



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**AISI O2 TAKIM ÇELİĞİNİN MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA
YÖNTEMİ (MQL) KULLANILARAK FREZELENMESİNDE
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

HAZIRLAYAN
YASİN ENSAR BIYIK

DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ BİLAL KURŞUNCU

BARTIN-2019



T.C.
BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AISI O2 TAKIM ÇELİĞİNİN MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA YÖNTEMİ
(MQL) KULLANILARAK FREZELENMESİNDE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN
Yasin Ensar BIYIK

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Bilal KURŞUNCU - Bartın Üniversitesi
Üye : Prof. Dr. Mustafa Sabri GÖK - Bartın Üniversitesi
Üye : Doç. Dr. Okan ÜNAL - Karabük Üniversitesi

BARTIN-2019

KABUL VE ONAY

Yasin Ensar BIYIK tarafından hazırlanan “AISI O2 TAKIM ÇELİĞİNİN MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA YÖNTEMİ (MQL) KULLANILARAK FREZELENMESİNDE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışma, 11.09.2019 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Bilal KURŞUNCU (Danışman)

Üye : Prof.Dr. Mustafa Sabri GÖK

Üye : Doç. Dr. Okan ÜNAL

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof.Dr. H. Selma ÇELİKAY
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Dr. Öğr. Üyesi Bilal KURŞUNCU danışmanlığında hazırlamış olduğum “AISI O2 TAKIM ÇELİĞİNİN MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA YÖNTEMİ (MQL) KULLANILARAK FREZELENMESİNDE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

.././2019

Yasin Ensar BIYIK

ÖNSÖZ

“AISI O2 takım çeliğinin minimum miktarda yağlama yöntemi (MQL) kullanılarak frezelenmesinde işlenebilirliğinin incelenmesi” isimli çalışmanın gerçekleşmesinde, bana her konuda destek olan değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Bilal KURŞUNCU'ya öncelikli olarak saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım. Bölüm başkanımız Prof. Dr. Mustafa Sabri GÖK'e yardımlarını esirgemediği için teşekkür ederim. Bilimsel araştırma laboratuvarındaki tüm cihazların kullanımı için yardımcı olan Öğr. Görevlisi Volkan Murat YILMAZ'a, araştırmalarımnda kullanmış olduğum çeşitli analizler için bana vakit ayıran Öğr. Görevlisi Halil EŞGİN'e yüksek lisansım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen canım aileme, sevgili arkadaşlarım Umut ÖZBEY, Yusuf GÖKDERELİ, Emre AYDOĞDU ve Harun CAMCI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Yasin Ensar BIYIK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AISI O2 TAKIM ÇELİĞİNİN MINİMUM MİKTARDA YAĞLAMA YÖNTEMİ (MQL) KULLANILARAK FREZELENMESİNDE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Yasin Ensar BIYIK

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Bilal KURŞUNCU

Bartın-2019, sayfa: 80

AISI O2 imalat sanayinde sıklıkla kullanılan bir tür takım çeliğidir. Yüksek sertleşebilme kabiliyeti ve mekanik özelliklerinden dolayı tercih edilmektedir. İmalat sektöründe üretim maliyetinin yanı sıra işlenebilirlik bir diğer önemli husustur. Kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülükleri ve kesici takım ömürleri işlenebilirlik tanımı içerisinde önemli bir yere sahiptir. Günümüzde artan üretim maliyetleri ve işleme sonrasında oluşan atıkların bertaraf edilme gücü araştırmacıları daha temiz ve sürdürülebilir olan alternatif üretim yöntemlerine yöneltmiştir.

Bu tez çalışmasında AISI O2 takım çeliği sinterlenmiş karbür kesici takımlar ile optimum kesme parametreleri belirlenerek kuru kesme koşulları ile minimum miktarda yağlama yöntemi kullanılarak işlenmiştir. Her işleme sonrasında yüzey pürüzlülükleri Mitutoyo Surftest SJ-310 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazıyla yedi farklı noktadan ölçülmüş en düşük ve ortalama yüzey pürüzlülükleri hesaplanmıştır. Kesme kuvvetleri tablaya bağlı Kistler marka 9757B dinamometre ile her işlem pasosu için ölçülmüş ve analiz edilmiştir. Kesici takımların aşınma miktarı her işlem pasosu sonrasında kesici takım temizlenerek Vision SX 45 Stereo zoom mikroskop ile gözlenmiş ve aşınma görüntüleri kaydedilmiştir. Aşınan kesici takımların aşınma tipleri yüksek büyütme oranına ve EDS özelliğine sahip MIAI3 TESCAN model taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile gözlemlenmiştir. Minimum

miktarda yağlama yöntemiyle işlenen iş parçasının yüzey pürüzlülükleri kuru kesme koşullarına kıyaslandığında azaldığı görülmüştür. Aynı zamanda kesme kuvvetlerinde de belirgin bir azalma görülmüştür. Minimum miktarda yağlama etkisiyle takım ömürlerinde artış gözlemlenmiştir.

Elde edilen yüzey pürüzlülükleri göz önüne alındığında en düşük yüzey pürüzlülük değeri $0,108 \mu\text{m}$ ile $V_f= 150 \text{ m/dak}$ kesme hızı, $f_z= 0,05 \text{ mm/diş}$ ilerleme oranı ve 150 ml/saat yağlama miktarında elde edilmiştir. Takım ömürleri dikkate alındığında en iyi sonuç $9,15 \text{ m}$ ile $V_f= 125 \text{ m/dak}$ kesme hızı, $f_z= 0,15 \text{ mm/diş}$ ilerleme oranı ve 50 ml/saat yağlama miktarlarında elde edilmiştir. Frezeleme sonucunda elde edilen bileşke kesme kuvvetleri $F_R= 125 \text{ m/dak}$ kesme hızı için en düşük bileşke kesme kuvveti değeri $F_R= 96,98 \text{ N}$ ile $0,05 \text{ mm/diş}$ ilerleme oranı ve 100 ml/saat yağlama miktarlarında elde edilmiştir. Minimum miktarda yağlama yönteminin AISI O2 takım çeliğinin belirlenen işlem parametreleri ile sinterlenmiş karbür kesici takım kullanılarak işlenmesinde olumlu etkisi görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: AISI O2; frezeleme; kesme kuvveti; kuru işleme; minimum miktarda yağlama; takım çeliği; takım ömrü; yüzey pürüzlülüğü.

Bilim Kodu: 625.02.05

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE MACHINABILITY OF AISI O2 TOOL STEEL IN MILLING USING MINIMUM QUANTITY LUBRICATION METHOD (MQL)

Yasin Ensar BIYIK

Bartın University

Institute of Science and Technology

Mechanical Engineering

Thesis Advisor: Assist. Prof. Bilal KURŞUNCU

Bartın-2019, pp: 80

AISI O2 is some sort of tool steel that is frequently used in manufacturing industry. It is preferred that due to capability of high hardenability and feature of mechanic. Machinability is also important in addition to cost of production in manufacturing industry. Cutting forces have an important place in description of cutting tool life and roughness of surface. Increasing production cost in these days and difficulties of waste disposal which composed after manufacturing has prompted researchers to alternative production method that can more clean and sustainable.

In this study, optimum cutting parameters were determined with sintered carbide cutting tools on AISI O2 tool steel and processed with dry cutting conditions using by minimum amount of lubrication method. After every process, surface roughness were evaluated from 7 different points with device of Mitutoyo Surftest SJ-310 and minimum surface roughnesses and average surface roughnesses were measured. Cutting forces were measured and analyzed for each cutting depth with Kistler 9757B of dynamometer, which connected to platform. The wear amount of cutting tools which cleaned were observed after the each process of cutting depth with microscope of Vision SX 45 Stereo zoom and images of wear were saved. The wear types of weared cutting tool were observed with MIAI3 TESCAN scanning electron microscope which have high magnification ratio. The surface roughness of the workpiece treated with the minimum amount of lubrication was significantly reduced

compared to dry cutting conditions. There was also a significant reduction in cutting forces. Increased tool life was observed with minimum lubrication effect.

