serbest yüzeyinde oluşan abrazyon aşınmasına karşı kesici takım dayanımı, kesici takım sertliği tarafından belirlenir. Kesici takımın sertliği arttıkça, abrazyon aşınmaya karşı dayanımı da artar. Abrazyon aşınma; serbest yüzey aşınmasının, burun yarıçapı aşınmasının ve çentik aşınmasının birincil sebebidir. Abrazyon aşınma ayrıca krater aşınmasını da etkiler.
- Adhezif aşınma mekanizması, sürtünme halinde bulunan yüzeylerin arasında atomsal bağların oluşması ve bunların kopması ile birlikte yüzeylerden malzemenin kaldırılması şeklinde olur. Talaş kaldırma sırasında oluşan yüksek sıcaklıklarla birlikte plastik deformasyon ve sürtünme, kesici takım ve iş parçası yüzeylerinde bir kaynak oluşumuna sebep olabilir. Kesici takımın küçük parçacıkları sürtünme sebebiyle talaşa yapışır ve kesme işlemiyle meydana gelen gerilmeler kaynağın kırılmasına ve kesici takımın bozulmasına neden olur. Bu aşınma genellikle talaş yüzeyi üzerinde oluşur ve krater aşınmasına sebep olur. Adhezif aşınma hızı genelde düşüktür ve uygulamada çok önemli değildir. Ancak, önemli miktarda adhezif aşınma, ağız birikintisi oluşumuna sebep olarak kesici takımdan parça kopmasına yol açabilir.
- Difüzyon veya çözünme aşınma mekanizması, kesici takımın bileşenlerinden birinin talaş malzemesine nüfuz etmesi veya talaş malzemesiyle katı bir çözelti oluşturması

sonucu oluşur. Bu durum kesici takım yüzeyinin zayıflamasına ve kesici takımın talaş yüzeyinde bir krater aşınmasına neden olur. Difüzyon aşınması, kesici takım malzemesinin iş parçası malzemesi içindeki çözünübilirliğine ve kesici takım ile talaşın yüksek sıcaklıklardaki temas süresine bağlıdır. Kesme sıcaklığının artmasıyla bu aşınma da üssel şekilde artar.

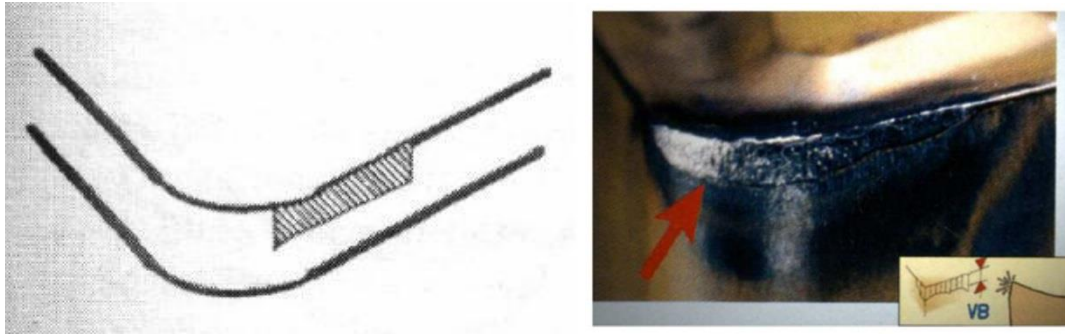
- Oksidasyon aşınma mekanizması, yüksek sıcaklıklarda kesici takım bileşenlerinin (özellikle bağlayıcının) havadaki oksijenle reaksiyonu sonucu oluşur. Bu aşınma neticesinde yüzeyde meydana gelen oksit tabakası kesme ağzında çok küçük çentikler oluşturur, dayanımı düşürür ve kesme kenarının aşınmasına sebep olur.
- Yorulma aşınma mekanizması, talaş kaldırma esnasındaki ısıl ve mekanik olaylar sonucu oluşur. Sıcaklığın değişmesi ve kesintili kesmede kesici takımın ısınması ve soğumasıyla meydana gelen ısıl şoklar ve ayrıca yüzeylerin yüklenmesi ve boşaltılması, kesme ağzında çatlaklar ve kırılmalar oluşturur. Ayrıca kuvvetlerin etkisi altında, ağızlarda parça şeklinde kırılmalara sebep olan saf mekanik yorulma da meydana gelebilir ve bu durumlar özellikle yüksek ilerleme hızlarında sert parça malzemelerinin işlenmesinde görülür.
- Kimyasal aşınma veya korozyon mekanizması, kesici takım malzemesi ile iş parçasının ya da kesme sıvısının kimyasal reaksiyonu neticesinde oluşur. Bu aşınma, serbest yüzey ve krater aşınmasına sebep olur, sıcaklığın artmasıyla serbest yüzey aşınması daha baskın hale gelir. Genel olarak titanyum gibi yüksek derecede reaktif malzemelerin işlenmesinde görülen bu aşınma, ayrıca kesme sıvısı içerisindeki katkıları sebebiyle de oluşabilir (Akben, 2009).

3.6.2. Kesici takım aşınma çeşitleri

Yukarıda açıklanan aşınma mekanizmaları sonucunda oluşan aşınma ve hasar tipleri; serbest yüzey (yan kenar) aşınması, çentik aşınması, krater aşınması, uç kavsi aşınması, ısıl ve mekanik çatlaklar, ağız birikintisi oluşumu, plastik deformasyon, kenar çentiklenmesi, talaş vurması ve uç kırılmasıdır (Akben, 2009).

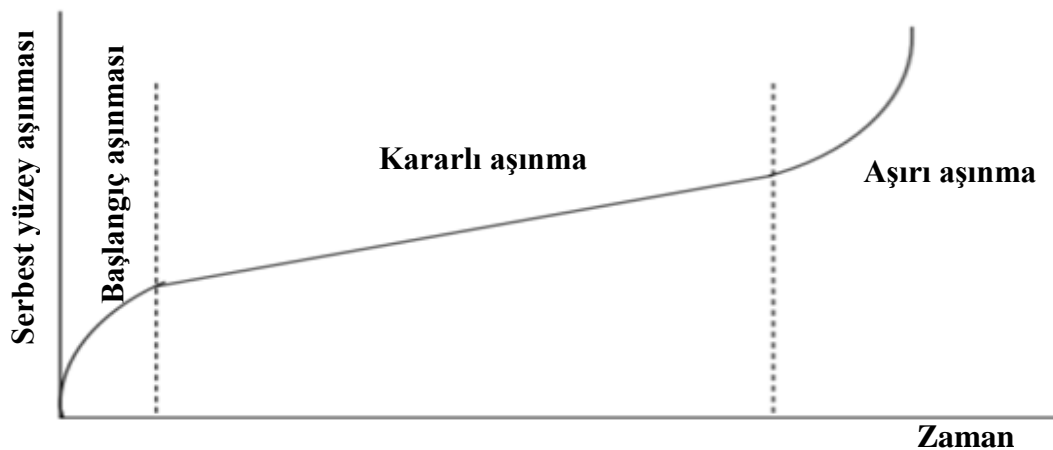
- Serbest yüzey (yan kenar) aşınması: İşlenen iş parçasıyla temas halinde olan kesici takım yüzeyine serbest yüzey denir. Kesici takımın kesme kenarı ve yan yüzeyinde oluşan aşınma yan kenar aşınması olarak isimlendirilir ve bir aşınma bölgesi meydana gelir (Şekil 3.7). İşlenmiş yüzeyle bu aşınma bölgesinin sürtünmesi sonucu

talaş kaldırılan parça yüzeyinde hasar oluşur ve yüksek yüzey kuvvetlerinin oluşması boyutsal doğruluğu azaltır ve sapmalar meydana getirir.



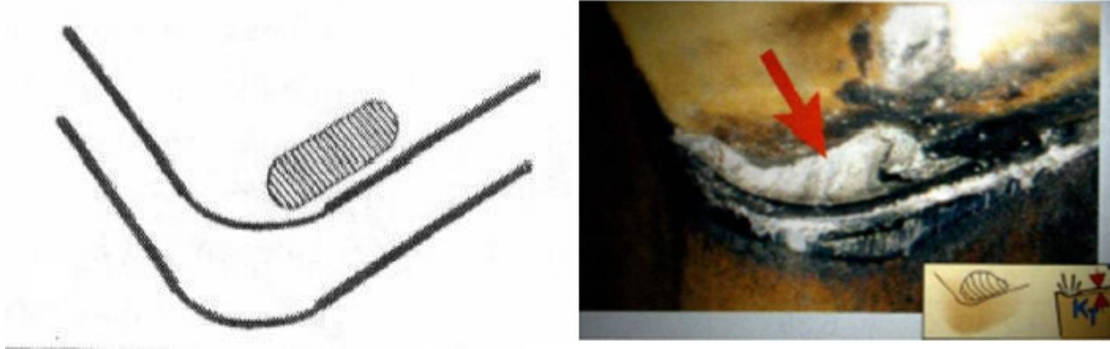
Şekil 3.7. Serbest yüzey aşınması (Karayel, 2015; Akben, 2009)

Yan kenar aşınması genelde kesme kenarlarının abrazyonu ile meydana gelir. Yan kenar aşınma bölgesi genel olarak kenara yakın bölgede oluşup üniform genişliktedir. Yan kenar aşınması ortadan kaldırılamasa da düşürülebilmesi için tedbir alınabilir. Yan yüzey aşınmasının büyüklüğü, ortalama yan yüzey aşınması (V_B) veya kesici takım ucuna olan maksimum mesafesi (V_{Bmax}) ile belirtilir. Serbest yüzey aşınma hızı zamana bağlı olarak değişmektedir (Şekil 3.8). Kesme kenarının hızlı aşındığı ilk bölgeden sonra, serbest yüzey aşınması sabit bir hızla kritik bir aşınma büyüklüğüne ulaşıncaya dek artmaktadır. Bu noktadan sonra hızlı bir aşınma meydana gelir.



Şekil 3.8. Serbest yüzey aşınmasının zamana göre değişimi (Akben, 2009)

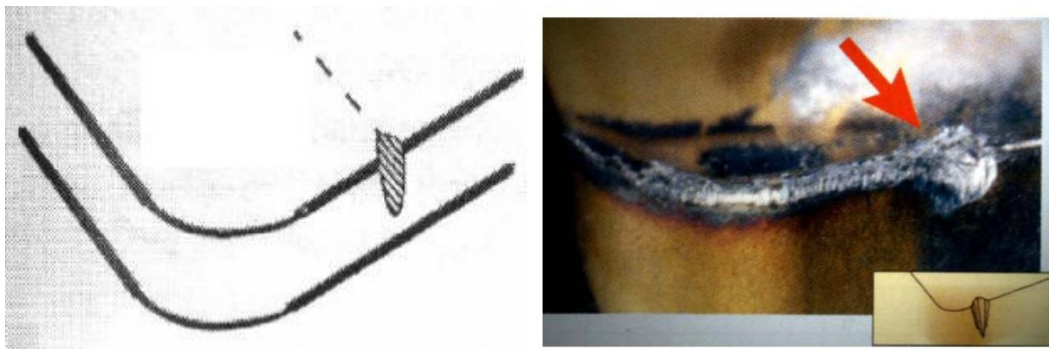
- Krater aşınması: İş parçası yüzeyinden kaldırılan talaş kesici takım üzerinde kaydığı yüzeye talaş yüzeyi denir. Bu aşınma kesici takımın talaş yüzeyinde görülür (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Krater aşınması (Karayel, 2015; Akben, 2009)

Krater aşınmasının orta seviyede olmasıyla kesici takım ömrü sınırlanmaz. Hatta kraterin oluşması kesici takımın etkin talaş açısını artırır ve bu sayede kesme kuvvetleri azalır. Ancak krater aşınmasının aşırı seviyede olması kesici kenarları zayıflatır ve bunun sonucunda kesici takımda deformasyon veya kırılma meydana gelir. Bu nedenle aşırı krater aşınmasının önüne geçilmelidir. Krater aşınmasının zamana göre değişimi, yan yüzey aşınmasının zaman göre değişimine benzer (Şekil 3.8). Kesici ucun talaş yüzeyi ile bu yüzey üzerinde akan sıcak talaşın kimyasal reaksiyonu ve kesici takım malzemesinin talaşa difüzyonu krater aşınmasının ana nedenleridir. Krater aşınmasının düşürülmesi için, kesici takımın talaş içerisindeki çözünürlüğü azaltılabilir veya kesici takım malzemelerinin kimyasal kararlılığı artırılabilir.

- Çentik aşınması: Bu aşınma, kaba yüzeylerin tornalanmasında kullanılan kesici takımlarda, kesici takım ile talaş kenarı veya işlenmemiş yüzey arasındaki temas noktasında kesici takım yüzeyinde oluşur (Şekil 3.10).

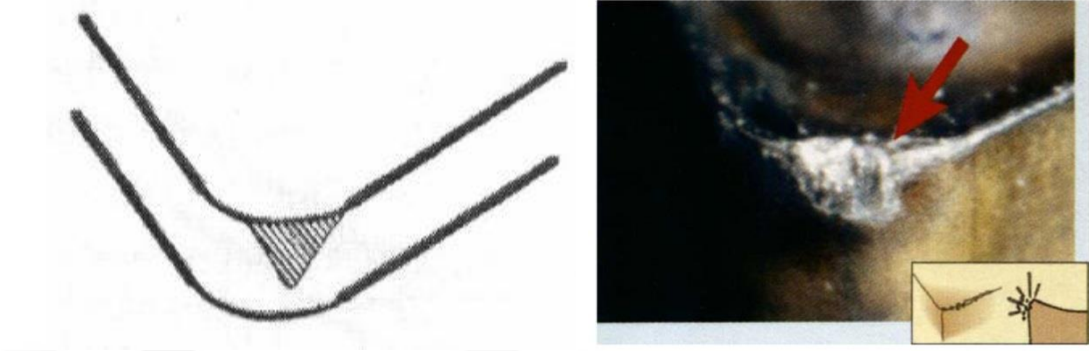


Şekil 3.10. Çentik aşınması (Karayel, 2015; Akben, 2009)

Aşırı çentik aşınması kesici takımın yeniden bilenmesini zorlaştırır ve özellikle seramik parçalarda kırılmaya yol açar. Çentik aşınmasının düşürülebilmesi için, kesici takım malzemesinin deformasyon ve ısıl sertlik direnci artırılabilir, çok

pasolu talaş kaldırmada kesme derinliği değiştirilebilir ve kesici takım ile iş parçası yüzeyi arasındaki temas alanını artıran dalma açısı artırılabilir.

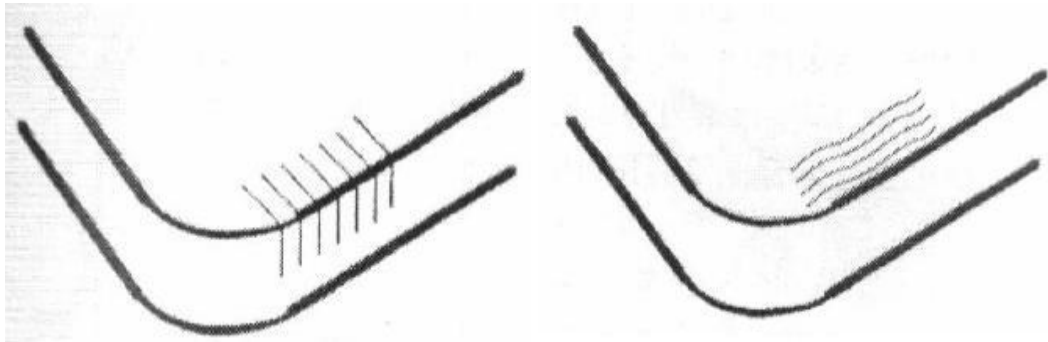
- Uç kavsi aşınması: Kesici takım uç kavsinde, serbest yüzeyinin sonuna yakın bölgede iz kenarı üzerinde meydana gelir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Uç kavsi aşınması (Karayel, 2015; Akben, 2009)

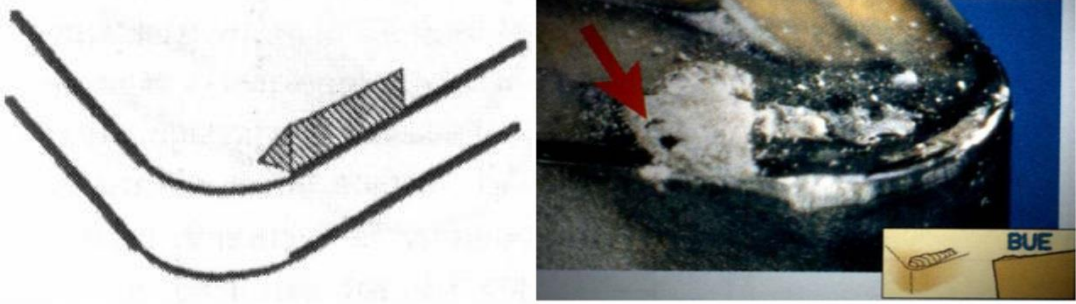
Aşırı uç kavsi aşınması işlenmiş yüzeyin kalitesini düşürür. Öncelikle abrazyon ile korozyon ya da oksidasyon sebebiyle meydana gelir ve çentik aşınması ile serbest yüzey aşınmasının kombinasyonuna benzer. Burun kavsi aşınması ya da uç körlenmesi, kesici takım malzemesinin deformasyon direncinin yetersiz olması sonucunda oluşur.