When the surface roughness obtained was taken into consideration, the lowest surface roughness value was obtained with $0,108 \mu\text{m}$ cutting speed $V_f = 150 \text{ m/min}$, $f_z = 0,05 \text{ mm/tooth}$ feed rate and 150 ml/hour lubrication amount. In terms of tool life, the best results were obtained with a cutting speed of $9,15 \text{ m}$ with a cutting speed of $V_f = 125 \text{ m/min}$, $f_z = 0,15 \text{ mm/teeth}$ feed rate and 50 ml/h lubrication. The resultant shear forces obtained by milling were obtained with the lowest resultant shear force value of $F_R = 96.98 \text{ N}$ with a feed rate of $0,05 \text{ mm/tooth}$ and lubrication amounts of 100 ml/hour for the 125 m/min cutting speed. The minimum amount of lubrication method has a positive effect on the machining of AISI O2 tool steel by using sintered carbide coating cutting tool with determined process parameters.

Keywords: AISI O2; cutting force; dry machining; milling; minimum quantity lubrication; surface roughness; tool life; tool steel.

Science Code: 625.02.05

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY	ii
BEYANNAME.....	iii
ÖNSÖZ.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ.....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özetleri.....	3
BÖLÜM 2 KURAMSAL TEMELLER	8
2.1 Çelikler.....	8
2.1.1 Çeliklerin Sınıflandırılması.....	9
2.1.1.1 Islah çelikleri	9
2.1.1.2 Sementasyon Çelikleri.....	10
2.1.1.3 Nitrürlenebilen Çelikler.....	10
2.1.1.4 Otomat Çelikleri	10
2.1.1.5 Paslanmaz Çelikler	11
2.1.1.6 Takım Çelikleri.....	12
2.1.2 Takım Çeliklerinin İşlenebilirliği.....	13
2.2 Frezeleme.....	13
2.2.1 Metal kesme mekaniği	14
2.2.1.2 Talaş oluşumu.....	14
2.2.1.3 Kesme kuvvetleri.....	15
2.2.1.4 Mercant eşitliği.....	17
2.2.1.5 Frezeleme işlemi mekaniği.....	17
2.2.2 Sert metal işleme	18

2.3 Frezeleme İşlemlerinde Takım Aşınması	19
2.3.1 Aşınma	19
2.3.2 Aşınma Mekanizmaları	19
2.3.2.1 Abrasiv Aşınma Mekanizması	19
2.3.2.2 Difüzyon Aşınma Mekanizması	19
2.3.2.3 Oksidasyon Aşınma Mekanizması	20
2.3.2.4 Yorulma Aşınma Mekanizması	20
2.3.3 Takım Aşınma Tipleri	20
2.3.3.1 Serbest Yüzey Aşınması	20
2.3.3.2 Krater Aşınması	20
2.3.3.3 Plastik Deformasyon	21
2.3.3.4 Çentik Aşınması	21
2.3.3.5 Isıl ve Mekanik Çatlaklar	21
2.3.3.6 Çentiklenme	22
2.3.3.7 Kırılma	22
2.3.3.8 Yığılma	22
2.3.4 Takım ömrü	22
2.4 Yüzey Pürüzlülüğü	23
2.5 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	24
2.6 Enerji dağılımlı spektrometre (EDS)	25
BÖLÜM 3 MATERYAL VE YÖNTEM	26
3.1 Materyal	26
3.1.2 Kesici takımlar	26
3.1.3 Takım Tutucu	26
3.1.4 İş Parçası Malzemesi	28
3.1.5 Cihaz ve Sistemler	28
3.1.5.1 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı	28
3.1.5.3 Dinamometre	30
3.1.5.4 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	30
3.1.5.5 Enerji Dağılımlı Spektrometre (EDS)	31
3.1.5.6 Dik İşleme Merkezi	31
3.2 Yöntem	32

3.2.1 Minimum Quantity Lubrication (MQL) Sistemi.....	32
3.2.2 Kesme Parametreleri ve Deney Deseninin Belirlenmesi	33
3.2.3 Kesme kuvveti ölçümleri	33
3.2.4 Yüzey Pürüzlülük Değerlerinin Ölçülmesi	34
3.2.5 Aşınma Testleri	34
3.3 Tepki Yüzey Metodu	35
BÖLÜM 4 BULGULAR VE TARTIŞMA	36
4.1 Takım Ömürleri	36
4.1.1 $V_f=100$ m/dak Kesme Hızı İçin Minimum Miktarda Yağlama ve Kuru Kesme Koşulları Altında Elde Edilen Takım Ömürlerinin Kıyaslanması.....	36
4.1.2 $V_f=125$ m/dak Kesme Hızı İçin Minimum Miktarda Yağlama ve Kuru Kesme Koşulları Altında Elde Edilen Takım Ömürlerinin Kıyaslanması.....	37
4.1.3 $V_f=150$ m/dak Kesme Hızı İçin Minimum Miktarda Yağlama ve Kuru Kesme Koşulları Altında Elde Edilen Takım Ömürlerinin Kıyaslanması.....	38
4.2 Kesme Kuvvetleri	39
4.2.1 Minimum Miktarda Yağlama ve Kuru Kesme Koşulları Altında Elde Edilen F_R Bileşke Kesme Kuvvetlerinin Kıyaslanması	40
4.2.2 Minimum Miktarda Yağlama ve Kuru Kesme Koşulları Altında Elde Edilen F_Y Kesme Kuvvetlerinin Kıyaslanması	42
4.2.3 Minimum Miktarda Yağlama ve Kuru Kesme Koşulları Altında Elde Edilen F_Z Kesme Kuvvetlerinin Kıyaslanması	44
4.2.4 Minimum Miktarda Yağlama ve Kuru Kesme Koşulları Altında Elde Edilen F_X Kesme Kuvvetlerinin Kıyaslanması	46
4.3 Yüzey Pürüzlülük Değerleri	48
4.3.1 Frezeleme İşlemi Sonucunda Elde Edilen Minimum Yüzey Pürüzlülük Değerleri	48
4.3.2 Takım Ömrü Boyunca Ortalama Yüzey Pürüzlülükleri Kıyaslanması.....	51
4.4 Takım Aşınmalarının SEM ve EDS Kullanılarak Analizi.....	54
4.4.1 Kuru Kesme Koşulları Altında Aşınan Kesici Takımların SEM Görüntüleri ve EDS Analizi	54
4.4.2 Minimum Miktarda Yağlama Koşulları Altında Aşınan Kesici Takımların SEM Görüntüleri ve EDS Analizi.....	56

4.5 Tepki Yüzey Metodu (Minitab Programından Elde Edilen Değerler) İle Elde Edilen Sonuçların Analizi	58
4.5.1 Yüzey Pürüzlülük Değerleri İçin Gürültü (S/N) Analizi	58
4.5.2 Tepki Yüzey Metodolojisi İle Yüzey Pürüzlülüğü İçin Deneysel Sonuçların Değerlendirilmesi	60
4.5.3 Kesme Kuvveti Değerleri için Gürültü Sinyali (S/N) Analizi	61
4.5.4 Kesme Kuvveti İçin Deneysel Sonuçların Tepki Yüzey Metodolojisi İle Değerlendirilmesi	63
BÖLÜM 5 SONUÇ VE ÖNERİLER	69
KAYNAKLAR.....	72
ÖZGEÇMİŞ.....	80

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
2.1: Çevresel (a) (Kurşuncu,2016) ve alın frezeleme (b)	13
2.2: Metal kesme mekaniği şematik gösterimi	14
2.3: Talaş oluşumu şematik gösterimi	14
2.4: Kesme kuvvetleri şematik gösterimi	15
2.5: Kesme kuvvetleri diyagramı	16
2.6: Kesme kuvveti yönleri ve daldırma	18
2.7: Eğim, n üssü ve C katsayısı	23
2.8: Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler	24
2.9: Taramalı elektron mikroskobu sistemi	25
3.1: Frezeleme testlerinde kullanılan kesici takım (a) ve boyutları (b).....	26
3.2: Frezeleme testlerinde kullanılan takım tutucu	27
3.3: Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı	29
3.4: Vision SX 45 Stereo zoom mikroskop.....	29
3.5: KISTLER 9757B dinamometre.....	30
3.6: MIAI3 TESCAN model taramalı elektron mikroskobu.....	31
3.7: Eksenli Falco VMC 855-B CNC dikey freze.....	32
3.8: Werte Mikro STN 25 (a) ve MQL nozzle (b)	33
4.1: $V_f = 100$ m/dak kesme hızında takım ömürlerinin karşılaştırılması	37
4.2: $V_f = 125$ m/dak kesme hızında takım ömürlerinin karşılaştırılması	38
4.3: $V_f = 150$ m/dak kesme hızında takım ömürlerinin karşılaştırılması	39
4.4: $V_f = 100$ m/dak kesme hızında elde edilen F_R bileşke kesme kuvveti değerleri.....	40
4.5: $V_f = 125$ m/dak kesme hızında elde edilen F_R bileşke kesme kuvveti değerleri.....	41
4.6: $V_f = 150$ m/dak kesme hızında elde edilen F_R bileşke kesme kuvveti değerleri.....	42
4.7: $V_f = 100$ m/dak kesme hızında elde edilen F_Y kesme kuvveti değerleri	43
4.8: $V_f = 125$ m/dak kesme hızında elde edilen F_Y kesme kuvveti değerleri	43
4.9: $V_f = 150$ m/dak kesme hızında elde edilen F_Y kesme kuvveti değerleri	44
4.10: $V_f = 100$ m/dak kesme hızında elde edilen F_Z kesme kuvveti değerleri	45
4.11: $V_f = 125$ m/dak kesme hızında elde edilen F_Z kesme kuvveti değerleri	45
4.12: $V_f = 150$ m/dak kesme hızında elde edilen F_Z kesme kuvveti değerleri	46
4.13: $V_f = 100$ m/dak kesme hızında elde edilen F_X kesme kuvveti değerleri.....	47
4.14: $V_f = 125$ m/dak kesme hızında elde edilen F_X kesme kuvveti değerleri.....	47