- Isıl ve mekanik çatlaklar: Talaş kaldırma esnasında yüksek kesici takım-talaş sıcaklıkları veya kesintili talaş kaldırmada kesici takımın değişken yüklerle yüklenmesi sebebiyle meydana gelir. Değişken mekanik yükler sebebiyle kesme kenarlarına paralel olarak meydana gelen çatlaklar ve özellikle bir soğutucu kullanıldığında değişken ısı yükleri altında kesme kenarlarına dik olarak meydana gelen çatlaklar olmak üzere iki tip çatlak meydana gelir (Şekil 3.12). Çatlak oluşumu sonucunda kesici takımda hızlı bir şekilde hasar oluşur.



Şekil 3.12. Isıl ve mekanik çatlaklar (Akben, 2009)

- Ağz birikintisi oluşumu (BUE = Build up edge): Genel olarak, alüminyum gibi yumuşak malzemelerin düşük hızlarda işlenmesi sonucunda işlenen malzemenin kesici kenarlara çok güçlü yapışması, bunların birikmesi ve çıkıntı oluşturmaları neticesinde oluşur.(Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Ağz birikintisi oluşumu (BUE) (Karayel, 2015; Akben, 2009)

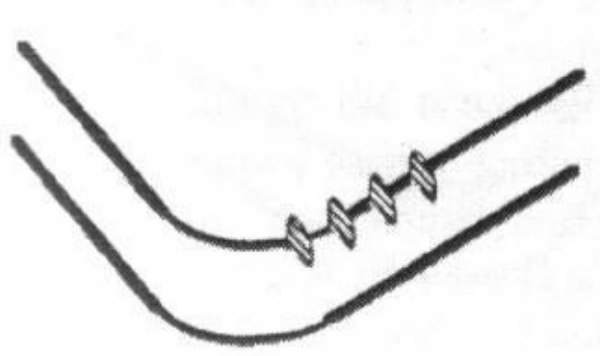
- Plastik deformasyon: Kesici takım tarafından kesici takım ile talaş arasındaki temas alanı üzerinde kesme basınçları desteklenemediğinde, kesici kenarlarda plastik deformasyon meydana gelir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Plastik deformasyon (Karayel, 2015; Akben, 2009)

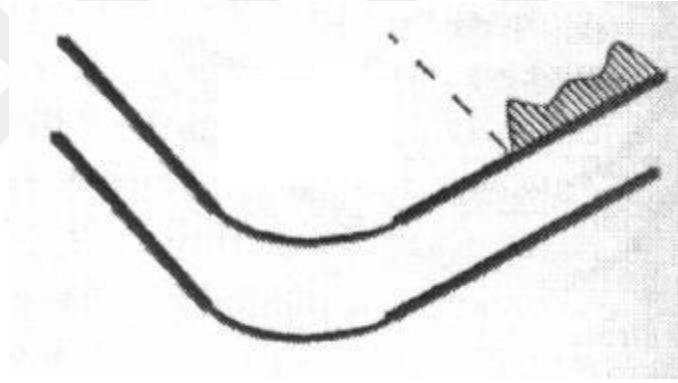
Kesici kenardaki aşırı deformasyon aşırı serbest yüzey aşınmasına, yüzey kalitesinin kötüleşmesine, boyutsal doğruluğun azalmasına ve kesici takımında kırılmaya yol açar.

- Kenar çentiklenmesi: Sert ya da abrazif parçacıklara sahip metal matrisli kompozitler gibi malzemelerin işlenmesinde veya gevrek kesici takımlarla (örneğin seramik) gerçekleştirilen talaş kaldırma işleminde meydana gelir. Ayrıca düşük sistem rijitliği sebebiyle oluşan titreşim veya aşırı kesme kuvvetleri de kenar çentiklenmesine yol açar (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Kenar çentiklenmesi (Akben, 2009)

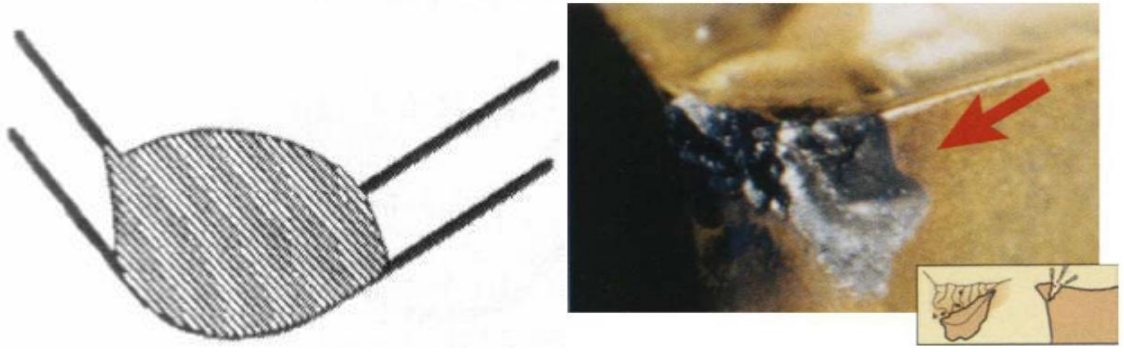
- Talaş vurması: Tok veya paslanmaz çelik gibi abrazif talaş oluşturan malzemelerin seramik kesici takımlarla işlenmesi sonucunda oluşur. Bu durum, talaş geriye doğru kıvrıldığında ve kesici kenardan uzakta kesici takım yüzeyine çarptığında meydana gelir. Bunun sonucunda kesici takım yüzeyinde çukurlar meydana gelir ve kesici takımda hasar oluşur (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Talaş vurması (Akben, 2009)

Talaş vurmasının önlenmesi için kesici takım burun yarıçapı, ilerleme hızı, kesme derinliği veya dalma açısı değiştirilebilir.

- Uç kırılması: Ucu sivri bir kurşun kalemin ucunun kırılmasına benzer şekilde, kesici takımın ucundan bir parçanın kopmasını açıklamak için kullanılır (Şekil 3.17). Aşınma, dereceli olarak gelişen bir süreçtir. Kırılma ise bunun tersine ani bir malzeme ve şekil kaybıdır ve iş parçasının yüzey kalitesi, yüzey bütünlüğü ve boyutsal doğruluğuna büyük zarar verir.



Şekil 3.17. Uç kırılması (Karayel, 2015; Akben, 2009)

Kırılma oluşumunun iki ana sebebi mekanik şoklar (kesintili kesmedeki darbeler) ve ısıl yorulmadır (kesintili kesmedeki periyodik sıcaklık değişimleri). İş parçasının yapısındaki veya malzeme bileşimindeki büyük tutarsızlıklar da kırılmaya yol açabilmektedir. Kesici takımdan parça kopması veya kesici takım kırılması, darbe ve ısıl şok dayanımı yüksek kesici takım malzemesi kullanılarak önlenebilir (Karayel, 2015; Akben, 2009)

3.7. Kesme Sıvıları

Talaşlı imalat sırasında iş parçası ile kesici takım ucu arasında oluşan kuvvet, basınç, gerilme ve sıcaklık gibi etkenler, iş parçası ile kesici takım arasında sürtünme ve sıcaklık oluşmasına, kesici takımda başta aşınma olmak üzere ağız kısmında kırılmalara ve bozulmalara neden olmaktadır. İşlem esnasında kesme sıvısı kullanılması durumunda sıvı, kesici takım ucu ile iş parçası arasında yağlayıcı bir film tabakası oluşturarak yağlama görevi görmektedir. Bu film tabakası, kesici takım-iş parçası ve kesici takım-talaş arasındaki sürtünmeyi azalttığından dolayı kesici takım aşınmasını minimuma indirmekte ve düzgün ve pürüzsüz bir yüzey elde edilmesini sağlamaktadır. Sonuçta, iyi bir metal kesme sıvısı, iş parçasının istenen yüzey kalitelerinde üretilmesine, kesici uç aşınmasının minimize edilmesine, üretimin hızlanmasına ve bu sayede de üretim maliyetlerinin azalmasına yardımcı olmaktadır (Karahana, 2010).

Kesme sıvılarından beklenen özellikler şöyle sıralanabilir:

- İnsan sağlığına zararsız olmalı
- Özelliklerini uzun süre korumalı
- Korozyon etkisi az olmalı
- Yağlama ve soğutma özelliği olmalı
- Isı transfer yeteneği iyi olmalı

- Kıvılcım tehlikesi taşımamalı
- Köpürmemeli
- Uçucu olmamalı
- Tezgaha zarar vermemeli (Ağar, 2014).

3.7.1. Kesme sıvılarının görevleri

Talaşlı imalatta kullanılan kesme sıvılarının esas görevi soğutma ve yağlama sayesinde sıcaklığı kontrol altında tutmaktır. Kesme sıvılarının görevleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Soğutma-Yağlama
- Talaşı uzaklaştırma
- Kaynak oluşumunu ve korozyonu engelleme
- Güç sarfiyatını düşürme
- Kesici takım ömrünü ve verimliliği arttırma
- Belli bir tipte talaş oluşturma (Akben, 2009).

3.7.2. Kesme sıvılarının insan ve çevre sağlığına etkileri

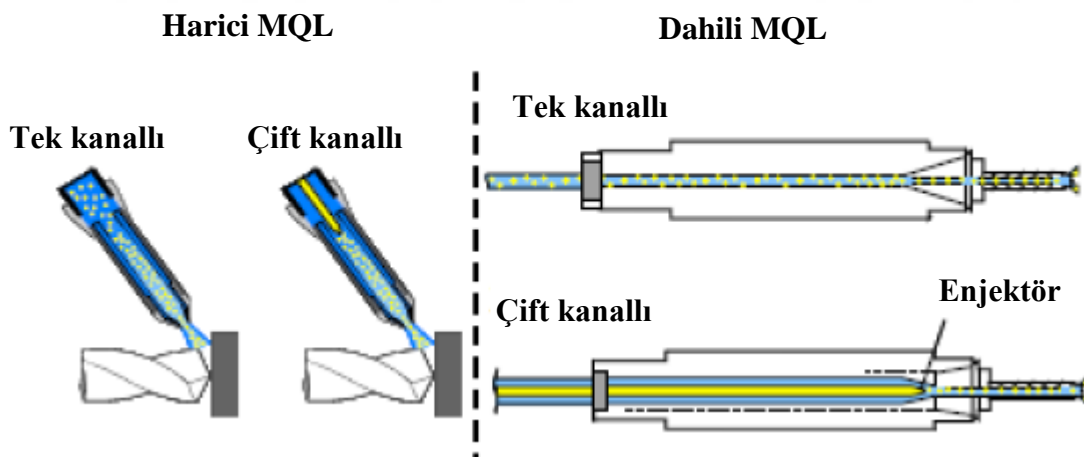
Metal kesme işlemleri sırasında oluşan yüksek sıcaklığın olumsuz etkilerini azaltmak, iyi bir yüzey kalitesi elde etmek ve kesici takım ömrünü uzatmak amacıyla kullanılan kesme sıvıları, avantajlarının yanı sıra bazı olumsuz etkilere de neden olmaktadır. Kesme sıvılarının bakımları zamanında ve uygun biçimde yapılmadığı zaman bu sıvılarda su buharlaşması, bakteri oluşumu, kirlilik ve yağ ile oluşan reaksiyon sonucu bozulmalar meydana gelebilmektedir. Bu bozulmalar iş parçası, kesici takım, tezgah, çevre ve insan sağlığına negatif etkide bulunmaktadır. Kesme sıvılarının kullanılması sonucunda solunum rahatsızlıkları, cilt kanseri, folliculitis ve dermatit gibi istenmeyen durumlar oluşabilmektedir. Bu durumlardan korunmak için kesme sıvılarının temasının önlenmesi gerekmektedir. Bu nedenlerden dolayı MQL tekniğinin kullanılması önemlidir (İlhan, 2014).

3.8. Minimum Miktarda Yağlama

Minimum miktarda yağlama (MQL), işlemlerde soğutmak amacıyla kullanılan kesme sıvısı yerine sistemdeki sıkıştırılmış havanın içinde yağın pulvarize olarak kesme bölgesine püskürtülmesiyle kesici takım ile iş parçası arasında yağ filmi meydana

getirerek aralarındaki sürtünmeyi azaltması sonucunda iş parçasının ve kesici takımın daha az ısınmasını sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntemde amaç soğutmak değil oluşan ısının büyük bölümünün talaşla dışarı atılmasını sağlayarak kesici takımda ve iş parçasında oluşabilecek ısınmaları engellemektir (İnternet, 2017). MQL sisteminde iyi yağlama ve yüksek basınç performansı sebebiyle genelde bitkisel yağlar kullanılır (Elmunafi, 2015). Bitkisel yağ kullanılan yöntemde minimum miktarda yağlama denirken; su bazlı kesme sıvısı kullanılan yöntemde minimum miktarda soğutma denilmektedir. Gerekli sıvı miktarı, uygulamanın ve sıvının çeşidine göre değişmekle birlikte, genellikle saatte 10 ile 150 mL'dir. Parça işleme esnasında yağ neredeyse tüketildiği için havaya sis karışmamaktadır. Talaşlar kuruya yakındır ve kolayca geri dönüştürülebilir (Akben, 2009).

Minimum miktarda yağlama yöntemi iki farklı şekilde uygulanabilir. Birincisinde sabit nozüllerle dışarıdan püskürtme yapılır. İkincisinde ise aerosol, kesici takım içine açılmış kanallar aracılığıyla püskürtülür (Şekil 3.18). Ayrıca bu sistemler kendi içinde tek kanallı ve çift kanallı olmak üzere ikiye ayrılır. Tek kanallı sistemde, hava yağ karışımı dışarıda hazırlanarak püskürtülür, çift kanallı sistemde ise hava ve yağ ayrı olarak nozül içine gelir ve orada karıştırılır (Akben, 2009).



Şekil 3.18. Minimum miktarda yağlamada dıştan ve içten püskürtme (Bijanзад, 2013)

3.8.1. Harici (dıştan) MQL sistemi

Bu sistemde aerosol kesici uca dışardan bir veya daha fazla nozülle ulaştırılır. Burada nozül sayısı, yönü ve düzeni yöntemin kalitesini belirlemede önemlidir. Bu teknik; kesmede, parmak ve alın frezelemede ve tornalamada kullanılmaktadır. Delme, raybalama ve diş açma gibi işlemlerde sadece uzunluk/çap oranı $l/d < 3$ olduğu

durumlarda dıştan püskürtme kullanışlıdır. Bu oran daha büyükse kesici takım birkaç kez geri çekilerek yeniden ıslanması sağlanmalıdır ki bu da toplam işleme süresini önemli ölçüde artıracaktır. Ayrıca değişken uzunluk ve çaptaki çoklu kesici takımların kullanıldığı durumlarda da bu yöntem problemlere yol açabilir. Bu gibi işlemlerde nozüller ya elle ayarlanmalı ya da tezgâhın kontrol ünitesine bağlanan konumlandırma sistemleri vasıtasıyla kesici takımın boyutlarına göre radyal ve aksenel yönde ayarlanabilir veya belli bir açıyla döndürülebilir olmalıdır. Kesici takım içerisinde soğutma kanalı olmadığı durumlarda ise dıştan püskürtme zorunlu olarak kullanılır.

3.8.2. Dahili (içten) MQL sistemi

Sıvının mil ve kesici takım içinden geçtiği içten püskürtme, l/d oranının daha büyük olduğu delme, raybalama ve diş açma işlemlerinde kullanışlıdır. Bu yöntemle kesici takımın pozisyonundan bağımsız olarak püskürtülen sıvı kesme kenarına ulaşır. Derin delik delme işlemlerinde, büyük l/d oranı içten püskürtmeli minimum miktarda yağlamayı vazgeçilmez hale getirmektedir. Bu yöntemin diğer avantajları ise nozül konumlandırmadan doğabilecek hataların önlenmiş olması ve kesici takım içinden püskürtme yapıldığından dolayı işleme alanının besleme borularıyla işgal edilmemiş olmasıdır (Akben, 2009).

3.8.3. Minimum miktarda yağlama tekniğinin avantajları

MQL sisteminin bazı avantajlarını şöyle sıralayabiliriz:

- Tamamen doğal, insana ve çevreye zararsız, içerisinde hiçbir zehirli madde bulunmayan yağ kullanılması
- Kesme sıvısı kullanımını ortadan kaldırması
- Yağ kullanımı çok düşük olduğundan atık oluşturmaması
- Koku yapma, bakteri üreme gibi herhangi bir sorun teşkil etmemesi
- İş parçasında, kesici takımda veya tezgahta herhangi bir paslanmaya neden olmaması
- Ölçü toleranslarının sağlanmasında daha kararlı operasyonlar elde edilmesi
- Kesici takım ömrünün uzamasına katkıda bulunması
- Tezgahta işleme yapıldığı sırada kesici takım ve iş parçasının rahatlıkla izlenebilmesi

- Talaşların kuruya yakın elde edilmesi ve böylece talaşların yeniden eritilerek kullanılabilmesi
- Emniyetli ve kuru bir çalışma ortamı sağlaması
- Yağ bozulması gibi bir sorun oluşturmadığından tankın tamamen boşaltılıp temizlenmesi gibi uzun süren bir işlem gerektirmemesi
- Saf yağ ile yapılan işlemlerin yerine devreye alındığında operasyonlardan sonra yapılan ara yıkama işlemlerini gerektirmemesidir (İnternet, 2017).