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

Şekil No	Sayfa No
4.15: $V_f = 150$ m/dak kesme hızında elde edilen F_x kesme kuvveti değerleri	48
4.16: Minimum yüzey pürüzlülükleri.....	49
4.17: Minimum yüzey pürüzlülükleri.....	50
4.18: Minimum yüzey pürüzlülükleri.....	51
4.19: Takım ömürleri boyunca elde edilen yüzey pürüzlülük ortalamaları	52
4.20: Takım ömürleri boyunca elde edilen yüzey pürüzlülük ortalamaları	53
4.21: Takım ömürleri boyunca elde edilen yüzey pürüzlülük ortalamaları	54
4.22: $V_f = 100$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/diş ilerleme oranında ve kuru koşullarda aşınmış kesici takım görüntüsü	55
4.23: $V_f = 125$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/diş ilerleme oranında ve kuru koşullarda aşınmış kesici takım görüntüsü	55
4.24: $V_f = 150$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/diş ilerleme oranında ve kuru koşullarda aşınmış kesici takım görüntüsü	56
4.25: $V_f = 100$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/diş ilerleme oranında ve 50ml/saat minimum miktarda yağlama koşulunda aşınmış kesici takım görüntüsü	57
4.26: $V_f = 125$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/diş ilerleme oranında ve 100 ml/saat minimum miktarda yağlama koşulunda aşınmış kesici takım görüntüsü	57
4.27: $V_f = 150$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/diş ilerleme oranında ve 150 ml/saat minimum miktarda yağlama koşulunda aşınmış kesici takım görüntüsü	58
4.28: Yüzey pürüzlülüğü değerleri için S/N oranlarının temel etki grafiği	59
4.29: Deneyle elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin ve model ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması	61
4.30: Kesme kuvveti değerleri için S/N oranlarının temel etki grafiği	62
4.31: Deneyle elde edilen elde edilen kesme kuvveti değerlerinin ve model ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması	64
4.32: Farklı minimum miktarda yağlama akış hızlarında, ilerleme oranı ve kesme hızının kesme kuvveti değerleri üzerindeki etkisi.....	65
4.33: Farklı minimum miktarda yağlama akış hızları için, ilerleme oranı ve kesme hızının kesme kuvveti değerleri üzerindeki etkisinin 3D grafiği	66
4.34: Farklı MQL akış hızı koşulları için ilerleme oranı ve kesme hızının yüzey pürüzlülük değerleri üzerindeki etkisi	67

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

Şekil
No

Sayfa
No

4.35: Farklı MQL akış hızı değerleri için yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde ilerleme oranı ve kesme hızının etkisinin 3D yüzey grafikleri ile gösterilmesi..... 68



TABLolar DİZİNİ

Tablo No	Sayfa No
3.1: Takım tutucu geometrisi	27
3.2: AISI O2 Kimyasal bileşimleri.....	28
3.3: AISI O2 Mekanik özellikleri.....	28
3.4: Kesme Parametreleri	33
3.5: Frezeleme İşleminde Kullanılan Parametreler	34
4.1: Yüzey pürüzlülük değerleri ve S/N oranları	58
4.2: Yüzey pürüzlülüğü varyans tablosunun analizi [Kısmi kareler toplamı Tip III]	60
4.3: Kesme Kuvveti sonuçları ve S/N oranı değerleri.....	62
4.4: Elde edilen kesme kuvveti için varyans tablosunun analizi [Kısmi kare toplamı - Tip III]	63

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ϕ	:	Kayma düzlemi açısı
τ	:	Kayma gerilmesi
ϕ_{ex}	:	Takım iç parçasından çıkış açısı
ϕ_{st}	:	Takımın iş parçasına giriş açısı
Al	:	Alüminyum
a_p	:	Eksenel kesme derinliği
A_s	:	Kayma düzlemi alanı
C	:	Karbon
Ca	:	Kalsiyum
Co	:	Kobalt
Cr	:	Krom
dak	:	Dakika
F_c	:	Kesme kuvveti
Fe	:	Demir
FEM	:	Sonlu elemanlar metodu
F_n	:	Normal kuvvet
F_R	:	Bileşke kesme kuvveti
F_s	:	Kayma kuvveti
F_t	:	Teğetsel kuvvet
F_x	:	X yönünde meydana gelen kesme kuvveti
F_y	:	Y yönünde meydana gelen kesme kuvveti
f_z	:	İlerleme oranı

F_z	:	Z yönünde meydana gelen kesme kuvveti
HRC	:	Rockwel sertliği
ml	:	Mililitre
mm	:	Milimetre
Mn	:	Mangan
MQL	:	Minimum miktarda yağlama
MPa	:	Mega paskal
N	:	Takım ile talaş arasında oluşan normal kuvvet
P	:	Fosfor
PVD	:	Fiziksel buhar biriktirme
R_a	:	Yüzey pürüzlülüğü
S	:	Kükürt
Si	:	Silisyum
Sr	:	Strontiyum
T	:	Takım ömrü
Ti	:	Titanyum
V	:	Vanadyum
V_f	:	Kesme hızı
W	:	Tungsten

BÖLÜM 1

GİRİŞ

AISI O2 takım çeliği, tavlama ile elde edilen ve yüksek dayanıklılığa sahip bir takım çeliğidir. Sertliği 63-65 HRC arasında olan AISI O2 içerdiği karbon yüzdesinden dolayı sıklıkla tercih edilen kaliteli ve genel amaçlı bir takım çeliğidir. Bu çelik, hafif ve orta ölçekli kesici takımlar ile işlendiğinde iyi performans sergiler. Yüksek işlenebilirliğe sahip bu çelik hassas ölçü aletleri, plastik kırma bıçakları, masterlar ve makas ağzı bıçaklarının yapımında kullanılır.

İmalat işlemlerinin büyük bir bölümünü kapsayan talaşlı imalat proseslerinde verimlilik ve üretilen ürünün kalitesi ön plandadır. Verimlilik ve ürün kalitesi, temel olarak kesme işleminde uygulanan hız, ilerleme oranı ve kesme derinliğinin yanı sıra malzemenin kimyasal içeriği ve fiziksel özellikleri ile belirlenir. Üretim kalitesini artırmak için kesici takımın yüksek kalitede olması istenmektedir ve bu da üretim maliyetinde artışa yol açmaktadır. Dolayısıyla tüm bu işlemler maliyeti yüksek olan üst grup kesici takımlar ile sağlanmaktadır. Bu çalışmada Sandvik Firması'ndan temin edilen R390-11 T3 08M-PM 1010 kodlu sinterlenmiş karbür kesici takımlar kullanılmıştır.

Üretim işlemlerinde yaygın olarak kullanılan imalat kalite endekslerinden bir tanesi de yüzey pürüzlülüğüdür. Bununla birlikte yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli faktör de takım aşınmasıdır. Kesici takımın aşınmasındaki bir miktar artış yüzey kalitesini olumsuz yönde etkiler. Bu problemin en aza indirgenmesi yani takımın daha iyi performans gösterebilmesini sağlamak için kesme hızı, ilerleme oranı, kesme derinliği ve yağlama miktarı iyi optimize edilmelidir. Kesici takım aşınması iş parçası ile olan sürtünmeden dolayı meydana gelmektedir ve bu sürtünme bölgedeki sıcaklığın artmasına neden olur. Bu bölgede oluşan sıcaklıktaki bir miktar artış takım ömrünü ve dolayısıyla yüzey pürüzlülüğünü olumsuz yönde etkilemektedir. Oluşan bu olumsuzlukları en aza indirmek, üretim maliyetlerini azaltmak ve ürün kalitesini artırmak için soğutma sıvıları yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak soğutma sıvısı kullanmak da maliyetin artmasına sebep olmaktadır. Son yıllarda minimum miktarda yağlama yönteminin hem maliyet hem de atık bertaraf etme açısından oldukça başarılı olduğu görülmektedir. Bununla birlikte çevre dostu olduğundan endüstriyel

alanda oldukça ilgi görmektedir. Günümüzde hem maliyet hem de temiz üretim açısından soğutma sıvılarının kullanımındaki azalma göz ardı edilemez derecededir. Minimum miktarda yağlama yöntemi, geleneksel soğutma yöntemlerine kıyasla temiz üretim, kuru işlemeye kıyasla ise sürekli aşınan parça maliyeti göz önüne alındığında oldukça kullanılabilir olduğu görülmektedir. Minimum miktarda yağlama yönteminde haznedeki yağlayıcının basıncı artırılmış hava yardımıyla iş parçasının kesici takımla temas ettiği bölgeye püskürtülür. Bu bölgedeki sürtünmeyi azaltarak bölgenin sıcaklığını düşürür, kesici takım aşınması ve işleme esnasında oluşan titreşimleri azaltarak daha verimli üretim imkânı sağlar.

Üretim verimliliğini arttırmak için kullanılan kesme parametrelerinin ve minimum miktarda yağlama miktarının optimizasyonu oldukça önemlidir. Taguchi yöntemi ile daha iyi ürün kalitesi ve işleme maliyetleri durumu göz önüne alınarak sürdürülebilir bir üretim için kullanılmaktadır. Bu çalışmada Taguchi yöntemi kullanılarak işlem parametrelerinin optimizasyonu amaçlanmıştır ve deney deseni olarak Taguchi'nin L9 ortogonal dizisi kullanılmıştır. Taguchi yöntemi ile en düşük performans ile en yüksek verimi almak ve daha iyi bir üretim süreci geçirmek amaçlanır. Literatürde yapılan araştırmalarda görüldüğüne göre, optimum kesme parametrelerinin belirlenmesinde Taguchi yönteminin etkin olarak kullanılabileceği görülmüştür. Bu çalışmada bilimsel anlamda ilk defa AISI O2 takım çeliğini frezeleme işleminde, takım çeliğinin yüzey kalitesini artırmak, kesici takım aşınmasını azaltmak ve kesme esnasında oluşan kuvvetlerini düşürmek amacıyla minimum miktarda yağlama yöntemi kullanılmıştır.

1.1 Literatür Özetleri

Elmunafi ve arkadaşları çalışmalarında AISI 4240 paslanmaz çeliğini kuru koşullarda ve minimum miktarda yağlama yöntemi kullanarak işlenebilirliğini incelemişlerdir. Kesme parametreleri olarak 100-135-170 mm/dak kesme hızı, 0,16-0,20-0,24 mm/diş ilerleme oranı kullanmışlardır. En yüksek takım ömrü düşük kesme hızı ve düşük ilerleme oranında (100 m/dak, 0,16 mm/diş) en düşük takım ömrü ise yüksek kesme hızı ve yüksek ilerleme oranında (170 m/dak, 0,24 mm/diş) elde etmişlerdir. Kesme sıvısının akış hızı 50 ml/saat ve hava basıncı 5 bar olarak belirlenmiştir. 100 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/diş ilerleme oranı parametreleri kuru kesme koşulları uygulandığında takım ömrü 17,7 dakika iken aynı parametreler minimum miktarda yağlama koşulu altında uygulandığında takım ömrünün 33,7 dakikaya kadar çıkabildiğini gözlemlemişlerdir. Takım ömrünün uzamasının yanı sıra minimum miktarda yağlama yönteminin yüzey pürüzlülüğünü ve kesme kuvvetlerini azalttığı da görülmüştür (Elmunafi vd., 2015).

Uysal ve arkadaşları, çalışmalarında AISI 420 martenzitik çeliğinin işlenmesinde kuru koşullar, bitkisel kesme sıvısı ile minimum miktarda yağlama ve nano akışkan ile minimum miktarda yağlama yöntemini karşılaştırmışlardır. Nano akışkan bitkisel kesme sıvısına MoS₂ partikülleri eklenerek elde edilmiştir. Minimum miktarda yağlama koşulları 20-40ml/saat akış hızı ve hava basıncı 5 bar olarak belirlenmiştir. Takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü bakımından en iyi sonuç nano partiküllü kesme sıvısının 40 ml/saat akış hızında elde edilmiştir (Uysal vd., 2015).

Bollig ve arkadaşları, temperlenmiş AISI 4140 çeliğinin işlenmesinde 2D ve 3D FEM simülasyonu kullanarak kuru koşullar ile minimum miktarda yağlama yöntemini karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak minimum miktarda yağlama etkisinin kuru koşullara göre sıcaklığı düşürdüğünü göstermişlerdir (Bollig vd., 2015).

Werda ve arkadaşları minimum miktarda yağlamanın yüzey bütünlüğü üzerine etkisi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Minimum miktarda yağlama yöntemini içerisinde iki farklı yağlama sıvısı ile (PX5130, PX5131) kullanmışlar ve kuru kesme koşullarıyla kıyaslamışlardır. Deney parametreleri olarak 135 m/dak kesme hızı, 0,38 mm/diş ilerleme oranı ile 2 mm kesme derinliğini belirlemişlerdir. Yaptıkları çalışmalar sonucunda kuru kesme koşulları ile işleme esnasında kesme bölgesinde oluşan sıcaklığın minimum miktarda

yağlama yöntemine kıyasla oldukça yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Kuru kesme koşullarında yağlayıcının olmamasından ve temas bölgesinde meydana gelen sürtünmenin yoğunluğundan dolayı sıcaklığın arttığı düşünülmektedir. Kuru kesme koşullarına kıyasla her iki yağlayıcının da kullanıldığı minimum miktarda yağlama yöntemi ile elde edilen yüzey pürüzlüklerinde azalma gözlemlenmiştir (Werda vd., 2016).

Meena ve Mansouri, östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir melzemesini delme işlemlerinde minimum miktarda yağlama yöntemini kuru kesme koşulları ile karşılaştırmışlar ve minimum miktarda yağlama etkisinin yüzey kalitesi, kesme performansı ve takım ömrü açısından daha iyi olduğunu göstermişlerdir (Meena ve Mansouri, 2011).

Zhiqiang Liu ve arkadaşları, titanyum alaşımlarının yüksek hızda işlenmesinde (nc- $AlTiN$)/ (a- Si_3N_4) ve (nc- $AlCrN$)/(a- Si_3N_4) kaplamalı takımları kullanarak kuru koşullar ile minimum miktarda yağlama yönteminin aşınma performanslarına etkilerini incelemişlerdir. Belirledikleri 120m/dak kesme hızı, 0,1mm/diş ilerleme oranı, 1,2mm kesme derinliği ve 16ml/saat yağlama koşulları altında minimum miktarda yağlama yönteminin kuru koşullara göre takım ömrünü iyileştirme açısından önemli olduğunu göstermişlerdir (Liu vd., 2013).

Kedare ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada sertliği 15 HRC olan hafif çeliği universal freze tezgâhında işlemede minimum miktarda yağlama yönteminin yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında deney parametreleri olarak sırasıyla 160-225 ve 300 rpm kesme hızı, 0,1-0,2-0,3 mm kesme derinliği ve 900ml/saat minimum miktarda yağlama miktarı ve 2 lt/dak geleneksel soğutma kullanmışlardır. Deney sonuçlarında minimum miktarda yağlama yöntemiyle elde edilen yüzey pürüzlülüklerinin geleneksel soğutmaya kıyasla oldukça düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. İşleme esnasında kullanılan sıvının da azalması göz önünde bulundurulduğunda minimum miktarda yağlama yönteminin geleneksel soğutma yöntemine alternatif olabileceğine değinmişlerdir (Kedare vd., 2014).