4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. İş Parçası Malzemesi

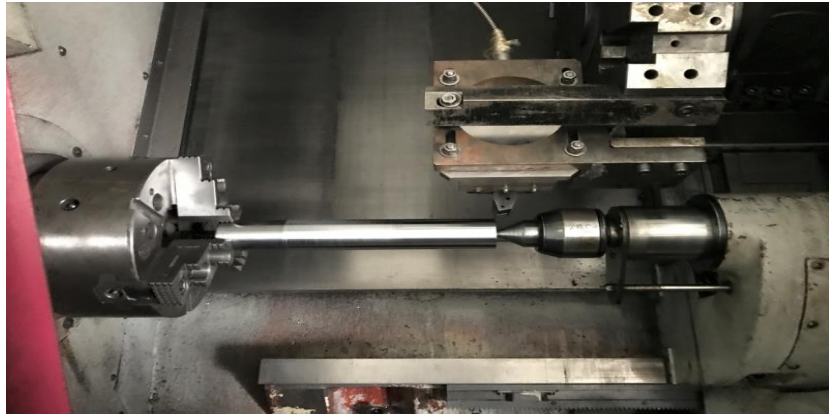
Deneylerde iş parçası malzemesi olarak AISI 4140 çeliği kullanılmıştır. Deney numunesinin çapı 50 mm ve boyu 300 mm olarak belirlenmiştir. Kullanılan iş parçasının kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. İş parçası malzemesinin % kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri

C	Mn	Si	P	S	Cr
0.38-0.45	0.60-0.90	0.40 (max)	0.025 (max)	0.020-0.035	0.90-1.20
Ni	Mo	Cu	Sn	Ti	Fe
0.30 (max)	0.15-0.30	0.30 (max)	0.050 (max)	0.050 (max)	Kalan
Sertlik (HRC)		Çekme mukavemeti (N/mm ²)		Akma mukavemeti (N/mm ²)	
34-45		900-1100		650 (min)	

4.2. Takım Tezgahı

Tornalama deneylerinin gerçekleştirilmesinde Gazi Ünivesitesi İmalat Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan JohnFord TC35 marka CNC torna tezgahı kullanılmıştır. Kullanılan tezgahın iç ünitesi Şekil 4.1’de ve özellikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.



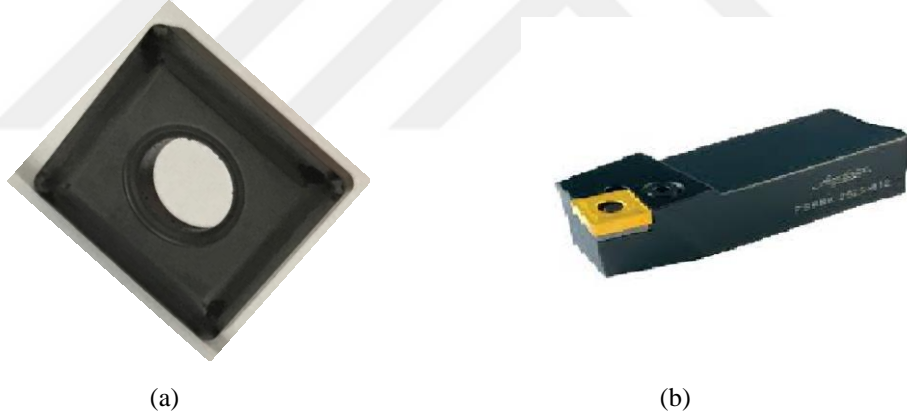
Şekil 4.1. JohnFord TC35 CNC torna iç ünitesi

Çizelge 4.2. JohnFord TC35 CNC torna tezgahının özellikleri

Özellik	Değeri
X eksen	250 mm
Z eksen	600 mm
Max. devir sayısı	4000 rpm
Tezgah gücü	10 kW
Hassasiyet	0,001 mm
Hidrolik ayna çapı	250 mm
Taret, takım bağlama kapasitesi	12 adet

4.3. Kesici Takımlar ve Takım Tutucu

Deneylerde Mitsubishi takım firmasının UTI20T/P30 kalitesine sahip SNMG 120408MS formunda kaplamasız karbür kesici uçlar ve bu uçlara uygun olan PSBNR 2525M12 takım tutucu kullanılmıştır. Kesici uç ve takım tutucu Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. (a) SNMG 120408MS kesici uç, (b) PSBNR 2525M12 takım tutucu

4.4. Kesme Parametreleri

Kesme parametreleri, ISO 3685 şartları ve üretici kesici takım firmasının önerileri dikkate alınarak belirlenmiştir. İşleme deneylerinde dört farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme, sabit kesme derinliği ve üç farklı MQL debisi kullanılmıştır. İşleme deneylerinde kullanılan parametreler Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.3. İşleme deneylerinde kullanılan parametreler

Kesme Hızı, V (m/dk)	75 - 100 - 125 - 150
İlerleme, f (mm/dev)	0.16 - 0.25 - 0.5
Kesme derinliği, a (mm)	2.5
MQL Debisi, Q (ml/dk)	0.35 - 0.8 - 1.7
Basınç, P (bar)	3
Soğutucu koşulları	MQL - kuru işleme - ıslak işleme

Kesici takım aşınma deneyleri sabit talaş kaldırma hacmi referans alınarak kuru işleme, ıslak işleme ve üç farklı MQL debi oranında gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde kesme parametreleri olarak 125 m/dk kesme hızı, 0.16 mm/dev ilerleme ve 2.5 mm kesme derinliği kullanılmıştır.

4.5. Geleneksel Soğutma Sıvısı

Geleneksel kesme sıvısı olarak emülsiyon oranı %10 Brix olan Q8 BARANI XCI-H yarı sentetik soğutma sıvısı kullanılmıştır. Soğutma sıvısı kesme bölgesine dışarıdan uygulanmıştır.

4.6. Minimum Miktarda Yağlama

MQL sistemi olarak, kullanılan takım tezgahı özellikleri de dikkate alınarak harici uygulamalara uygun olan SKF firmasına ait UFB20-Basic soğutma sistemi kullanılmıştır. MQL sisteminin temel ünitesi Şekil 4.3'te verilmiştir. MQL uygulaması için çelik malzemelerin işlenmesine uygun Lubrioil cinsi yağ kullanılmış ve özellikleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.3. UFB20 Basic MQL sistemi

Çizelge 4.4. Lubrioil yağın özellikleri (Akben, 2009)

Özellik	Yoğunluk (20 °C)	Viskozite (40 °C)	Tutuşma sıcaklığı	Akma noktası	Renk
Değer	0.92 g/cm ³	47 mm ² /s	265 °C	- 27 °C	Sarı

4.7. MQL Debisinin Belirlenmesi

Deneyler gerçekleştirilmeden önce MQL sisteminin hangi debilerde uygulanacağını belirlemek için bazı işlemler yapılmıştır. MQL debilerinin belirlenmesinde önce yağ-hava karışımı bir dakika boyunca boş bir beher içine gönderilmiş ve daha sonra hassas terazi ile ölçüm yapılarak ml/dk cinsinden debiler elde edilmiştir. MQL debilerinin belirlenmesi Şekil 4.4'te verilmiştir.



a) yağın beher içine gönderilmesi



b) yağın hassas terazi ile ölçülmesi

Şekil 4.4. MQL debilerinin belirlenmesi

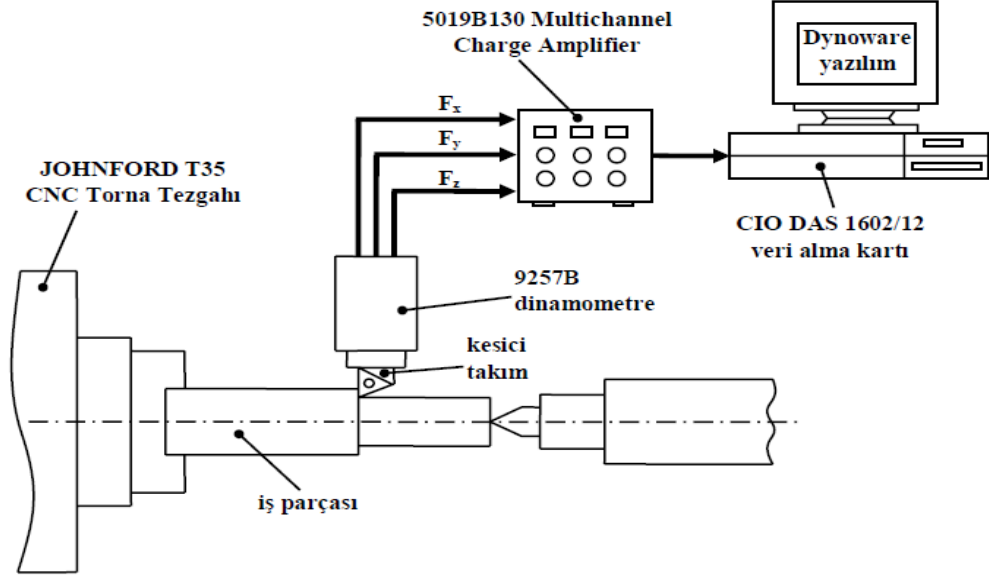
4.8. Kesme Kuvvetlerinin Ölçümü

Tornalama sonucu oluşan esas kesme kuvvetleri; kesme kuvvetinin üç bileşenini (Fc, Ff ve Fp) ölçme kapasitesine sahip olan KISTLER 9257B tipi dinamometre ile ölçülmüştür. Kullanılan dinamometrenin özellikleri Çizelge 4.5'te verilmiştir.

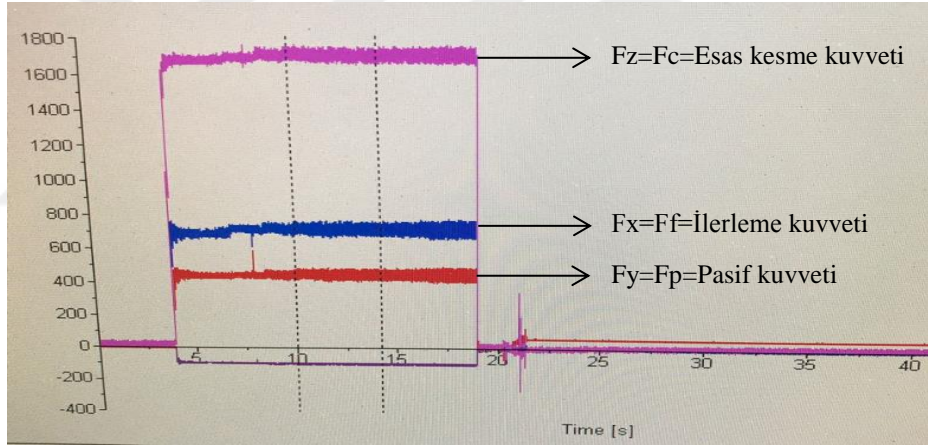
Çizelge 4.5. KISTLER 9257B tipi dinamometrenin özellikleri (İlhan, 2014)

Özellik	Değer
Kuvvet aralığı (Fx, Fy, Fz)	-5...10 kN
Tepki verme	0,01 N
Hassasiyet (Fx, Fy)	-7,5 pC/N
Hassasiyet (Fz)	-3,5 pC/N
Doğrusallık	%1 FSO
Histerezis	%0,5 FSO
Doğal frekans f_0 (x,y,z)	3,5 kHz
Çalışma sıcaklığı	0°...70 °C
20 °C' deki yalıtım direnci	1013 Ω
Kapasitans	220 pF
Topraklama sınıfı	108 Ω
Ağırlık	7,3 kg
Koruma sınıfı	IP 67

Dinamometre tarafından kaydedilen esas kesme kuvveti değerleri Kistler Type 5070A Multichannel Charge Amplifier (yükselteç) vasıtasıyla Kistler Type 2825A1-2 Dynoware yazılımı ve Type 2855A3 A/D Board CIO-DAS 1602/12 veri alma kartı kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır (Şekil 4.5). Kesme süresince elde edilen esas kesme kuvveti değerlerinin Dynoware programı yardımıyla ölçülmesi Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Şekil 4.6'da görülen esas kesme kuvvetlerinin kararlı eğilimde olduğu bölgenin başlangıç ve bitiş değerleri baz alınarak, ortalama esas kesme kuvvetleri belirlenmiştir.



Şekil 4.5. Tornalama işleminde esas kesme kuvveti ölçümü için kullanılan ekipmanların gösterimi (Mavi, 2013)



Şekil 4.6. Dynoware programı ile esas kesme kuvvetlerinin ölçülmesi

4.9. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçümü

İşleme deneyleri sonucu oluşan iş parçası yüzeyindeki yüzey pürüzlülükleri Gazi Üniversitesi İmalat Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan Mahr Perthometer-M1 ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Her bir deney numunesinin işlenmiş yüzeyinden 5.6 mm ölçme boyunda üç ayrı ölçüm alınarak aritmetik ortalamaları hesaplanmıştır. Mahr Perthometer-M1 ölçüm cihazı Şekil 4.7’de ve özellikleri Çizelge 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.7. Mahr Perthometer-M1 ölçüm cihazı

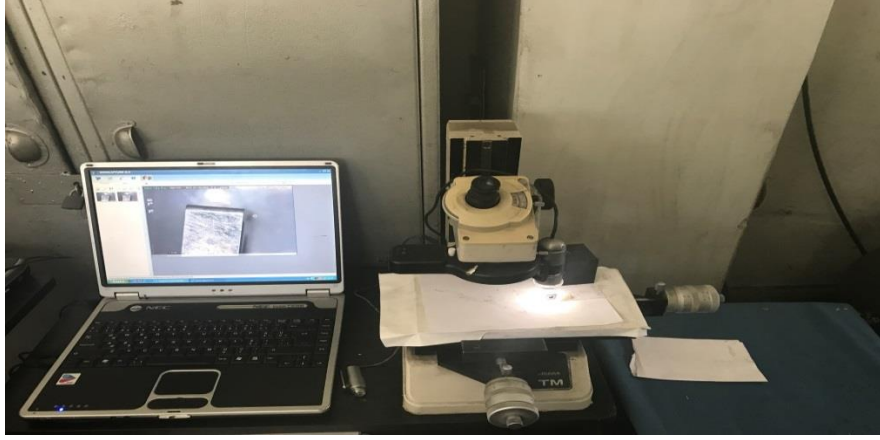
Çizelge 4.6. Mahr Perthometer-M1 ölçüm cihazının özellikleri (İlhan, 2014)

Özellik	Değer
İğne uç yarıçapı	2 µm
Ölçme aralığı	100–150 µm
Tarama kuvveti	0,75 mN
Tarama hızı	0,5 m/s
Profil çözünürlüğü	12 mm
Filtre	Gaussian
Ölçülebilen parametreler	Ra, Rz, Rmax
Ölçme uzunluğu (L)	1,75 – 5,6 – 17,5 mm
Örnekleme uzunluğu	0,25 – 0,8 – 2,5 mm

4.10. Kesici Takım Aşınmasının Ölçümü

Sabit kesme hızı (125 m/dk), ilerleme (0.16 mm/dev) ve kesme derinliği (2.5 mm) ile farklı işleme koşullarında (kuru, ıslak ve MQL işleme) gerçekleştirilen kesici takım aşınma deneyleri sonucunda kesici takımlarda oluşan ortalama yan yüzey aşınma miktarları (V_B) talaş kaldırma hacmine göre hesaplanmıştır. Kesici takımlardaki ortalama yan yüzey aşınması, Gazi Üniversitesi İmalat Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan Mitutoyo TM optik mikroskopuyla ölçülmüş ve kesici uçlardaki aşınma mekanizmaları Gazi Üniversitesi Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan JEOL JSM-6060LV tarama elektron mikroskobu (SEM)

cihazıyla belirlenmiştir. Mitutoyo TM optik mikroskobu Şekil 4.8’de ve JEOL JSM-6060LV SEM cihazı Şekil 4.9’da verilmiştir.