Hadad ve Sadeghi, AISI 4140 çeliğini tornalama işleminde yüksek hız çeliği kullanarak minimum miktarda yağlama yöntemi ile kuru koşulları karşılaştırmışlardır. Kesme parametreleri olarak 50,2-100,4-141,4 m/dak kesme hızları, 0,09-0,22 mm/diş ilerleme oranı ile 0,5-1-1,5 mm kesme derinliğini belirlemişlerdir. Bununla birlikte belirtilen iki ilerleme oranındaki yüzey pürüzlülük değerleri kuru koşullara kıyasla oldukça düşük olduğu görülmüştür (Hadad ve Sadeghi, 2013).

Ucun ve arkadaşları, Inconel 718 süper alaşımının mikro işlenmesinde kaplama malzemesinin takım aşınması üzerindeki etkisini incelemişlerdir. AlCrN kaplamalı takım kullanarak yaptıkları mikro işlemede kuru koşullar ile minimum miktarda yağlama yöntemini karşılaştırmışlardır. Takım aşınması testi uygulanırken çapı 768 µm olan takım kullanılmıştır. Belirlemiş oldukları 1,25 µm/yiv ilerleme oranı ve 0,15 mm kesme derinliğinde kuru şartlarda takım aşınması %8,49 iken minimum miktarda yağlama yöntemi kullanılarak yapılan test sonucunda meydana gelen takım aşınması %4,62 olarak ölçülmüştür. Minimum miktarda yağlama yönteminin takım ömrünü önemli derecede arttırmasının yanı sıra talaş yapışmasını da önlediğini gözlemlemişlerdir (Ucun, 2013).

Chinchanikar ve Choudhury, kuru ve minimum miktarda yağlama (MQL) altında sert AISI 4340 çeliğini (54-57 HRC) işleme sırasında HiPIMS kaplı nanokompozit AlTiN, nanokompozit çok katmanlı TiAlN / TiSiN ve nanokristal AlTiCrN karbür takımları kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Minimum miktarda yağlama yöntemi kullanılarak yapılan testler kuru kesme koşulları ile yapılan testlere göre takım ömrü açısından bütün takımlarda iyileşme göstermiştir. Bu iyileşmenin düşük kesme sıcaklığına atfedilebilecek olduğuna değinmişlerdir. Minimum miktarda yağlama yöntemi altındaki düşük kesme sıcaklığı, takım sertliğini ve sıcaklığa bağlı difüzyon tipindeki aşınma türlerini koruyarak aşınmayı azaltılmasına yardımcı olmaktadır (Chinchanikar ve Choudhury, 2014).

Liao ve arkadaşları, NAK80 sertleştirilmiş çeliğin karbür kesici takım ile yüksek hızda işlenmesinde minimum miktarda yağlama yöntemini kullanmışlardır. Minimum miktarda yağlama yöntemi kuru kesme koşullarına göre kıyaslandığında, belirledikleri 0,15 mm/diş ilerleme oranı ve 150 m/dak, 200 m/dak, 250 m/dak kesme hızlarında sırasıyla %14, %20 ve %44 takım ömrü uzama oranı elde etmişlerdir. Minimum miktarda yağlama yöntemi kullanılarak en yüksek kesme hızı 250 m/dak uygulandığında en iyi yüzey kalitesi elde edilmiştir. Bununla birlikte diğer tüm kesme hızları ve ilerleme oranlarında minimum miktarda yağlama yöntemi kullanılarak elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin kuru kesme koşulları ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinden daha düşük olduğu gözlemlenmiştir (Liao vd., 2007).

Khan ve Dhar, AISI 1060 çeliğini tornalama işleminde minimum miktarda yağlama yöntemini kullanmışlar ve etkilerini incelemişlerdir. İşleme esnasında minimum miktarda yağlama yönteminin kesme sıcaklığını düşürdüğünü gözlemlemişlerdir. Yüzey kalitesi ve

boyutsal doğruluk temel olarak minimum miktarda yağlama yöntemi ile kesici takım ucunun hasarının azaltılması sonucunda geliştirilmiştir. Bununla birlikte minimum miktarda yağlama yönteminde bitkisel yağ kullanılmış ve kesme kuvvetlerini %5 ile %15 oranında düşürdüğü gözlemlenmiştir (Khan ve Dhar.,2006).

Rahim ve arkadaşları yaptıkları çalışmada sürdürülebilir soğutma tekniği olarak minimum yağlama yöntemini kullanmışlardır. Minimum miktarda yağlama yönteminin kuru kesme koşullarına kıyasla kesme sıcaklığını %10 ile %30 arasında azalttığı görülmüştür. Sıcaklığın azaltılmasının takım ömrünü uzattığı sonucunu elde edilmiştir. Bunların dışında temas bölgesindeki sürtünme katsayısını düşürerek kesme kuvveti kuru duruma göre %5 ile %28 arasında azalttığı görülmüştür (Rahim vd., 2015).

Khan ve Maity, 2. Kalite ticari saf titanyum (CP-Ti)'un işlenmesinde kesme hızı ve soğutma yöntemlerinin işlenebilirliğe etkisini incelemişlerdir. Kesme parametreleri olarak, 51-67-87 m/dak kesme hızı, 0,12 mm/diş ilerleme oranı, 0,5 mm kesme derinliği belirlemişlerdir. Geleneksel soğutma ve minimum miktarda yağlama yöntemi kullanılarak yaptıkları uygulamaların kuru kesim altındaki kesim bölgesi sıcaklığına kıyasla azaldığını gözlemlemişlerdir. En düşük kesme sıcaklığını geleneksel soğutma ve kuru kesme yöntemine kıyasla minimum miktarda yağlama yöntemi kullanarak yaptıkları uygulama sonucunda elde etmişlerdir. Ticari saf titanyumu minimum miktarda yağlama yöntemi kullanarak tormalama işleminde gözlemledikleri kesme kuvvetlerinde kuru kesme koşulları ve geleneksel soğutma yöntemine kıyasla sırasıyla %46 ve %16lık azalma elde etmişlerdir. Minimum miktarda yağlama yöntemi kullanarak yaptıkları test sonucunda yan yüzey takım aşınması bakımından kuru kesme koşullarına göre %57, geleneksel soğutma yöntemine göre ise %34'lük bir azalma gözlemlemişlerdir. Bununla birlikte en iyi yüzey kalitesini bitkisel bazlı minimum miktarda yağlama yöntemi sonucunda etmişlerdir. Bitkisel bazlı minimum miktarda yağlama yönteminin belirttikleri parametre aralıklarında daha iyi bir işlenebilirlik elde edilmesi için uygulanabileceğini göstermişlerdir (Khan ve Maity, 2018).

Rabiei ve arkadaşları yapmış oldukları yüzey taşlama işleminde minimum miktarda yağlama yönteminin gelişimini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada minimum miktarda yağlama akış oranını 120 ml/saat olarak belirlemişler ve minimum miktarda yağlama yöntemini kuru koşullarda taşlama ve geleneksel soğutma yöntemleri ile karşılaştırmışlardır. Minimum miktarda yağlama yöntemi ile taşlama esnasında meydana gelen teğetsel kuvvetleri önemli

derecede azaltılabileceğinden bahsetmişlerdir. Özellikle 10Cr6 sertleştirilmiş çelik ve yüksek hız çeliğinin işlenmesinde minimum miktarda yağlama yöntemi ile elde edilen yüzey pürüzlülüklerinin kuru koşullar ve geleneksel soğutmaya kıyasla oldukça düşük olduklarını gözlemlemişlerdir (Rabiei vd., 2015).

Das ve arkadaşları, ısıl işlem görmüş 4340 çeliğinin kuru ve minimum miktarda yağlama altında işlenebilirliğini karşılaştırmışlardır. Kesme parametreleri olarak 50-100-150-200 m/dak kesme hızları, 0,04-0,08-0,12-0,16 mm/diş ilerleme oranları, 0,2 mm kesme derinliği ile 5 bar basınç altında 50 ml/saat minimum miktarda yağlama akış hızını belirlemişlerdir. Kesici takım olarak MT PVD kaplı karbür kesici uç ile yağlama sıvısı olarak demir alüminyum yağı LT30 kullanmışlardır. Yaptıkları testlerde kuru kesme koşulları ile işleme altındaki kesici uç yan yüzey aşınmasının kesme hızı ile orantılı olduğunu görmüşlerdir. Kuru kesme koşulları altında yapılan testler sonucunda yüzey pürüzlülüğünün ilerleme oranı arttıkça yükseldiğini gözlemlemişlerdir. Aynı parametreler altında minimum miktarda yağlama yöntemi kullanarak işleme sonucunda kuru koşullara göre daha düşük yüzey pürüzlülüğü ile karşılaşmışlardır (Das vd., 2018).