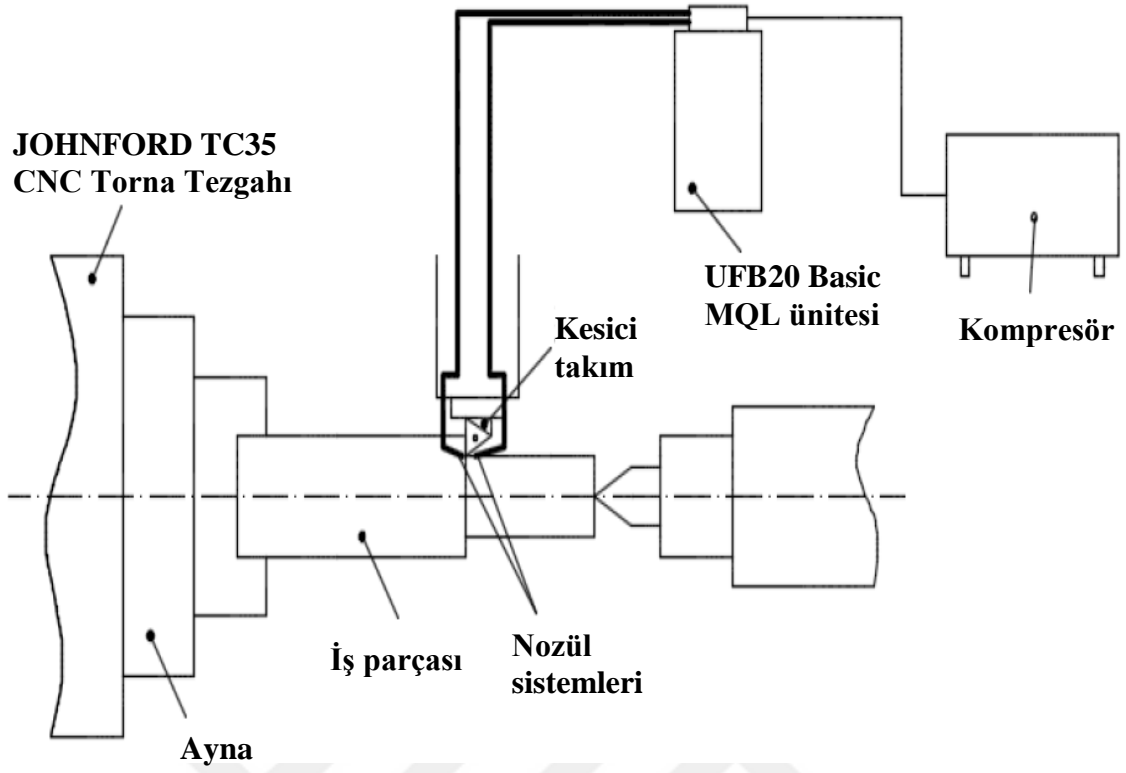
Şekil 4.8. Mitutoyo TM optik mikroskobu



Şekil 4.9. JEOL JSM-6060LV SEM cihazı

4.11. Deney Şeması

Deneylerde CNC torna tezgahına bağlanan iş parçası ile kesici takım arasındaki kesme bölgesine harici MQL uygulaması yapılmıştır. Kompresörden sağlanan hava ile bu bölgeye yağ-hava karışımı püskürtülmüştür. Deney şeması Şekil 4.10’da verilmiştir.



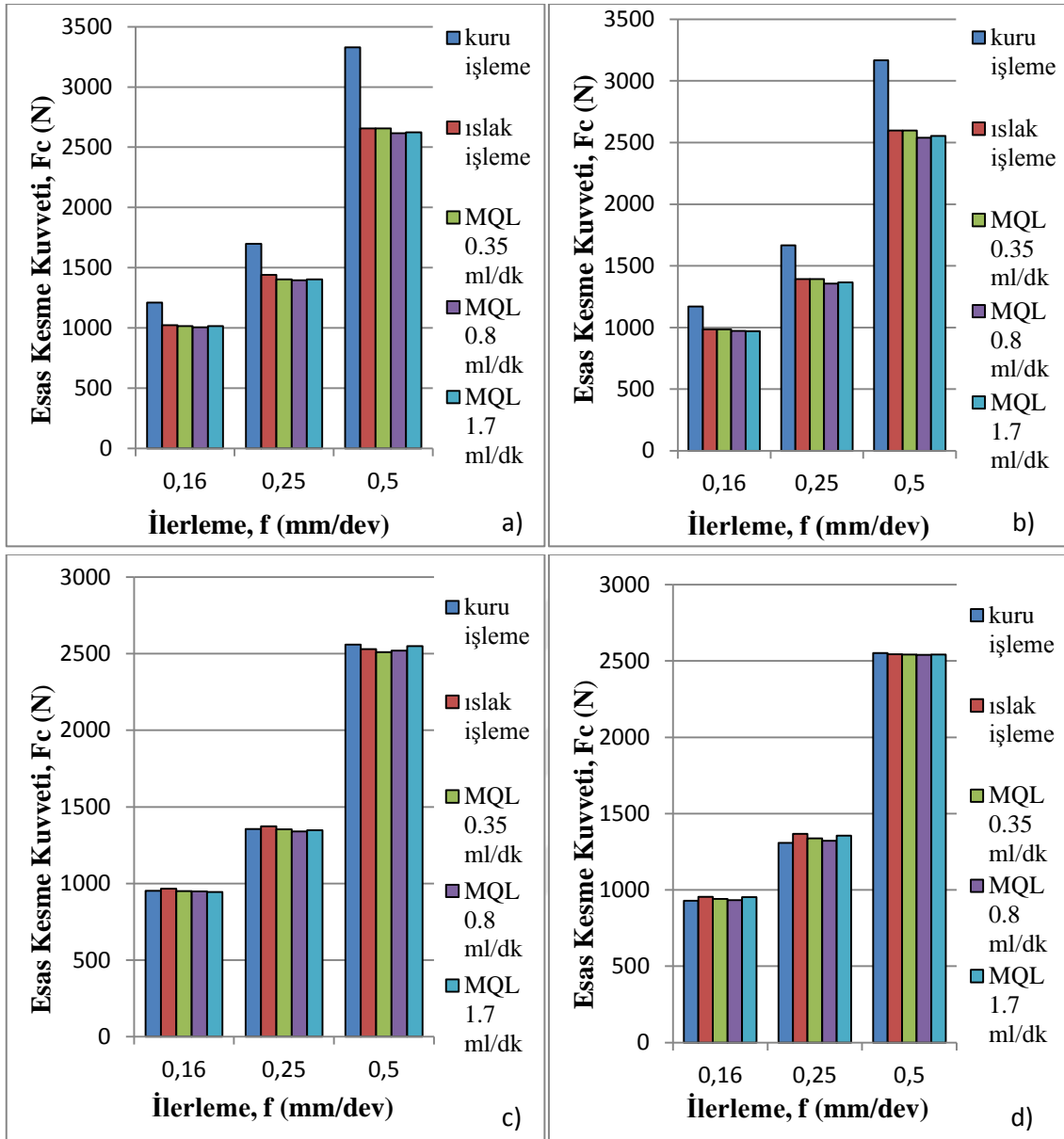
Şekil 4.10. Deney şeması (İlhan, 2014)

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada AISI 4140 iş parçası malzemesinin tornalanmasında MQL kullanımının işlenebilirlik üzerine etkisi araştırılmıştır. İşlenebilirlik kriterleri olarak kesme kuvvetleri, kesici takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü incelenmiş ve sonuçlar kuru kesme ve ıslak kesme ile karşılaştırılmıştır. Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü deneylerinde dört farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme, üç farklı MQL debisi ve sabit kesme derinliği kullanılmıştır. Kesici takım aşınması deneyleri ise üç farklı MQL debisi ile sabit kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği şartları altında gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu deneyler sonucunda elde edilen esas kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü değerleri ve kesici takım aşınması ayrı başlıklar altında değerlendirilmiştir.

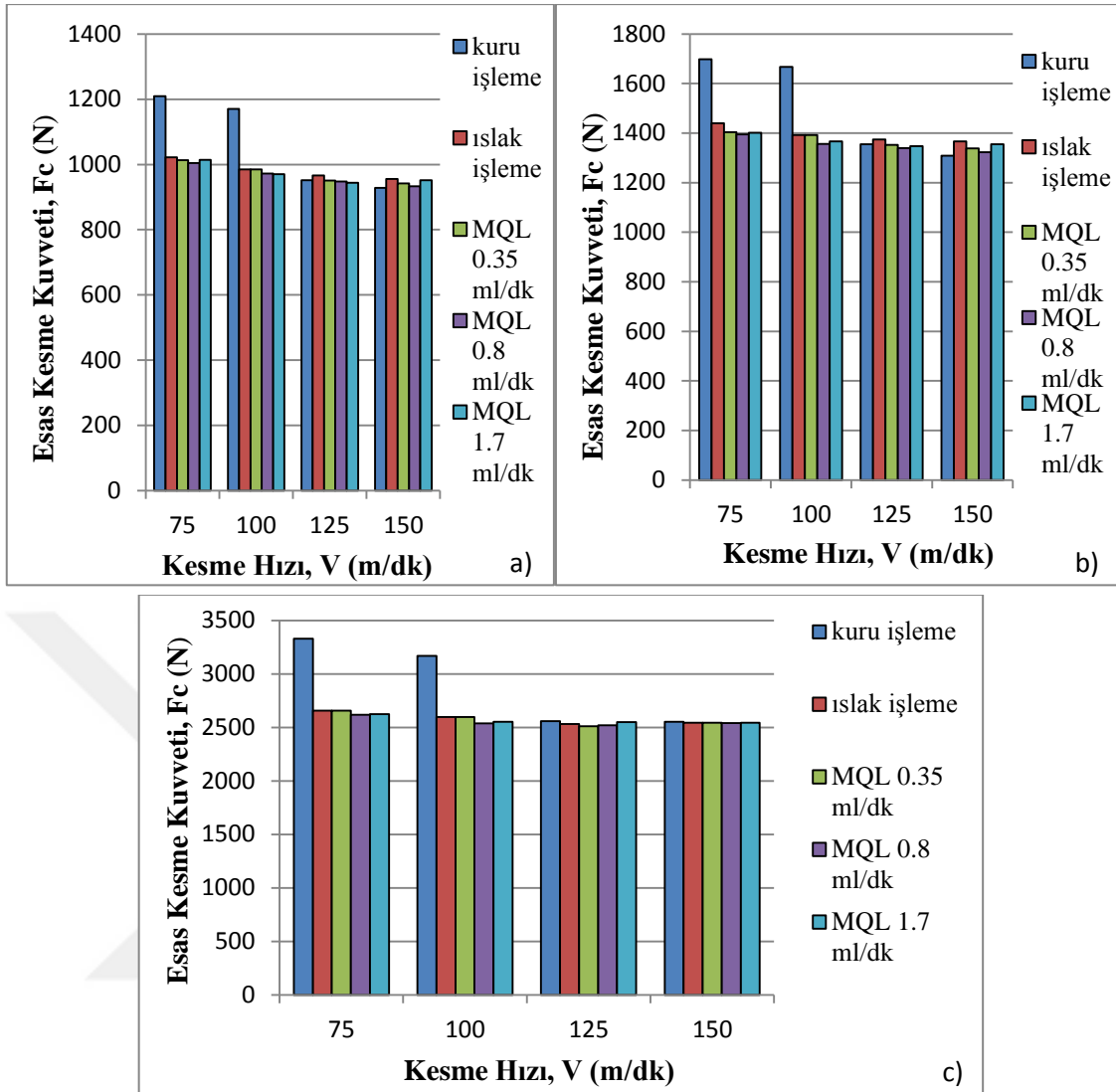
5.1. Esas Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi

AISI 4140 çeliğinin farklı işleme koşullarında ve kesme parametrelerinde tornalanması sonucu oluşan esas kesme kuvvetlerinin grafikleri Şekil 5.1 - Şekil 5.2’de verilmiştir. Şekil 5.1’deki grafikler incelendiğinde, tüm işleme koşullarında ilerlemenin artmasıyla esas kesme kuvvetlerinin de arttığı görülmektedir. İlerlemenin artışıyla malzemenin kopmaya karşı direncinin yükselmesi sonucu talaş kesit alanının artması esas kesme kuvvetlerinin de artmasına sebep olmuştur (Saini ve ark., 2014). Aynı zamanda ilerleme arttıkça birim zamanda kaldırılan talaş miktarının da artması sonucunda esas kesme kuvvetinde artış meydana gelmiştir.



Şekil 5.1. Farklı kesme hızlarında ilerleme oranı ve işleme koşullarının esas kesme kuvvetine etkisi
a) V=75 m/dk b) V=100 m/dk c) V=125 m/dk d) V=150 m/dk

Şekil 5.2'deki grafiklere bakıldığında tüm işleme koşulları için kesme hızının artışıyla esas kesme kuvvetlerinin genel olarak azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Kesme hızının artmasıyla kesici takım-talaş arayüzündeki sürtünme azaldığından dolayı esas kesme kuvvetleri azalmıştır (Dhar ve ark., 2007).



Şekil 5.2. Farklı ilerleme oranlarında kesme hızı ve işleme koşullarının esas kesme kuvvetine etkisi
a) $f=0.16$ mm/dev b) $f=0.25$ mm/dev c) $f=0.5$ mm/dev

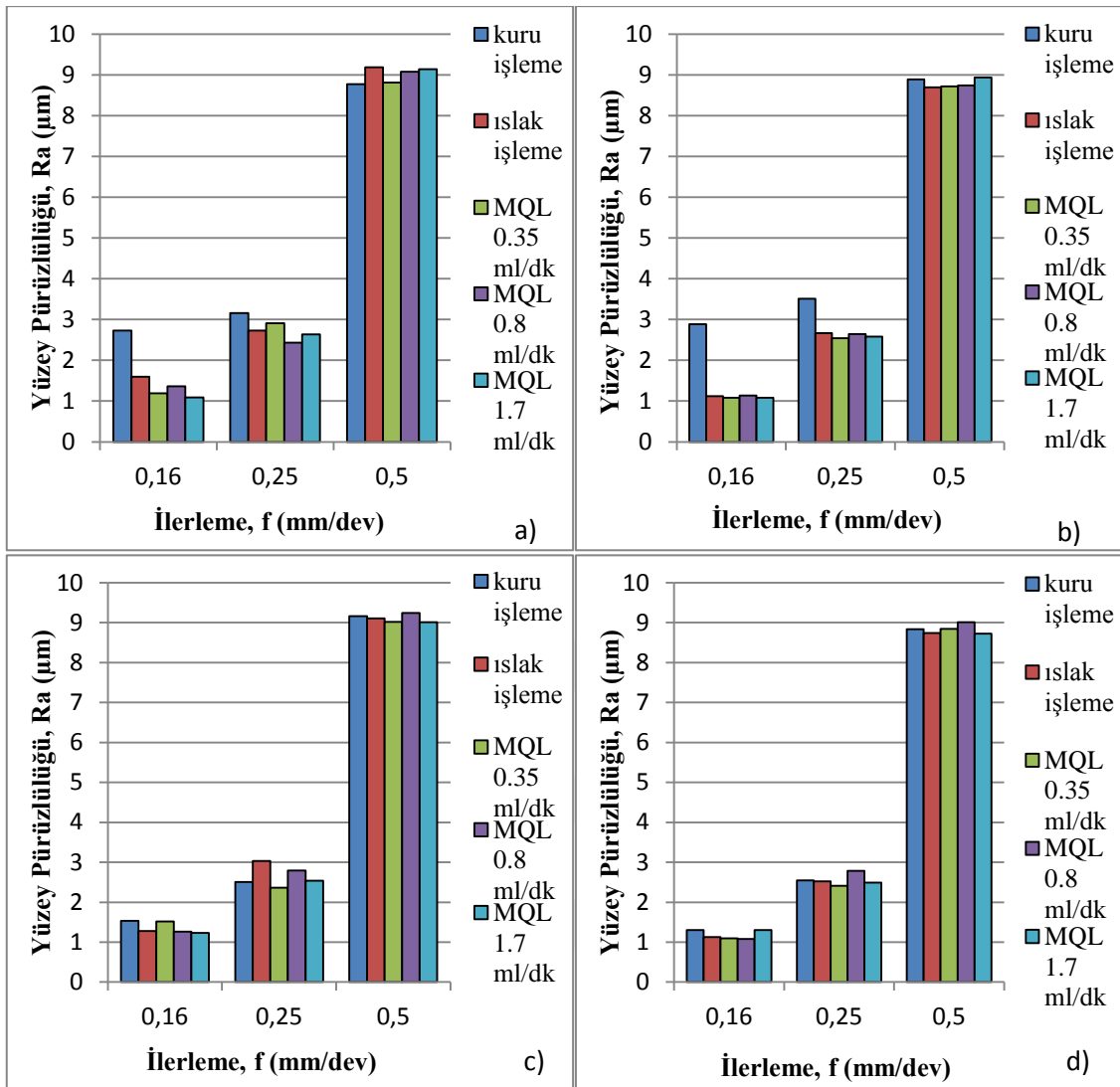
Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'deki grafikler incelendiğinde, en yüksek esas kesme kuvvetlerinin genel olarak kuru işlemede elde edildiği ve MQL uygulamasının kuru ve ıslak işlemeye göre esas kesme kuvvetlerini genel olarak azalttığı görülmektedir. MQL uygulaması; kuru ve ıslak işlemeye göre kesici takım-talaş etkileşimini geliştirmesine, kesici kenarların keskinliğini korumasına ve daha düşük işleme sıcaklığı oluşturmaya bağlı olarak esas kesme kuvvetlerini azaltmıştır (Hadad ve Sadeghi, 2013). Ancak Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'deki grafiklere bakıldığında yüksek kesme hızlarında (125, 150 m/dk) kuru işleme, ıslak işleme ve MQL uygulaması ile elde edilen esas kesme kuvvetleri arasındaki farkların azaldığı ve bazı deneylerde kuru kesmenin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Bunun nedeni, kesme hızındaki artışla MQL uygulamasında kullanılan yağlayıcı maddenin kesme alanına nüfuz etmesinin zorlaşması sonucunda MQL'nin etkisinin sınırlanmasıdır (Hadad ve Sadeghi, 2013). Kesme parametreleri açısından en

yüksek esas kesme kuvveti değeri 75 m/dk kesme hızı ve 0.5 mm ilerlemede elde edilirken en düşük esas kesme kuvveti değeri 150 m/dk kesme hızı ve 0.16 mm/dev ilerlemede elde edilmiştir.

Esas kesme kuvvetleri üzerinde MQL debisinin etkisini görmek için Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'deki grafikler incelendiğinde, debi oranının 0.35 ml/dk'dan 0.8 ml/dk'ya artmasıyla esas kesme kuvvetlerinin genel olarak azaldığı ve debi oranının 0.8 ml/dk'dan 1.7 ml/dk'ya artmasıyla esas kesme kuvvetlerinde genel olarak bir artış olduğu görülmektedir. Ortaya çıkan bu sonuç, esas kesme kuvvetlerinin artan debi ile belirli bir yere kadar azaldığını göstermektedir. Bunun nedeni, MQL uygulamasında sınır yağlama şartının var olmasıdır. Sınır yağlama şartlarında, yağlama etkisi yalnızca yağlayıcı miktarına bağlı değil, aynı zamanda yağlayıcı maddenin özelliği, iş parçasının ve kesici takımın malzeme özelliği, iş parçasının bitiş yüzeyi gibi faktörlere de bağlıdır. Bundan dolayı MQL uygulamasında yağlayıcının maksimum efektif miktarı söz konusudur. Yağlayıcı akış hızı, maksimum efektif miktarının üzerine çıktığında, kesme alanına nüfuz eden yağlayıcı maddenin efektif miktarı değişmeyecektir (Ji ve ark., 2014). Dolayısıyla debi artışı başlangıçta kesici takım-talaş temasında sürtünmeyi azaltarak esas kesme kuvvetlerinin genel olarak düşmesine neden olmuş ancak daha sonra yağlayıcı miktarının maksimum efektif miktarının üzerine çıkmasıyla diğer faktörlere de bağlı olarak esas kesme kuvvetlerinde genel olarak bir artış meydana gelmiştir (Ji ve ark., 2014; Behera ve ark., 2018). Bu nedenle esas kesme kuvveti açısından bu çalışma şartlarında MQL uygulaması için maksimum efektif debi değerinin 0.8 ml/dk olduğu söylenebilir.

5.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi

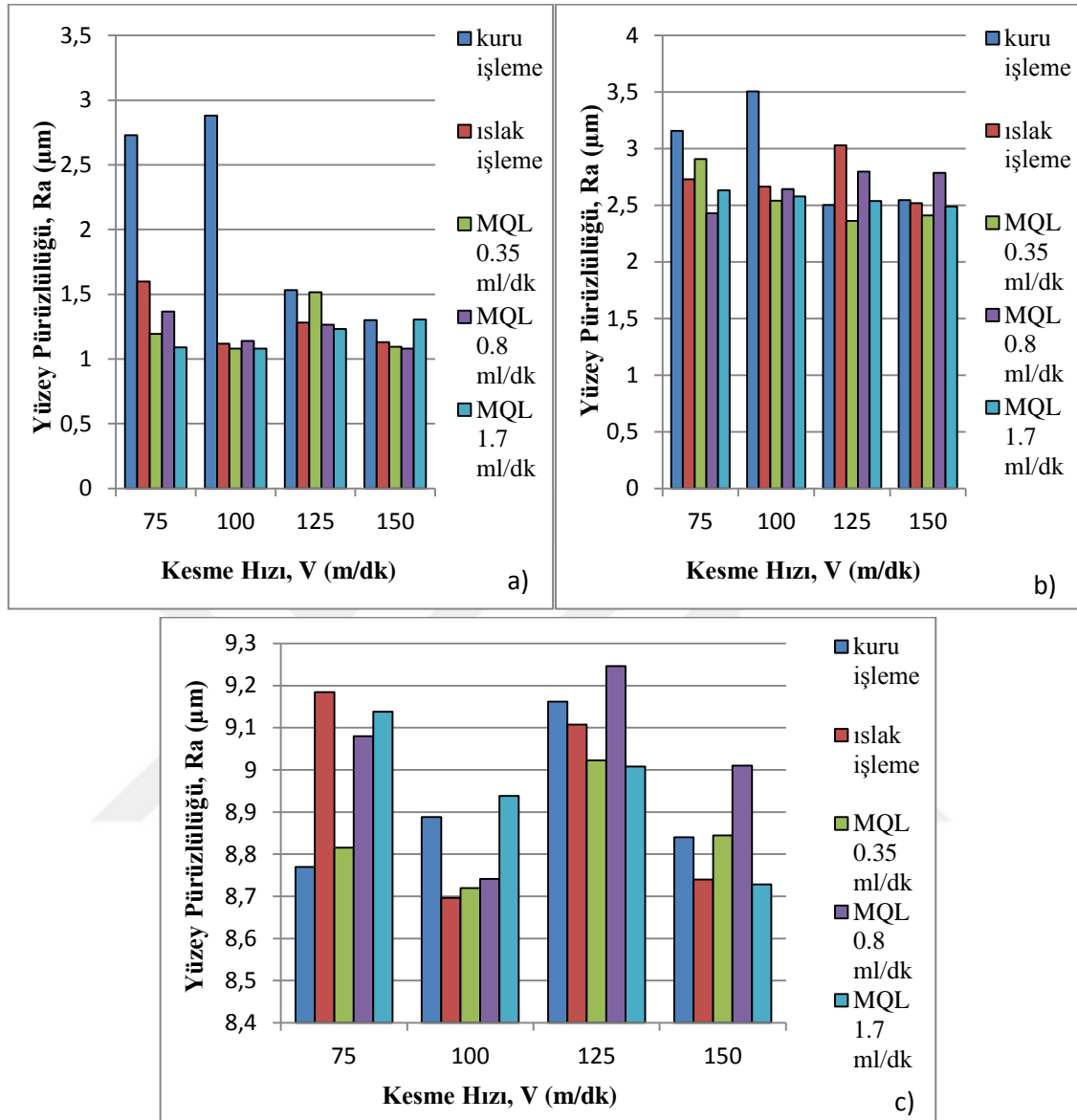
Farklı kesme parametrelerinin ve işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi Şekil 5.3 - Şekil 5.4'te grafiksel olarak verilmiştir. Şekil 5.3'teki grafikler incelendiğinde, tüm işleme koşullarında ilerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün de arttığı görülmektedir. İlerlemedeki artış, teorik denklem (Eş.3.1) doğrultusunda yüzey pürüzlülüğünün artmasına ve dolayısıyla yüzey kalitesinin bozulmasına neden olmuştur (Leppert, 2011). Eş.3.1'den yüzey pürüzlülüğü ve ilerlemenin birbiriyle doğru orantılı olduğu ve ilerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerinin de artacağı görülmektedir. Aynı zamanda ilerleme arttıkça birim zamanda kaldırılan talaş miktarının da artması sonucunda yüzey pürüzlülüğünde artış meydana gelmiştir.



Şekil 5.3. Farklı kesme hızlarında ilerleme oranı ve işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi
a) V=75 m/dk b) V=100 m/dk c) V=125 m/dk d) V=150 m/dk

Şekil 5.4'teki grafiklere bakıldığında tüm işleme şartlarında kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerlerinin genel olarak azaldığı görülmektedir. Kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün azalması beklenen bir durum olup kesme hızının artması sonucu artan sıcaklığın plastik deformasyon ve talaş akışını kolaylaştırması, yüzey pürüzlülüğünün azalmasına neden olmuştur (Yıldırım ve ark., 2016). Ancak Şekil 5.4'teki grafikler incelendiğinde kesme hızının artışıyla yüzey pürüzlülüğündeki bu azalışın düzenli olmadığı ve kesme hızının artışına göre yüzey pürüzlülüğü değerlerinde düzensiz değişimler olduğu görülmektedir. Bazı deneylerde oluşan sürekli talaşın artan kesme hızıyla daha kontrolsüz davranış sergileyerek iş parçası yüzeyini deformasyona uğratmasının yanı sıra kesme hızının artmasıyla birim zamanda daha çok malzeme kaldırmaya maruz kalan kesici takımdaki titreşimlerin

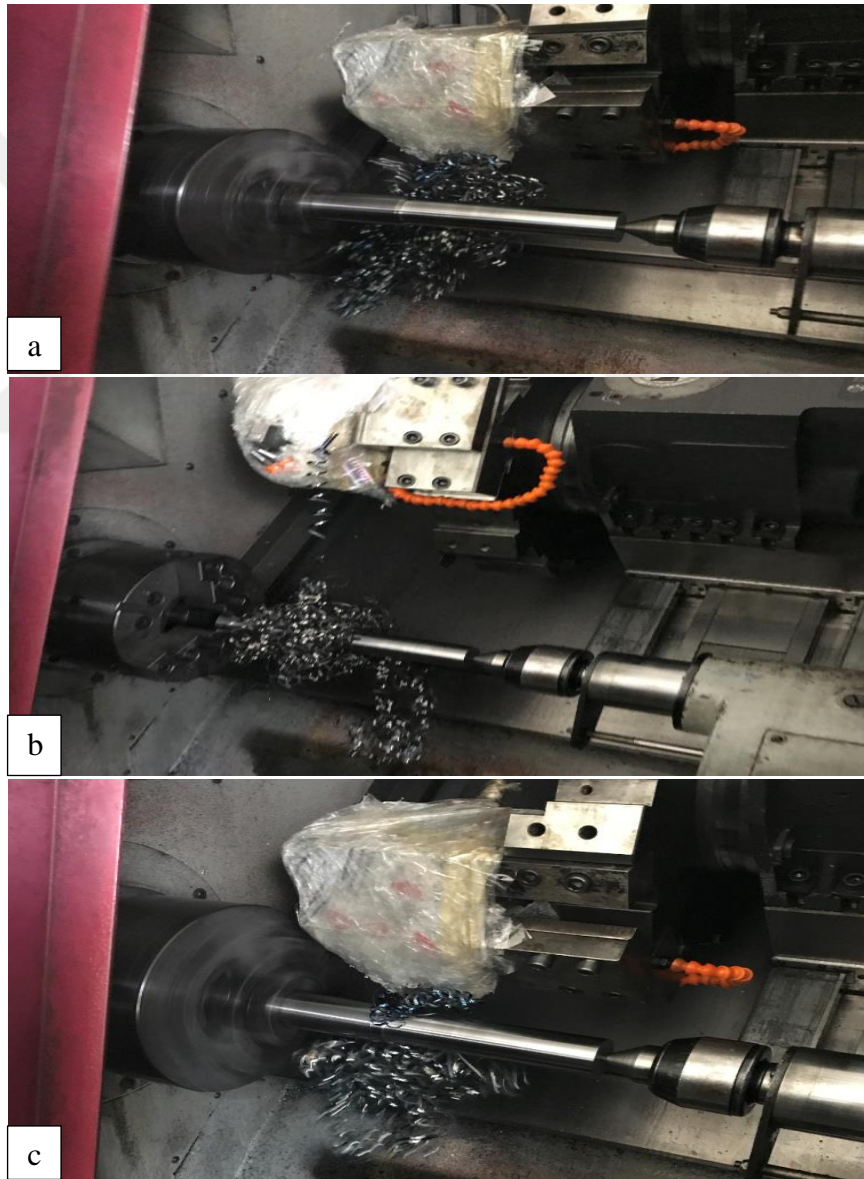
artması yüzey pürüzlülüğü değerlerinde düzensiz değişimlere neden olmuştur (Çakır ve ark., 2016).



Şekil 5.4. Farklı ilerleme oranlarında kesme hızı ve işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi
a) f=0.16 mm/dev b) f=0.25 mm/dev c) f=0.5 mm/dev

Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'teki grafikler incelendiğinde, en düşük yüzey pürüzlülüğü değerlerinin genel olarak MQL uygulamasında elde edildiği görülmektedir. Bunun nedeni, MQL uygulamasının kesici takım-talaş arayüzündeki sürtünmeyi azaltarak kesme bölgesindeki sıcaklığı düşürmesi sonucunda kesici takım ucundaki aşınma ve hasarı azaltmasıdır (Kumar ve ark., 2017). En yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri MQL uygulamasında 125 m/dk kesme hızı ve 0.5 mm/dev ilerlemede elde edilirken en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri yine MQL uygulamasında 150 m/dk kesme hızı ve 0.16 mm/dev ilerlemede elde edilmiştir.

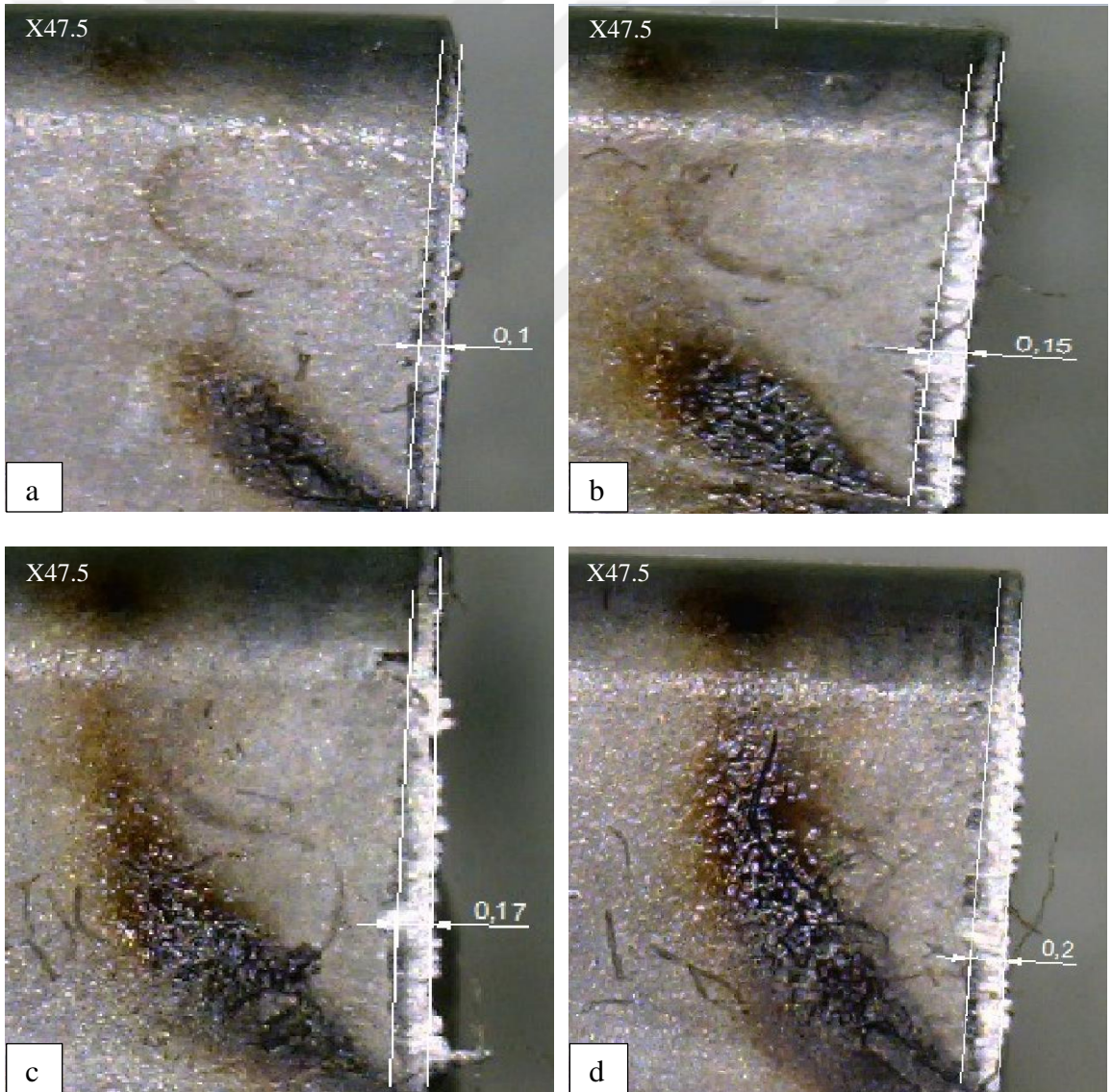
MQL debisinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini görmek için Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'teki grafiklere bakıldığında, MQL uygulamasında debi artışına göre yüzey pürüzlülüğü değerlerinde düzensiz değişimler olduğu görülmektedir. Genelde MQL debi oranının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün azalması beklenmektedir. Ancak bazı deneylerde oluşan istenmeyen uzun formlu talaş tiplerinin iş parçasını sarması (Şekil 5.5) sonucunda kesici takım-iş parçası arayüzüne yağlayıcı etkisini engellemesi, yüzey pürüzlülüğü değerlerinde beklenmeyen artış ve azalışlara sebep olmuş ve bu nedenle debi oranının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü grafiklerinde düzenli bir eğilim görülmemiştir (Diniz ve ark., 2003). Genel olarak en yüksek değerler 0.8 ml/dk debide elde edilirken en düşük değerler 0.35 ml/dk debide elde edilmiştir.