BÖLÜM 2

KURAMSAL TEMELLER

2.1 Çelikler

Çelikler, içeriğinde bol miktarda bulunan demirin yer kabuğunda oldukça yüksek miktarda bulunmasından ve mekanik özelliklerinden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. Demir-karbon faz diyagramına göre ağırlığınca en çok %2.11 karbon içerir. İçeriğindeki karbon oranı ağırlığınca %2.11'den yüksek olan alaşımları dökme demir olarak adlandırılır (Totten, 2006). Demir ve karbonun yanı sıra içeriğinde farklı alaşım elementleri de bulunabilir veya daha sonra eklenebilir. Aşağıda çeşitli elementlerin alaşıma olan etkilerinden temel olarak bahsedilmiştir.

Karbon (C), alaşım içerisindeki karbon miktarı çeliğin tipini belirler. Karbon çeliğin sertliğini ve mukavemetini artırırken, süneklik ve kaynak kabiliyetini azaltır (Sinha, 1989; Zhang ve Wu, 1992).

Mangan (Mn), kükürt giderici özellik gösterir ve demir kükürt bileşiğinin oluşumunu engeller. Çeliğin dayanımını yükseltir, sertleşme ve kaynak kabiliyetini iyileştirir (Zhang ve Wu, 1992).

Silisyum (Si), çelik üretiminde bulunan oksijen gidericilerden biridir. Isıya dayanıklı çeliklerde sertliği, aşınma direncini ve akma dayanımını artırır (Sinha, 1989; Ross, 1992).

Fosfor (P), çeliklerin mukavemetini artırır. Alaşım içerisindeki fosfor miktarı arttıkça süneklik ve darbe tokluğu azalır, soğuk kırılma eğilimi artar (Ross, 1992).

Kükürt (S), alaşım içerisinde demirle birleşerek kırılma eğilimi artırır. Süneklik, darbe tokluğu, kaynak kabiliyeti ve yüzey kalitesini olumsuz yönde etkiler (Koyach, 1975; Krauss, 1990).

Alüminyum (Al), alaşım içerisinde oksijen gidermede önemli rol oynar. Korozyon direncini artırır (Krauss, 1990).

Azot (N), düşük karbonlu çelik içerisinde kırılma eğilimi artırır (Zhang ve Wu, 1992).

Krom (Cr), çelik içerisindeki en önemli alaşım elementlerinden biridir. Krom, eklendiği alaşımın oksidasyon ve aşınma direncini artırır, sertleşebilme kabiliyetini iyileştirir (Ross, 1992).

Nikel (Ni), eklendiği alaşıma yüksek darbe dayanımı, yüksek yorulma direnci ve yüksek sertlik kazandırmakla birlikte alaşımın korozyon direncini de artırır (Totten, 2006).

Molibden (Mo), çelik alaşımı için oldukça önemli bir elementtir. Çelik alaşımına molibden ilavesi ile yorulma direnci ve sertleşebilme kabiliyeti artar. Korozyon direncini artırır ve alaşım içerisindeki kırılabilirliği giderir. Tane büyümesini engelleyerek ince taneli yapı oluşumuna imkân sağlar (Zhang ve Wu, 1992; Ross, 1992).

Tungsten (W), çelik içerisindeki davranışı molibden ile benzerdir. Alaşım içerisine eklenen tungsten tane büyümesini engeller. Kesme kabiliyetini iyileştirir (Zhang ve Wu, 1992; Boyer, 1981).

Vanadyum (V), tane inceltici özelliğe sahip olan vanadyum güçlü bir karbür biçimlendiricidir. Alaşım içerisine eklenen vanadyum çentik hassasiyetini, yorulma dayanımını ve aşınma direncini artırır. Bazı çeliklerde kaynak kabiliyetini iyileştirir (Zhang ve Wu, 1992).

Niyobyum (Nb), iyi bir karbür oluşturunucudur ve tane küçültme kabiliyeti oldukça yüksektir (Totten, 2006).

Titanyum (Ti), alaşım içerisindeki özellikleri niyobyum ve vanadyuma benzerdir. Östenitik çeliklerde korozyonu önlemek için kullanılmaktadır (Zhang ve Wu, 1992; Wegst, 1992).

2.1.1 Çeliklerin Sınıflandırılması

2.1.1.1 Islah çelikleri

Islah, su verme ve menevişleme işlemleri uygulanarak kullanılan malzemeye istenilen özellikleri kazandırma işlemidir. Islah çelikleri, süneklik ve yüksek dayanım istenilen durumlarda kullanılan, içeriğindeki karbon oranını yüksek olan alaşımlı veya alaşımsız olarak imal edilebilen çeliklerdir (URL-3, 2019). İçeriğindeki yüksek karbon oranından dolayı kaynak işleminde martenzitik yapı oluşur ve bu durum kaynak işlemini zorlaştırır. Genel olarak miller, dişliler, motor parçaları gibi malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır (Adalı ve Kurnaz, 2003).

2.1.1.2 Sementasyon Çelikleri

Sementasyon işlemi, malzemenin aşınma dayanımını ve sünekliğini bir miktar artırmak için yapılmaktadır. Sementasyon çeliklerine takviye alaşım elementleri eklenerek ve içeriğinde bulunan karbon oranı artırılarak çekirdek bölgedeki dayanımı iyileştirilebilmektedir. Sementasyon işlemi genel olarak dişli çarklar, pistonlar, diskler ve kesici takımlarda içyapıda yüksek tokluk, malzeme yüzeyinde ise sertlik ve yüksek aşınma direnci istenilen durumlarda uygulanmaktadır (Asi ve Can, 2001). Bu işlemin birçok avantajı mevcuttur, işlenecek malzemenin bir bölümü veya tamamını şekillendirme işleminden sonra uygulanmaktadır. Bu da kolay işleme avantajı sağlamaktadır. Maliyeti açısından istenilen sertliğe sahip karbon oranı yüksek olan diğer çeliklerden daha ucuzdur. Bu işlem sırasında içyapıdaki yumuşaklık korunduğundan dolayı çarpılmalar oldukça az olmaktadır (URL-2 ve URL-3, 2019).

2.1.1.3 Nitrürlenebilen Çelikler

Nitrürleme yani nitrasyon malzeme yüzeyinde aşınmaya karşı yüksek direnç istenilen durumlarda uygulanan bir işlemdir. Bu işlemde temel olarak malzeme yüzeyine azot difüzyonu yapılarak yüzeyde sertliği yüksek bir tabaka oluşturulur. Düşük yüzey sıcaklığı, yüksek korozyon direnci ve içyapıda değişikliklere neden olmaması en önemli avantajlarıdır (URL-4, 2019).

2.1.1.4 Otomat Çelikleri

Talaşlı imalat işlemlerinde en önemli kıstas malzemelerin işlenebilirliğidir. Otomat çelikleri içerdiği fosfor ve kükürt oranı sayesinde yüksek kesme hızları ve düşük kesme kuvvetleri ile kolay işleme imkânı sağlar (URL-5 ve URL-6, 2019). Fosfor ve kükürt talaşların daha kırılğan bir yapıda olmasını ve aynı zamanda yağlayıcı özelliğe sahip olduklarından dolayı daha temiz bir yüzey elde edilmesine olanak sağlar. Bu çelikler yüksek kesici takım ömrü, seri üretim yapan tezgâhlarda, iyi yüzey kalitesi istenilen durumlarda ve otomotiv endüstrisinde oldukça sık kullanılmaktadır (Sönmez, 1983).

2.1.1.5 Paslanmaz Çelikler

Kimyasal bileşiminde %10 ve üzeri krom elementi içeren alaşımlardır. İçeriğindeki krom elementi bu alaşımları paslanmaya karşı korumaktadır. Mikro yapılarına göre sınıflandırılabilirler.

a) Östenitik Paslanmaz Çelikler: En yaygın ve en çok bilinen paslanmaz çelik tipi olan östenitik paslanmaz çelikler iyi derecede kaynak kabiliyeti ve şekillendirilebilirlik özelliklerine sahiptir. 200 ve 300 serilerini kapsayan bu çelik türü içyapısında %16 ila %25 arasında krom elementi içerir (URL-7, 2019).

b) Ferritik Paslanmaz Çelikler: 400 serilerini kapsayan bu çelik türü içyapısında %11 ila %30 arasında krom elementi içerir. Manyetik yapıda olan çelik türü düşük sıcaklıklarda kırılma eğilimi göstermesinin yanı sıra ısı ile sertleşmezler (URL-8, 2019).

c) Martenzitik Paslanmaz Çelikler: Krom içeriği %10 ve daha fazla olan bu çelik türünün en belirgin özelliği karbon oranının yüksek olmasıdır. Kaynak kabiliyeti düşük olmasına rağmen bu çelik türüne ısı ile işlem uygulanabilir ve sertliği artırılabilir (URL-9, 2019).

d) Dupleks Paslanmaz Çelikler: Ferritik ve östenitik taneciklerin karışımına sahip olan bu çelik türü mükemmel korozyon direnci ve yüksek mekanik dayanıma sahiptirler. Süneklik ve tokluk özellikleri ferritik paslanmaz çeliklere kıyasla daha yüksek, östenitik paslanmaz çeliklere kıyasla ise daha düşüktür (URL-10, 2019).

e) Çökeltmeyle Sertleştirilmiş Paslanmaz Çelikler: Yaşlandırma ile sertleştirilebilen paslanmaz çelikler olarak da adlandırılan bu çelik türü yüksek korozyon direnci ve yüksek mukavemete sahiptir. Sertleşme bakır, niyobyum ve titanyum gibi alaşım elementleri çelik içeriğine eklenerek kazandırılır (URL-11, 2019). Paslanmaz çelikler genel olarak yüksek tokluk, mükemmel süneklik, yüksek korozyon direncine sahip çeliklerdir. Otomotiv sanayinde, kimya endüstrisinde, depolama tanklarında, türbin kanatlarında, vida ve perçin imalatında oldukça sık olarak kullanılmaktadır (URL-12, 2019).

2.1.1.6 Takım Çelikleri

Takım çelikleri, ahşap, metal ve plastik gibi malzemelerin işlenmesinde kullanılan çeliklerdir. Bu çelikler yüksek sertlik ve tokluğa sahip olmakla birlikte aşınmaya karşı mükemmel direnç göstermektedir. Takım çelikleri uygulama alanlarına göre sınıflandırılmaktadır.

-Soğuk iş takım çelikleri

-Sıcak iş takım çelikleri

-Plastik kalıp çelikleri

-Yüksek hız takım çelikleri

a) Soğuk iş takım çelikleri

Soğuk iş takım çelikleri $200^{\circ}C$ 'nin altındaki sıcaklıklarda metal şekillendirmede kullanılmaktadır. Bu çeliklerin karbon oranı düşüktür ve genel olarak damgalama, levha veya kütük işlemede kullanılmaktadır (Mesquita vd., 2017; Banerjee, 2018).

b) Sıcak iş takım çelikleri

Genel olarak $600^{\circ}C$ 'nin üzerindeki sıcaklıklarda metallere şekil vermede kullanılmaktadır. Burada temel işlem dövme, ekstrüzyon ve dökümdür. Çalışma esnasında kalıp yüksek sıcaklığa ve yüksek gerilmeye maruz kalmaktadır. Kullanılan takım çeliklerinin yüksek sıcaklıklara dayanıklı olmasının yanı sıra tokluğu ve yorulma direnci de yüksek olmalıdır (Mesquita vd., 2017; Banerjee, 2018).

c) Plastik kalıp çelikleri

Plastik kalıp çelikleri, termoplastik polimerlerin enjeksiyon ve kalıplamadaki biçimlendirme işlemlerinde uygulanmaktadır. İşlenebilirlik, korozyon direnci gibi özellikler kalıp üretiminde önemli rol oynamaktadır. Ayrıca yüksek aşınma dayanımı ve yüksek basınç dayanımı da istenilen özelliklerdendir (Mesquita vd., 2017; Banerjee, 2018).

d) Yüksek hız takım çelikleri

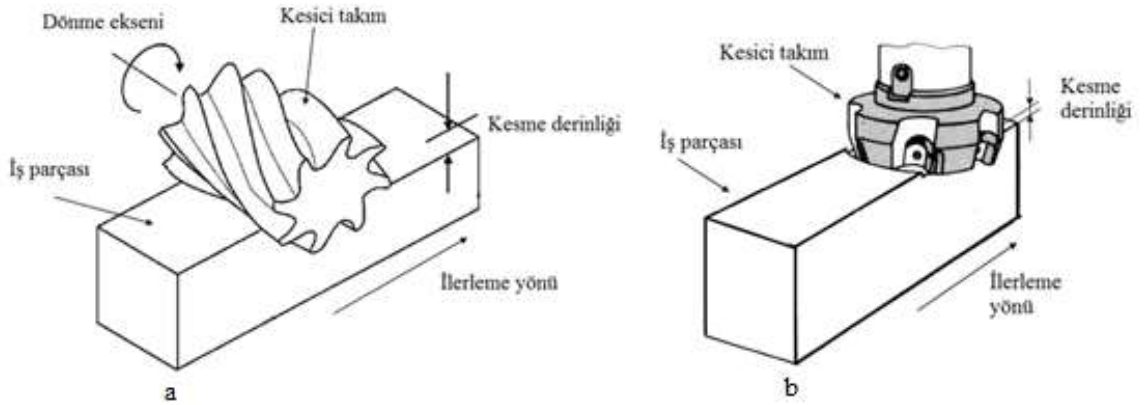
Yüksek hızlı işleme esnasında sertliklerini koruyabilen takım çelikleridir. Bu çelikler yüksek tokluk ve sertliğe sahiptir. İçeriğindeki karbon oranı oldukça yüksektir. Yüksek hız çeliklerinden iyi kesme kabiliyetinin yanı sıra yüksek tokluk ve sertlik de istenilmektedir. Genel olarak matkap, kılavuz ve frezeler gibi kesici takımlarda kullanılmaktadır (Mesquita vd., 2017; Banerjee, 2018).

2.1.2 Takım Çeliklerinin İşlenebilirliği

İşlenebilirlik imalat endüstrisinde imal edilecek ürünün maliyetini belirleyen en önemli faktördür. Genel olarak işlenebilirlik optimum parametre aralıklarında en düşük maliyetle en iyi sonucu elde etmek olarak tanımlanabilmektedir (Kalpakjian, 1985). Talaşlı imalat prosesinde ise düşük güç tüketiminin yanı sıra uzun kesici takım ömrü ile düşük yüzey pürüzlülüğü en önemli işlenebilirlik parametreleridir. Genel olarak kalıplar, hassas ölçü aletleri gibi alanlarda kullanılan takım çelikleri tornalama ve frezeleme işlemlerinden sonra istenilen ölçülere getirilerek kullanılmaktadır (Isik, 2007).

2.2 Frezeleme

Frezeleme işlemi temel olarak kendi eksenini etrafında dönen birden çok kesme kenarına sahip kesici takım kullanılarak doğrusal hareket edebilen tabla üzerine bağlanmış iş parçası üzerinden talaş kaldırma işlemidir (Kurşuncu, 2016). Frezeler yatay ve dikey olarak sınıflandırılırlar. Bunun yanı sıra hem yatay hem de dikey olarak hareket edebilen universal freze tezgâhları da mevcuttur. Genel olarak frezeleme işlemleri çevresel ve alın frezeleme olmak üzere iki çeşittir (Tosun, 2006). Şekil 2.1’de frezeleme çeşitleri gösterilmektedir.

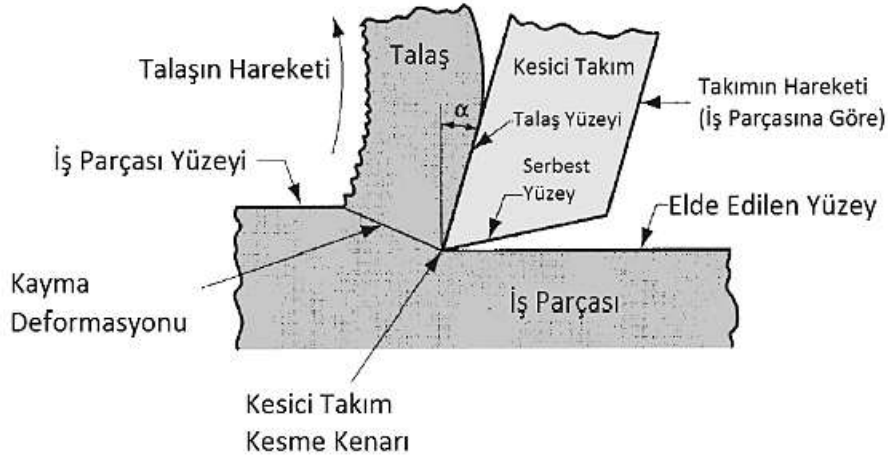


Şekil 2.1: Çevresel (a) (Kurşuncu, 2016) ve alın frezeleme (b) (URL-13, 2019)

Çevresel frezeleme işleminde kesici takım etrafındaki dişler ile belirli yüzeyler işlenir. Kesici takımın dönme eksenini iş parçasının yüzeyine paraleldir. Alın frezeleme işleminde ise kesici takımın dönme eksenini iş parçasının yüzeyine diktir (Groover, 2012).