Şekil 5.5. Farklı işleme şartlarında oluşan uzun formlu talaş tiplerinin iş parçasını sarma görüntüsü
a) $V=150$ m/dk, $f=0.16$ mm/dev, $Q=1.7$ ml/dk b) $V=75$ m/dk, $f=0.16$ mm/dev, $Q=0.8$ ml/dk
c) $V=75$ m/dk, $f=0.25$ mm/dev, $Q=1.7$ ml/dk

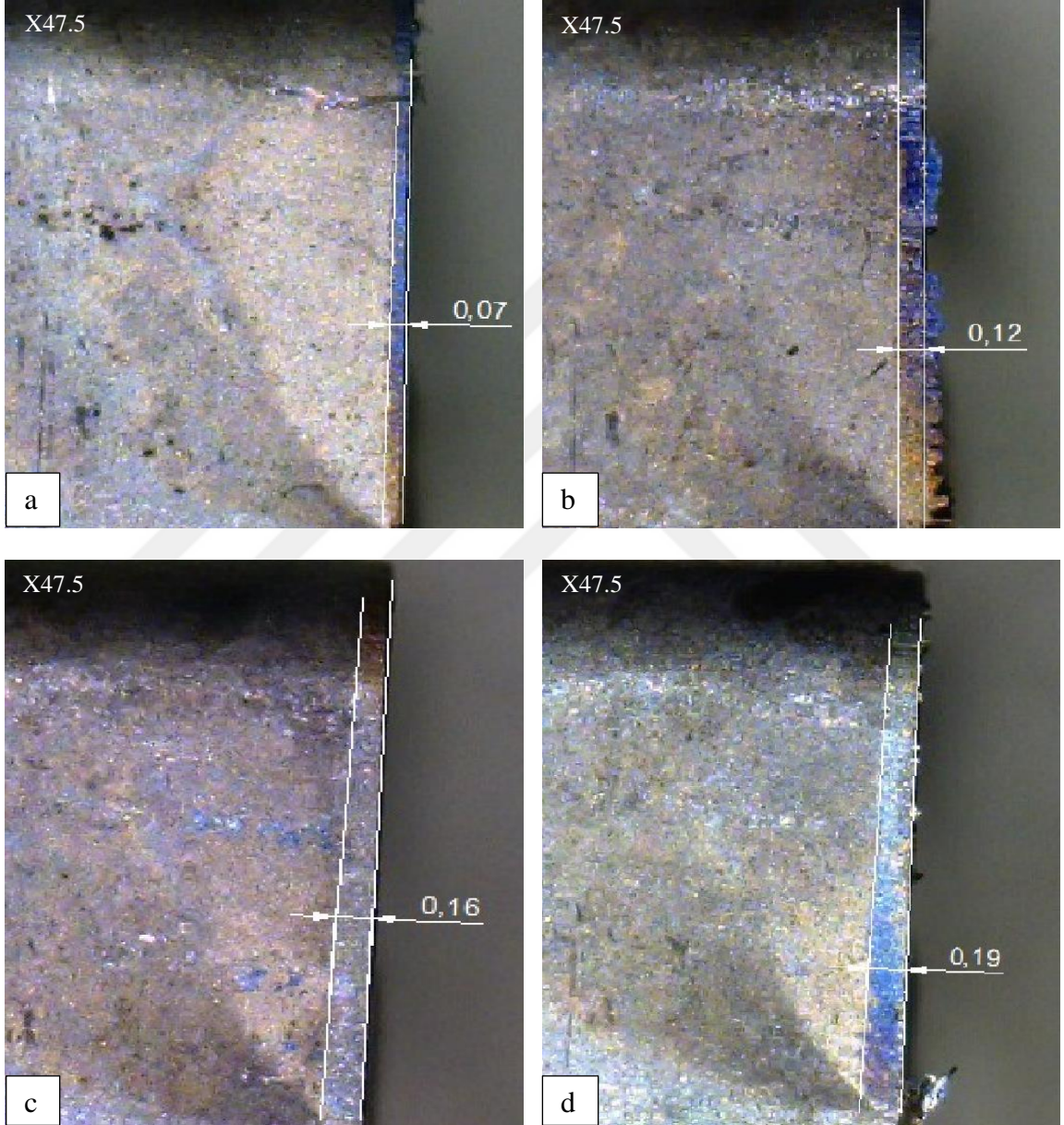
5.3. Kesici Takım Aşınmasının Değerlendirilmesi

Sabit kesme hızı (125 m/dk), ilerleme (0.16 mm/dev) ve kesme derinliği (2.5 mm) ile farklı işleme koşullarında (kuru, ıslak ve MQL işleme) gerçekleştirilen kesici takım aşınma deneyleri sonucunda kesici takımlarda oluşan ortalama yan yüzey aşınma miktarları (V_B) incelenmiş ve Şekil 5.6 - Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Kuru işleme için ortalama yan yüzey aşınma miktarının talaş kaldırma hacmine göre değişimi optik mikroskop görüntüsü olarak Şekil 5.6'da verilmiştir. Şekil 5.6 incelendiğinde talaş kaldırma hacminin artışı ile ortalama yan yüzey aşınmasının da arttığı ve ortalama yan yüzey aşınmasının 500000 mm³ talaş kaldırma hacmi sonunda 0.2 mm olarak ölçüldüğü görülmektedir.



Şekil 5.6. Kuru işlemede talaş kaldırma hacmine göre optik mikroskop görüntülerinden V_B ölçümü
a) 125000 mm³ b) 250000 mm³ c) 375000 mm³ d) 500000 mm³

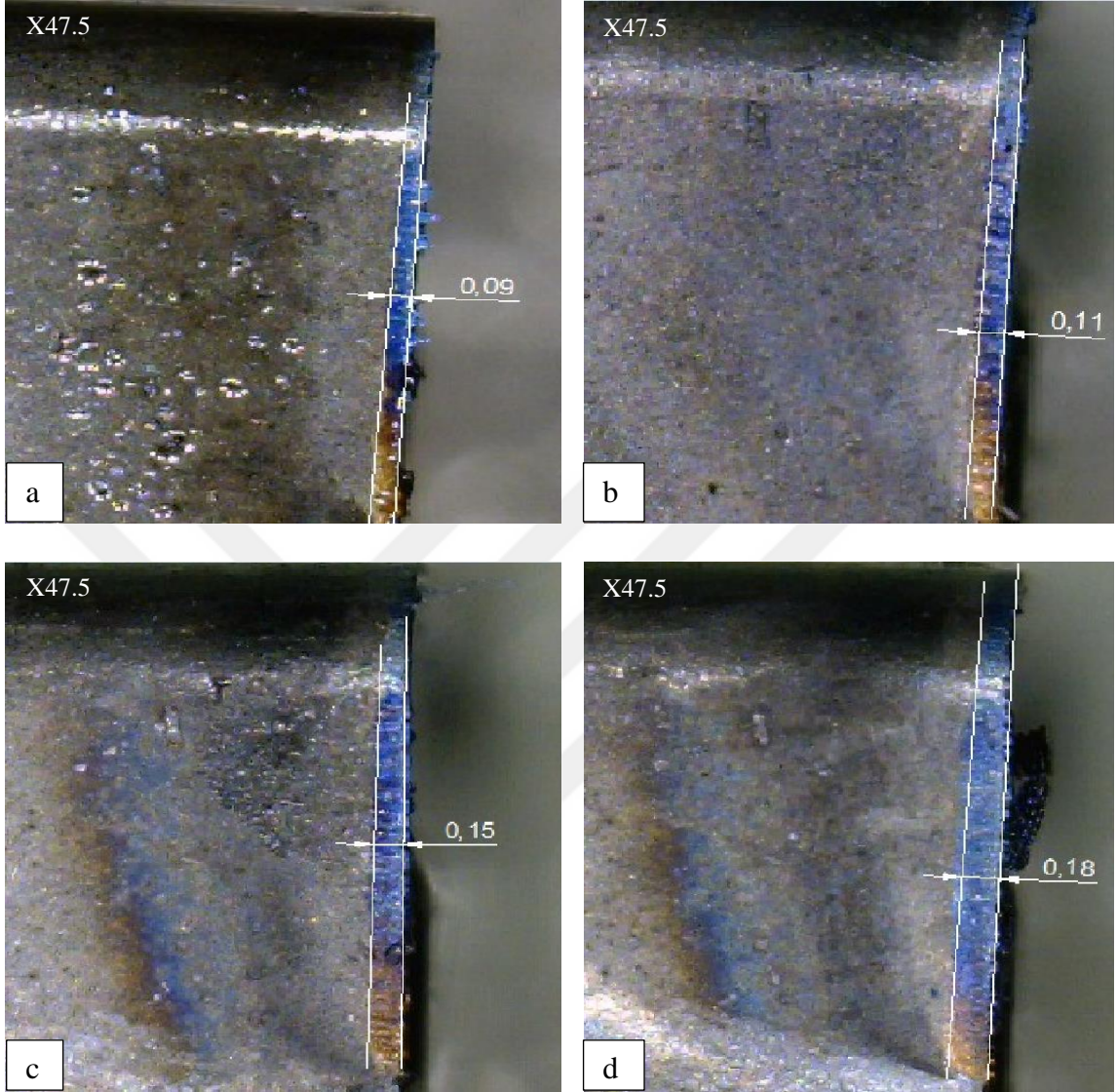
Islak işleme için ortalama yan yüzey aşınma miktarının talaş kaldırma hacmine göre değişimi optik mikroskop görüntüsü olarak Şekil 5.7’de verilmiştir. Şekil 5.7 incelendiğinde talaş kaldırma hacminin artışı ile ortalama yan yüzey aşınmasının da arttığı ve ortalama yan yüzey aşınmasının 500000 mm³ talaş kaldırma hacmi sonunda 0.19 mm olarak ölçüldüğü görülmektedir.



Şekil 5.7. Islak işlemede talaş kaldırma hacmine göre optik mikroskop görüntülerinden V_B ölçümü
a) 125000 mm³ b) 250000 mm³ c) 375000 mm³ d) 500000 mm³

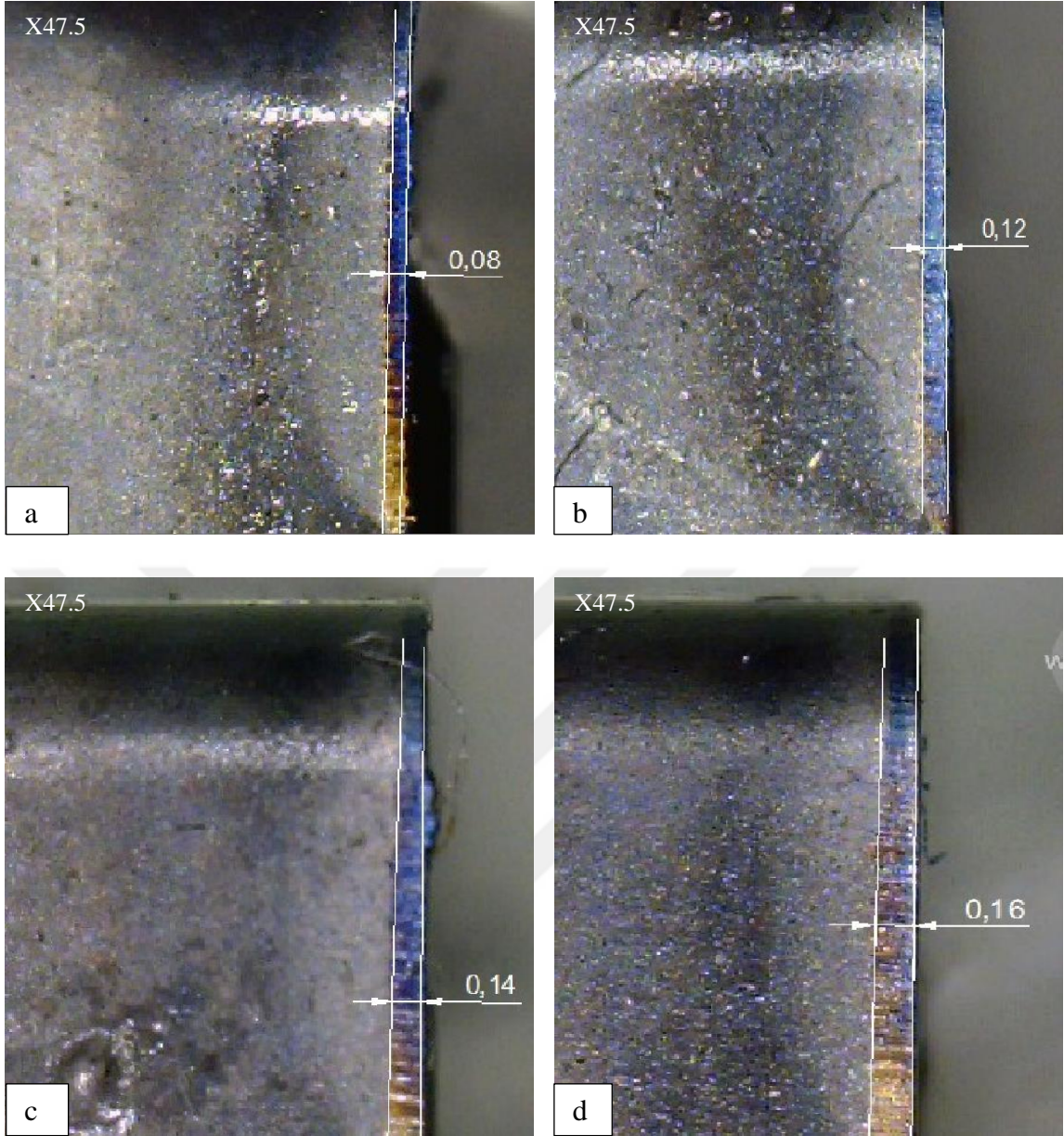
0.35 ml/dk debi için ortalama yan yüzey aşınma miktarının talaş kaldırma hacmine göre değişimi optik mikroskop görüntüsü olarak Şekil 5.8’de verilmiştir. Şekil 5.8 incelendiğinde talaş kaldırma hacminin artışı ile ortalama yan yüzey aşınmasının da

arttığı ve ortalama yan yüzey aşınmasının 500000 mm^3 talaş kaldırma hacmi sonunda 0.18 mm olarak ölçüldüğü görülmektedir.



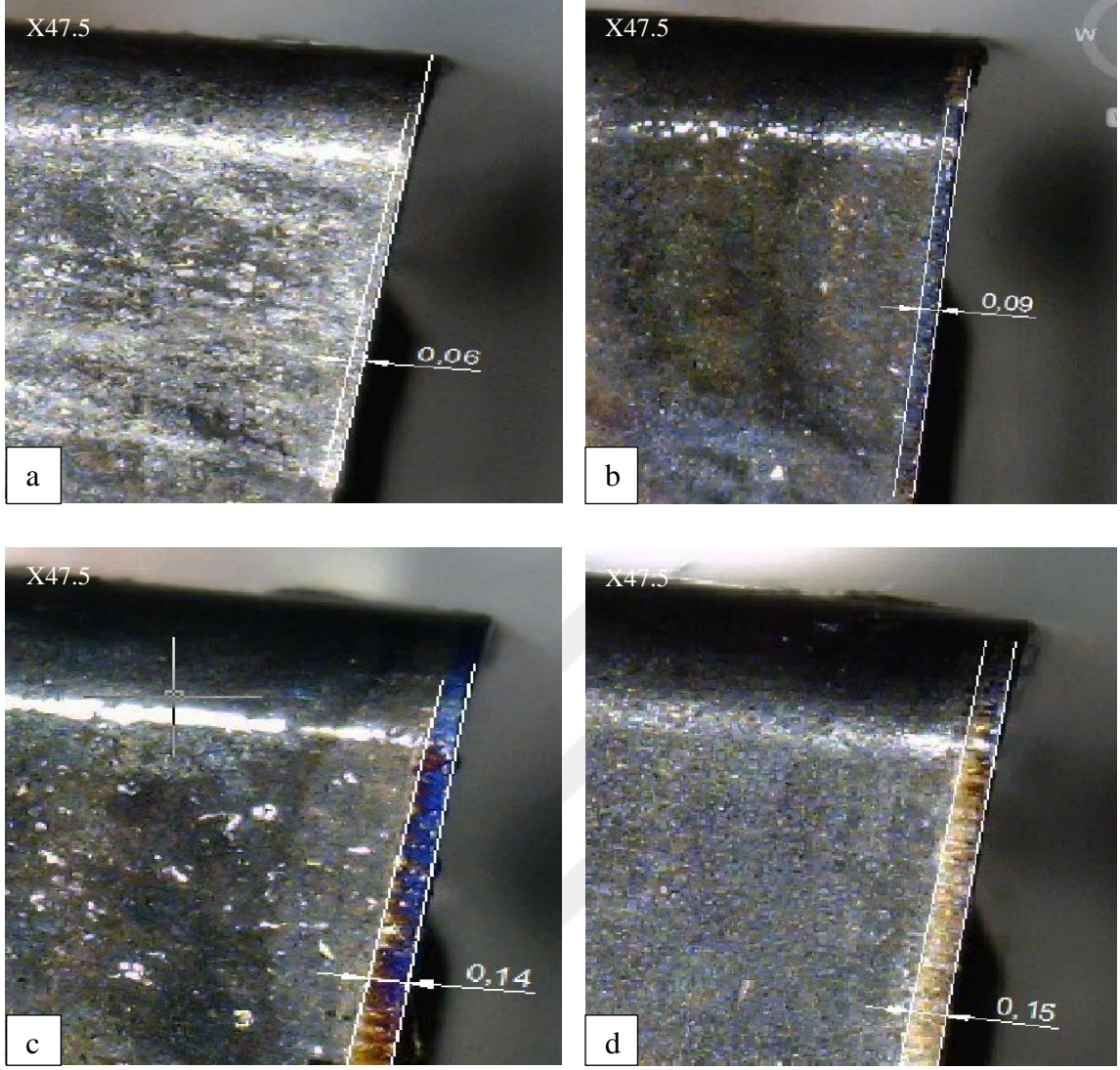
Şekil 5.8. 0.35 ml/dk debide talaş kaldırma hacmine göre optik mikroskop görüntülerinden V_B ölçümü
a) 125000 mm^3 b) 250000 mm^3 c) 375000 mm^3 d) 500000 mm^3

0.8 ml/dk debi için ortalama yan yüzey aşınma miktarının talaş kaldırma hacmine göre değişimi optik mikroskop görüntüsü olarak Şekil 5.9'da verilmiştir. Şekil 5.9 incelendiğinde talaş kaldırma hacminin artması ile ortalama yan yüzey aşınmasının da arttığı ve ortalama yan yüzey aşınmasının 500000 mm^3 talaş kaldırma hacmi sonunda 0.16 mm olarak ölçüldüğü görülmektedir.



Şekil 5.9. 0.8 ml/dk debide talaş kaldırma hacmine göre optik mikroskop görüntülerinden V_B ölçümü
a) 125000 mm³ b) 250000 mm³ c) 375000 mm³ d) 500000 mm³

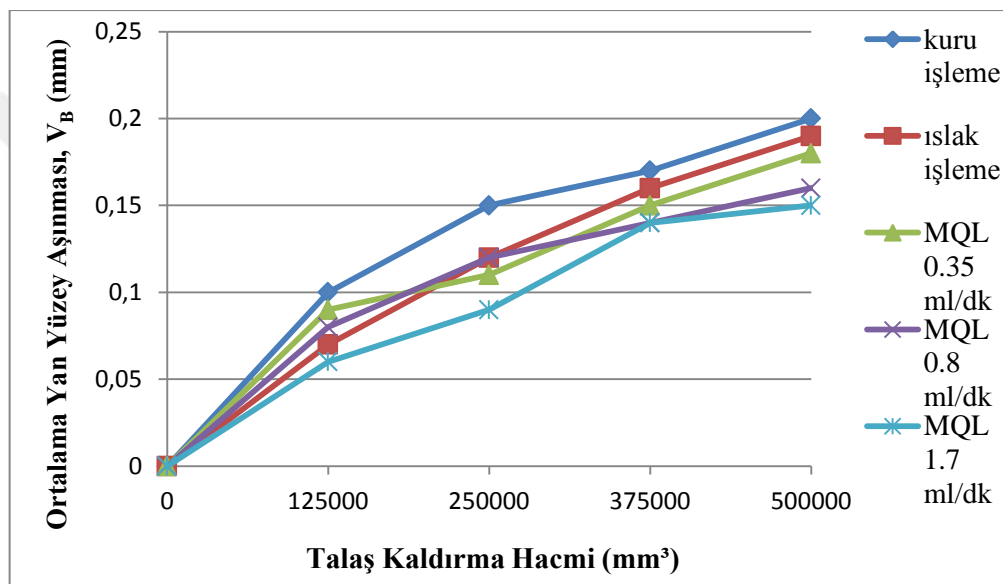
1.7 ml/dk için için ortalama yan yüzey aşınma miktarının talaş kaldırma hacmine göre değişimi optik mikroskop görüntüsü olarak Şekil 5.10'da verilmiştir. Şekil 5.10 incelendiğinde talaş kaldırma hacminin artışı ile ortalama yan yüzey aşınmasının da arttığı ve ortalama yan yüzey aşınmasının 500000 mm³ talaş kaldırma hacmi sonunda 0.15 mm olarak ölçüldüğü görülmektedir.



Şekil 5.10. 1.7 ml/dk debide talaş kaldırma hacmine göre optik mikroskop görüntülerinden V_B ölçümü
a) 125000 mm³ b) 250000 mm³ c) 375000 mm³ d) 500000 mm³

Farklı işleme koşulları için kesici takımlarda oluşan ortalama yan yüzey aşınma miktarlarının talaş kaldırma hacmine göre değişimi grafiksel olarak Şekil 5.11’de verilmiştir. Şekil 5.11’deki grafik incelendiğinde tüm işleme koşulları için talaş kaldırma hacminin artması ile ortalama yan yüzey aşınmasının da arttığı anlaşılmaktadır. Ayrıca Şekil 5.11’deki grafiğe bakıldığında 500000 mm³ talaş kaldırma hacmi sonunda en yüksek ortalama yan yüzey aşınma değerinin kuru işlemede ve en düşük ortalama yan yüzey aşınma değerinin MQL 1.7 ml/dk debide elde edildiği görülmektedir. MQL uygulamasının kuru ve ıslak işlemeye göre ortalama yan yüzey aşınmasını azalttığı anlaşılmaktadır. Bunun nedeni, MQL uygulamasının kuru ve ıslak işlemeye göre yan yüzey sıcaklığını azaltması olabilir. MQL’nin yan yüzey sıcaklığını azaltması, sıcaklığa karşı oldukça hassas olan adhezyon ve difüzyon aşınmalarını

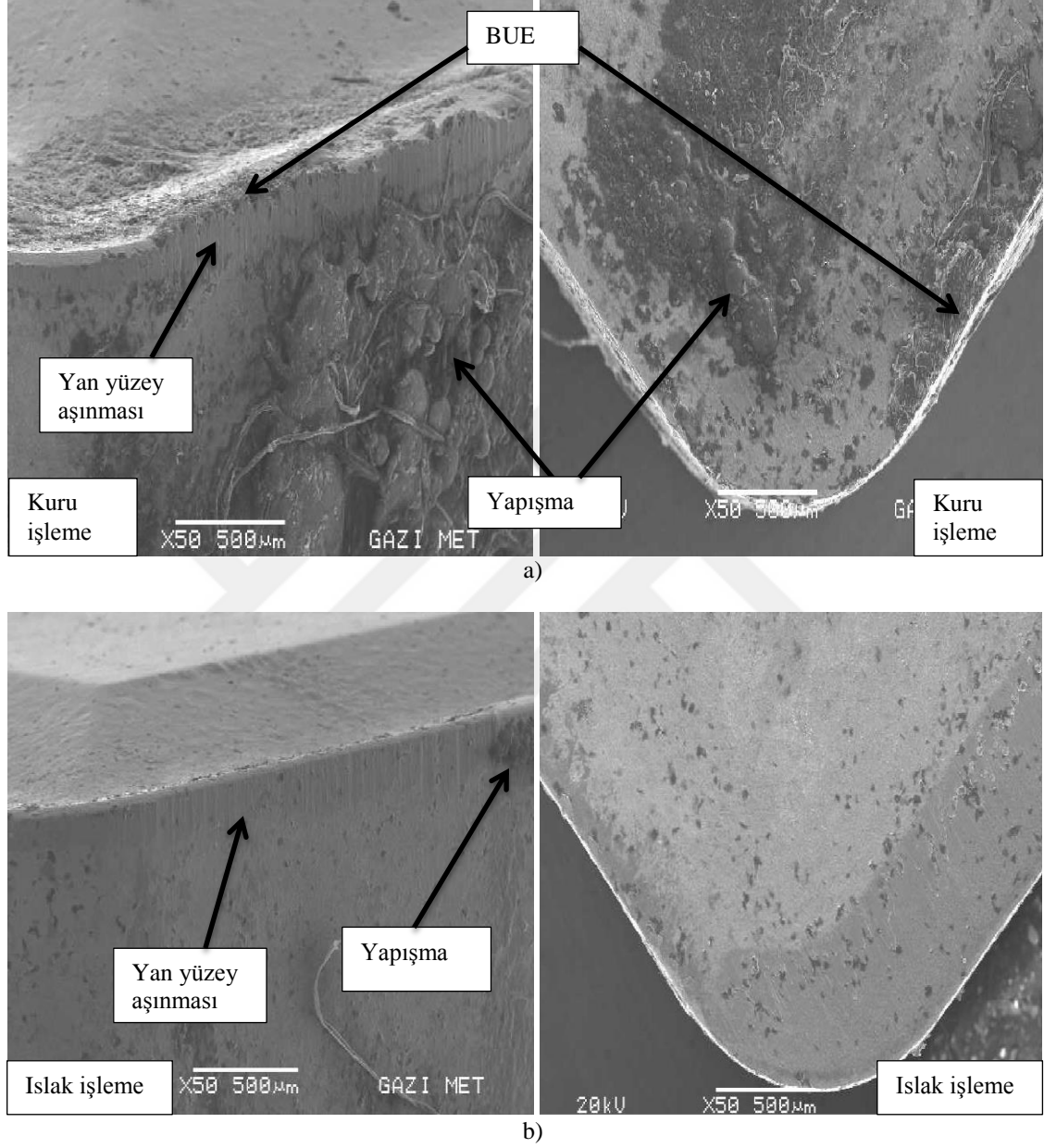
azaltmasının yanı sıra kesici takımın sertliğini koruyarak abrazyon aşınmasını da azaltmış ve bu sayede yan yüzey aşınmasını düşürmesini sağlamıştır (Khan ve ark., 2009). Ortalama yan yüzey aşınma oranı kuru kesmede MQL uygulaması ve ıslak işlemeye göre yağlayıcı madde yokluğundan dolayı yağlama ve soğutma etkisinin olmamasının bir sonucu olarak daha yüksek olmuştur (Priarone ve ark., 2014). Şekil 5.11'deki grafik incelendiğinde debi artışının genel olarak ortalama yan yüzey aşınmasını azalttığı görülmektedir. Bunun nedeni, MQL debi oranının artmasının kesici takım-talaş arayüzünde sürtünmeyi azaltmasıdır (Sarıkaya ve Güllü, 2015).



Şekil 5.11. İşleme koşulları ve talaş kaldırma hacmine göre V_B değerlerinin değişimi
 $V=125$ m/dk, $f=0.16$ mm/dev, $a=2.5$ mm

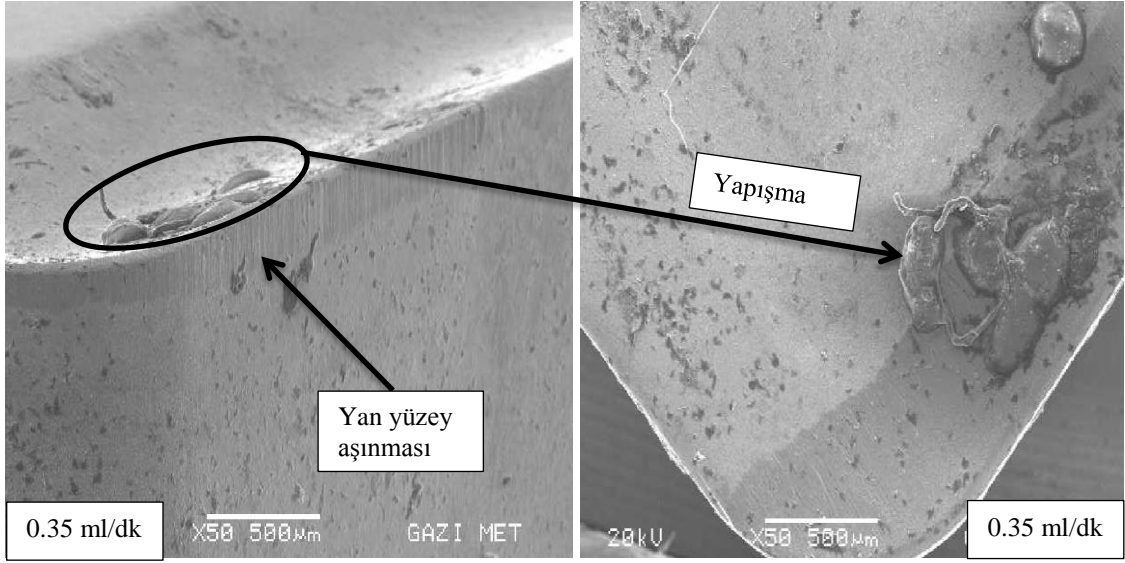
Kesici takım aşınması deneylerinde kullanılan kesici takımlarda oluşan aşınma mekanizmalarının tespiti için kesici uçların SEM görüntüleri alınmış ve değerlendirilmiştir. İşleme koşulları ve MQL debilerine göre kesici uçların SEM görüntüleri Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'te verilmiştir. Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'teki görüntüler incelendiğinde tüm işleme koşulları için temel aşınma mekanizmasının abrazif aşınma olduğu anlaşılmaktadır. Abrazif aşınma mekanizmasının sonucu olarak kesici kenar boyunca birbirine paralel oluklar şeklinde biçimlenen ve yan yüzey aşınmasına neden olan abrazif aşınma çizgileri görülmektedir. Ayrıca Şekil 5.12'deki görüntülere bakıldığında kuru işlemede etkisiz ısı dağılımı ve sıcaklığa bağlı olarak şiddetli adhezyon (yapışma) ve sürtünme oranının yüksek olmasına bağlı olarak BUE (Built-up-edge) oluştuğu anlaşılmaktadır (Liu ve ark., 2013). Islak işleme ve MQL

uygulamalarında ise kesici uçlarda bazı yapışma belirtileri olduğu görülse de sürtünmenin önemli ölçüde düşürülmesi, kuru işlemedeki kadar şiddetli yapışmaların oluşmasını önlemiştir.

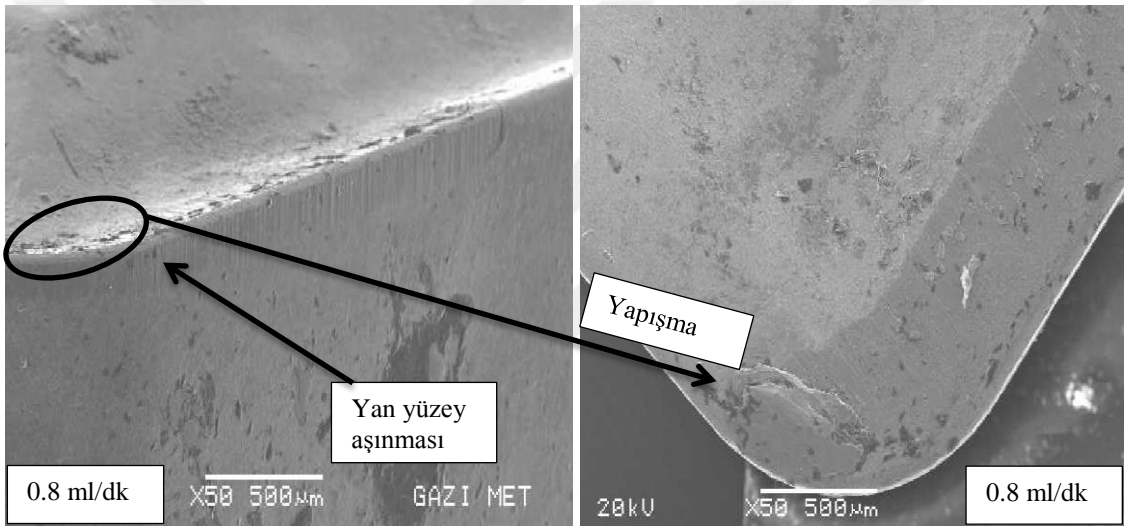


Şekil 5.12. $V = 125$ m/dk, $f = 0.16$ mm/dev ve $a = 2.5$ mm kesme parametrelerinde kesici takım uçlarının SEM görüntüleri

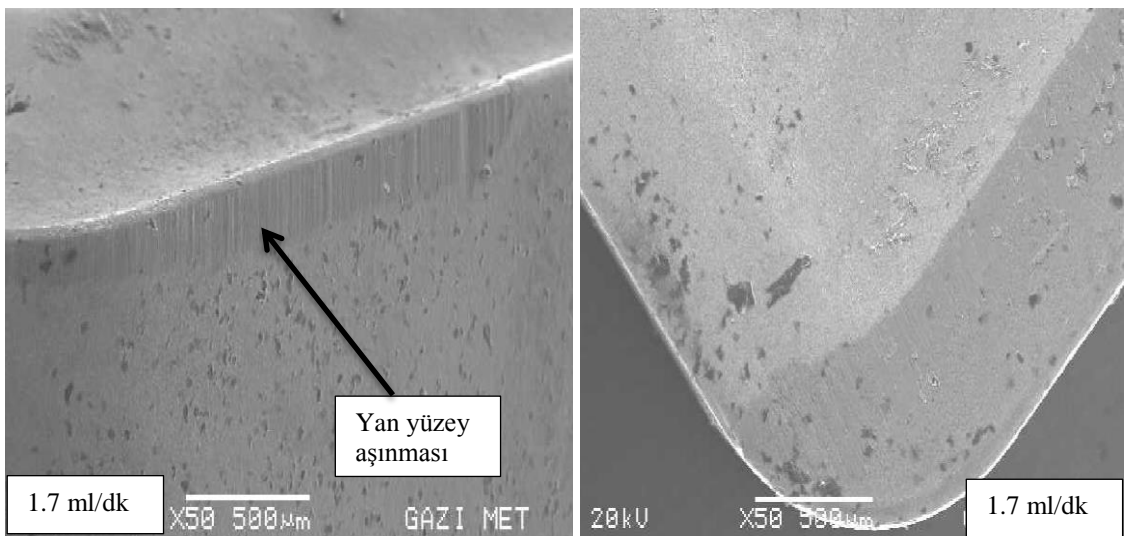
a) Kuru işleme b) Islak işleme



a)



b)



c)

Şekil 5.13. $V=125$ m/dk, $f=0.16$ mm/dev ve $a=2.5$ mm kesme parametrelerinde MQL debilerine göre kesici takım uçlarının SEM görüntüleri
a) 0.35 ml/dk b) 0.8 ml/dk c) 1.7 ml/dk

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, AISI 4140 malzemesinin tornalanmasında MQL kullanımının işlenebilirlik üzerine etkileri incelenmiş ve sonuçlar kuru işleme ve ıslak işlemeyle karşılaştırılmıştır. Farklı işleme koşulları ve kesme parametrelerinde gerçekleştirilen işleme deneyleri neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Tüm işleme koşullarında ilerlemenin artmasıyla esas kesme kuvvetinin de arttığı ve kesme hızının artmasıyla esas kesme kuvvetinin azalma eğiliminde olduğu görülmüştür.
- MQL uygulamasının kuru işleme ve ıslak işleme göre esas kesme kuvvetlerini genel olarak azalttığı tespit edilmiştir.
- Kesme parametreleri açısından en yüksek esas kesme kuvveti değeri 75 m/dk kesme hızı ve 0.5 mm ilerlemede elde edilirken en düşük esas kesme kuvveti değeri 150 m/dk kesme hızı ve 0.16 mm/dev ilerlemede elde edilmiştir.
- MQL debi oranı artışının esas kesme kuvvetlerini belli bir yere kadar azalttığı sonucuna varılmıştır. Esas kesme kuvveti açısından mevcut çalışma şartlarında MQL uygulaması için maksimum efektif debi değerinin 0.8 ml/dk olduğu sonucuna varılmıştır.
- Tüm işleme şartlarında ilerlemenin artışıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı ve kesme hızındaki artışla yüzey pürüzlülüğünde düzenli olmasa da azalma eğilimi olduğu görülmüştür.
- Yüzey pürüzlülüğünde en düşük değerlerin genel olarak MQL uygulamasıyla elde edildiği tespit edilmiştir.
- Kesme parametreleri açısından en yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri MQL uygulamasında 125 m/dk kesme hızı ve 0.5 mm/dev ilerlemede elde edilirken en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri yine MQL uygulamasında 150 m/dk kesme hızı ve 0.16 mm/dev ilerlemede elde edilmiştir.
- MQL debi oranının artışına göre yüzey pürüzlülüğünde düzenli bir eğilim olmadığı görülmüştür. Genel olarak en yüksek değerler 0.8 ml/dk debi uygulaması ile elde edilirken en düşük değerler 0.35 ml/dk debi uygulaması ile elde edilmiştir.

- MQL uygulamasının kuru ve ıslak işlemeye göre kesici takım ortalama yan yüzey aşınmasını azalttığı sonucuna varılmıştır.
- En yüksek kesici takım ortalama yan yüzey aşınması kuru işlemede elde edilirken en düşük kesici takım ortalama yan yüzey aşınması MQL uygulamasında elde edilmiştir.
- Kesici takım ortalama yan yüzey aşınmasının MQL debi oranındaki artıştan olumlu etkilendiği ve debi oranının artmasıyla azaldığı tespit edilmiştir.
- MQL uygulaması bazı deneylerde kuru ve ıslak işlemeye göre daha kötü sonuçlar vermesine rağmen genel olarak daha iyi sonuçlar vermiştir. Aynı zamanda MQL uygulamasının çevre kirliliği, insan sağlığı ve üretim maliyeti açısından sergilediği olumlu etkiler nedeniyle tercih edilmesi gerektiği görülmüştür.

MQL uygulamasının işlenebilirliğe etkisini görmek amacıyla yapılan bu çalışmanın sonuçlarını daha ileriye götürebilmek için aşağıdaki öneriler getirilebilir.

- Kesme derinliği ve kesici uç yarıçapı gibi kesme parametrelerinin MQL ile beraber işlenebilirliğe etkisi incelenebilir.
- Yağlama etkisinin önemli olduğu başka malzemeler kullanılarak benzer çalışmalar yapılabilir.
- Kaplamasız kesici takımlarla yapılan bu çalışma, farklı kaplama uygulanmış kesici takımlar kullanılarak genişletilebilir.
- Tornalama işlemiyle gerçekleştirilen bu çalışmanın yanında frezeleme, delme gibi diğer talaş kaldırma işlemlerinde MQL kullanımının işlenebilirliğe etkisi incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Abhang, L.B., Hameedullah, M., 2010, Experimental investigation of minimum quantity lubricants in alloy steel turning, *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2 (7), 3045-3053.
- Ağar, S., 2014, AA 7075-T6 Alüminyum alaşımının minimum miktarda yağlama yöntemiyle talaşlı işlenebilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- Akben, U., 2009, Minimum miktarda yağlama (MMY) ile kesmenin takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Arman, M.A., 2017, Farklı oranlarda mikro alaşım bor içerikli AISI 4140 çeliğinin aşınma davranışının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Nevşehir.
- Attanasio, A., Gelfi, M., Giardini, C., Remino, C., 2006, Minimal quantity lubrication in turning: Effect on tool wear, *Wear*, 260, 333-338.
- Behera, B.C., Ghosh, S., Rao, P.V., 2018, Modeling of cutting force in MQL machining environment considering chip tool contact friction, *Tribology International*, 117, 283-295.
- Bijanzad, A., 2013, Kompakt grafitli dökme demirin tornalama sırasında minimum miktarda yağlamanın etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Bingül, E., 2014, K390 soğuk iş takım çeliğinin tornalanmasında temperleme sıcaklığının işlenebilirlik üzerine etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya.
- Bruni, C., Forcellese, A., Gabrielli, F., Simoncini, M., 2006, Effect of the lubrication-cooling technique, insert technology and machine bed material on the workpart surface finish and tool wear in finish turning of AISI 420B, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46, 1547-1554.
- Çakır, A., Yağmur, S., Kavak, N., Küçüktürk, G., Şeker, U., 2016, The effect of minimum quantity lubrication under different parameters in the turning of AA7075 and AA2024 aluminium alloys, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 84, 2515-2521.
- Çelik, E., Kıvak, T., 2016, 17-4 PH paslanmaz çeliğin tornalanmasında minimum miktarda yağlamanın yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri, *7. Uluslararası Talaşlı İmalat Sempozyumu*, İstanbul.

- Davim, J.P., Sreejith, P.S., Silva, J., 2007, Turning of Brasses Using Minimum Quantity of Lubricant (MQL) and Flooded Lubricant Conditions, *Materials and Manufacturing Processes*, 22, 45-50.
- Dhar, N.,R., Ahmed, N.,T., 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.
- Dhar, N.,R., Islam, M.,W., Islam, S., Mithu, M.,A.,H., 2006, 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., Kamruzzaman, M., Ahmed, M., 2006, 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.
- Diniz, A.E., Ferreira, J.R., Filho, F.T., 2003, Influence of refrigeration/lubrication condition on SAE 52100 hardened steel turning at several cutting speeds, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 43, 317–326.
- Elmunafi, M.,H.,S., Noordin, M.,Y., Kurniawan,D., 2015, Tool Life of Coated Carbide Cutting Tool when Turning Hardened Stainless Steel under Minimum Quantity Lubricant using Castor Oil, *Procedia Manufacturing*, 2, 563-567.
- Esener, P.A., 2017, Farklı oranlarda bor ilave edilmiş AISI 4140 (42CrMo4) ıslah çeliğinin ısıtma işlemi ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Nevşehir.
- Fratila, D., Caizar, C., 2012, Investigation of the Influence of Process Parameters and Cooling Method on the Surface Quality of AISI-1045 during Turning, *Materials and Manufacturing Processes*, 27, 1123-1128.
- Gaitonde, V.N., Karnik, S.R., Davim, J.P., 2008, Selection of optimal MQL and cutting conditions for enhancing machinability in turning of brass, *Journal of Materials Processing Technology*, 204, 459-464.
- Gürbüz, H., 2012, AISI 316L çeliğin işlenmesinde kesici takım geometrisi ve kaplama tiplerinin yüzey bütünlüğü üzerindeki etkilerinin araştırılması, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Hadad, M., Sadeghi, B., 2013, Minimum quantity lubrication-MQL turning of AISI 4140 steel alloy, *Journal of Cleaner Production*, 54, 332-343.
- Hemaid, A., Tawfeek, T., Ibrahim, A.A., 2016, Experimental investigation on surface finish during turning of aluminum under dry and minimum quantity lubrication machining conditions, *American Journal of Materials Engineering and Technology*, 4 (1), 1-5.

- Hwang, Y.K., Lee, C.M., 2010, Surface roughness and cutting force prediction in MQL and wet turning process of AISI 1045 using design of experiments, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 24 (8), 1669-1677.
- İlhan, M., 2014, Talaş kaldırma işlemlerinde minimum miktarda yağlama (mql) uygulamasının kesme hızı ve yağlama debisinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- İlhan, M., Çavuşoğlu, O., Duran, A., Şeker, U., 2013, Talaş kaldırma işlemlerinde minimum miktarda yağlama (MQL) uygulamasının kesme hızı ve yağlama debisine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin araştırılması, *4. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, Kuşadası, Türkiye, 637-643.
- İnternet, Anonim, <http://www.frekansmakina.com/mqlnedir.php>, [ziyaret tarihi:10 Kasım 2017].
- Ji, X., Li, B., Zhang, X., Liang, S.Y., 2014, The Effects of Minimum Quantity Lubrication (MQL) on Machining Force, Temperature, and Residual Stress, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 15(11), 2443-2451.
- Kam, M., Saruhan, H., 2016, Kriyojenik ve Temperleme İşlemi Uygulanmış AISI 4140 Çeliğinden İmal Edilen Millerin Yuvarlanmalı Yataklarda Çalışma Kararlılığının Deneysel İncelenmesi, *4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Scicene*, Alanya/Antalya, 364-373.
- Kamata, Y., Obikawa, T., 2007, High speed MQL finish-turning of Inconel 718 with different coated tools, *Journal of Materials Processing Technology*, 192-193, 281-286.
- Karahan, M., 2010, Ham soya yağından metal kesme sıvı eldesi ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze.
- Karayel, B., 2015, Ç 4140 malzemesinin tornalanmasında ilerleme, kesme hızı ve kesici takımın yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü ve aşınmaya etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Khalil, A.N.M., Ali, M.A.M., Azmi, A.I., 2015, Effect of Al₂O₃ nanolubricant with SDBS on tool wear during turning process of AISI 1050 with minimal quantity lubricant, *Procedia Manufacturing*, 2, 130-134.
- Khan, A., Maity, K., 2018, Influence of cutting speed and cooling method on the machinability of commercially pure titanium (CP-Ti) grade II, *Journal of Manufacturing Processes*, 31, 650-661.
- Khan, M.M.A., Mithu, M.,A.H., Dhar, N.,R., 2009, Effects of minimum quantity lubrication on turning AISI 9310 alloy steel using vegetable oil-based cutting fluid, *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 5573-5583.

- Kumar, S., Singh, D., Kalsi, N.S., 2017, Analysis of Surface Roughness during Machining of Hardened AISI 4340 Steel using Minimum Quantity lubrication, *Materials Today: Proceedings*, 4, 3627–3635.
- Leppert, T., 2011, Effect of cooling and lubrication conditions on surface topography and turning process of C45 steel, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 51, 120-126.
- Liu, Z., An, Q., Xu, J., Chen, M., Han, S., 2013, Wear performance of (nc-AlTiN)/(a-Si₃N₄) coating and (nc-AlCrN)/(a-Si₃N₄) coating in high-speed machining of titanium alloys under dry and minimum quantity lubrication (MQL) conditions, *Wear*, 305, 249-259.
- Lohar, D.V., Nanavaty, C.R., 2013, Performance evaluation of minimum quantity lubrication (MQL) using CBN during hard turning of AISI 4340 and its comparison with dry and wet turning, *Bonfring International Journal Industrial Engineering and Management Science*, 3(3), 102-106.
- Marques, A., Guimaraes, C., Silva, R.B.D., Fonseca, M.D.P.C., Sales, W.F., Machado, A.R., 2016, Surface Integrity Analysis of Inconel 718 after Turning with Different Solid Lubricants Dispersed in Neat Oil Delivered by MQL, *Procedia Manufacturing*, 5, 609-620.
- Mavi, A., 2013, Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin Tİ6AL4V titanyum alaşımının işlenmesinde kesici takım performansının etkisi, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Padmini, R., Krishna, P., V., Rao, G., K., M., 2016, Effectiveness of vegetable oil based nanofluids as potential cutting fluids in turning AISI 1040 steel, *Tribology International*, 94, 490-501.
- Paturi, U.M.R., Maddu, Y.R., Maruri, R.R., Narala, S.K.R., 2016, Measurement and analysis of surface roughness in WS2 solid lubricant assisted minimum quantity lubrication (MQL) turning of Inconel 718, *Procedia CIRP*, 40, 138–143.
- Priarone, P., C., Robiglio, M., Settineri, L., Tebaldo, V., 2014, Milling and turning of titanium aluminides by using minimum quantity lubrication, *Procedia CIRP*, 24, 62-67.
- Rahim, E.A., İbrahim, M.R., Rahim, A.A., Aziz, S., Mohid, Z., 2015, Experimental Investigation of Minimum Quantity Lubrication (MQL) as a Sustainable Cooling Technique, *Procedia CIRP*, 26, 351-354.
- Saini, A., Dhiman, S., Sharma, R., Setia, S., 2014, Experimental estimation and optimization of process parameters under minimum quantity lubrication and dry turning of AISI-4340 with different carbide inserts, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 28 (6), 2307-2318.

- Sarıkaya, M., Güllü, A., 2014, Taguchi design and response surface methodology based analysis of machining parameters in CNC turning under MQL, *Journal of Cleaner Production*, 65, 604-616.
- Sarıkaya, M., Güllü, A., 2015, Multi-response optimization of minimum quantity lubrication parameters using Taguchi-based grey relational analysis in turning of difficult-to-cut alloy Haynes 25, *Journal of Cleaner Production*, 91, 347-357.
- Sayuti, M., Sarhan, A.,A.,D., Salem, F., 2014, Novel uses of SiO₂ nano-lubrication system in hard turning process of hardened steel AISI 4140 for less tool wear, surface roughness and oil consumption, *Journal of Cleaner Production*, 67, 265-276.
- Sharma, A.,K., Singh, R.,K., Dixit, A.,R., Tiwari, A.,K., 2016, Characterization and experimental investigation of Al₂O₃ nanoparticle based cutting fluid in turning of AISI 1040 steel under minimum quantity lubrication (MQL), *Materials Today: Proceedings*, 3, 1899-1906.
- Sreejith, P.S., 2008, Machining of 6061 aluminium alloy with MQL, dry and flooded lubricant conditions, *Materials Letters*, 62, 276-278.
- Wang, C., Li, K., Chen, M., Liu, Z., 2015, Evaluation of minimum quantity lubrication effects by cutting force signals in face milling of Inconel 182 overlays, *Journal of Cleaner Production*, 108, 145-157.
- Yazid, M.Z.A., CheHaron, C.H., Ghani, J.A., Ibrahim, G.A., Said, A.Y.M., 2011, Surface integrity of Inconel 718 when finish turning with PVD coated carbide tool under MQL, *Procedia Engineering*, 19, 396-401.
- Yıldırım, Ç.V., Kıvak, T., Sarıkaya, M., Mert, Ş., 2016, AISI 4340'ın tornalanmasında minimum miktarda yağlama (MMY) parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin araştırılması, 7. *Uluslararası Talaşlı İmalat Sempozyumu*, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Yunus Emre GÖNÜLAÇAR
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi : Batman- 16.03.1993
Telefon : 05382921210
e-mail : yunusemregonulacar@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Batman Anadolu Lisesi	2011
Üniversite	: Uludağ Üniversitesi	2015
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi	Devam ediyor

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2017-	Siirt Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Konstrüksiyon-İmalat

YABANCI DİLLER

İngilizce