2.2.1 Metal kesme mekaniği

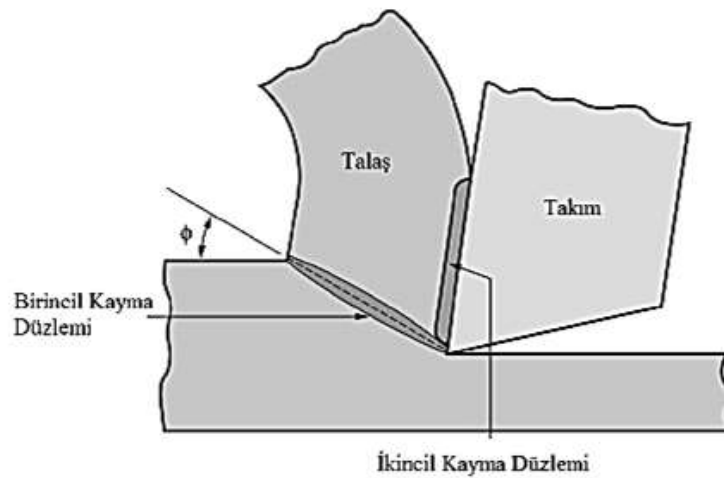
Talaşlı imalat, tasarımı yapılan iş parçasına istenilen ölçü ve boyutları kazandırabilmek için kesici takım kullanılarak iş parçasından talaş kaldırılması yöntemidir (Groover, 2010). Şekil 2.2’de metal kesme mekaniği şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.2: Metal kesme mekaniği şematik gösterimi (Kuşuncu, 2016)

2.2.1.2 Talaş oluşumu

Ortogonal kesme mekaniği ile gerçek talaş oluşumu arasında birçok farklılık görülmektedir. Birincil farklılık talaş oluşumunun ortogonal kesme mekaniğinde bir düzlem üzerinde gerçekleştiği varsayımının, gerçek talaş oluşumunda belirli bir bölgede gerçekleşmesidir. Talaş oluşumunun modeli Şekil 2.3’de gösterilmektedir.

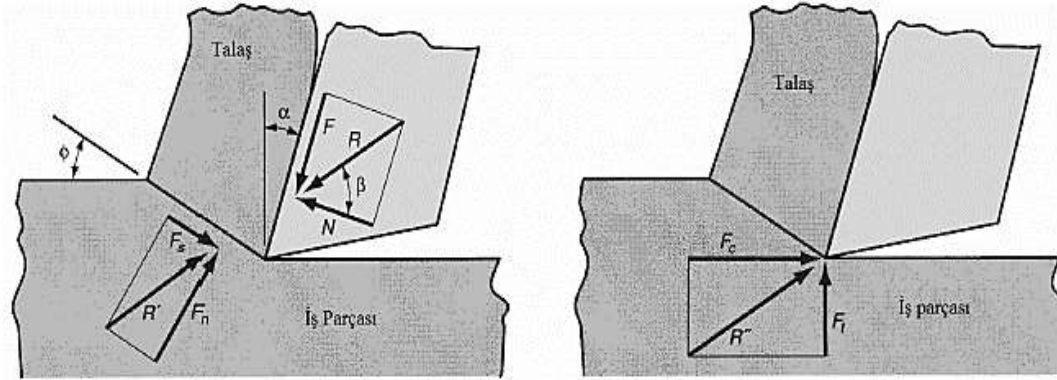


Şekil 2.3: Talaş oluşumu şematik gösterimi

Bir diğer farklılık, kesme işleminde oluşan talaş ile takım arasında başka bir kayma olayı olmasıdır. Bunların dışında talaş boyutu ve iş parçasından kopan talaş şeklinin kesme parametreleri ve kullanılan iş parçasına göre değişmesi de diğer bir farklılıktır (Groover, 2010).

2.2.1.3 Kesme kuvvetleri

Ortogonal kesme mekaniğinde talaş üzerine etkiyen kuvvetler göz önüne alındığında sürtünme kuvveti ve normal kuvvet birbirine dik parçalara ayrılabilir. Şekil 2.4’de talaş kaldırma esnasında meydana gelen kesme kuvvetleri şematik olarak gösterilmektedir. Sürtünme kuvveti F talaş akışına direnci gösterir. Normal kuvvet N ise bu kuvvete diktir (Groover, 2010). Kesici takım ile talaş arasındaki sürtünme katsayısını bulabilmek için bu bileşenler kullanılır. Sürtünme katsayısını μ ile gösterirsek;



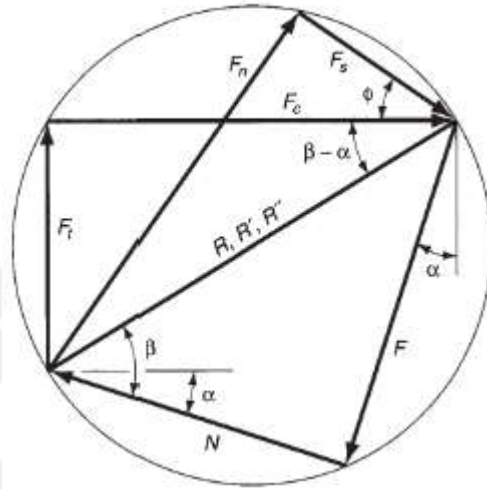
Şekil 2.4: Kesme kuvvetleri şematik gösterimi (Kurşuncu, 2016)

Bu kuvvetlerin dışında iş parçasından kaynaklı olmak üzere talaş üzerine etkiyen iki kuvvet daha mevcuttur. Bu kuvvetler birbirine dik olan kayma Kuvveti F_s ve normal kuvvet F_n 'dir. Bu kuvvetlerin bileşkesi R' olarak gösterilir. Kayma düzlemi alanı A_s aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$\tau = \frac{F_s}{A_s} \quad (1)$$

$$A_s = \frac{t_0 w}{\sin \phi} \quad (2)$$

Bu kuvvetlerin kullanılan kesici takım geometrisi ve kesme parametrelerine bağı olarak farklılık göstermesinden dolayı doğrudan ölçülmesi mümkün değildir. Bu ölçümleri yapabilmek için dinamometre kullanılır ve iki kuvvet ölçülebilir. Bu kuvvetler, kesme kuvveti F_c ile bu kuvvete dik normal kuvvet F_t 'dir. Bu iki kuvvetin bileşkesi R olarak ifade edilir. Bu kuvvet bileşenleri aşağıdaki diyagramdan yararlanılarak hesaplanır (Groover, 2010).



Şekil 2.5: Kesme kuvvetleri diyagramı (Kurşuncu, 2016)

$$F = F_c \sin \alpha + F_t \cos \alpha \quad (3)$$

$$N = F_c \cos \alpha - F_t \sin \alpha \quad (4)$$

$$F_s = F_c \sin \phi - F_t \sin \phi \quad (5)$$

$$F_n = F_c \sin \phi + F_t \cos \phi \quad (6)$$

Özel bir durum olan talaş açısının sıfır olması durumunda $F = F_t$ ve $N = F_c$ dinamometre yardımıyla doğrudan ölçülebilir (Kurşuncu, 2016).

2.2.1.4 Mercant eşitliği

Metal kesme işlemlerinde önemli bir denklem, ortogonal kesme modeli esas alınarak Eugene Merchant tarafından elde edilmiştir. Karmaşık olan üç boyutlu talaşlı imalat işlemlerinin çözümlenmesinde uygulanabilmektedir. Kayma deformasyonunun meydana gelmesi, kayma düzleminin açısına bağlıdır. Bu açıda iş parçası malzemesinin kayma dayanımı, kayma gerilmesine eşit olmaktadır ve deformasyon meydana gelmektedir (Merchant, 1945). Bu teoreme göre metallerin plastik deformasyona maruz kaldıkları durumlar göz önüne alınmaktadır. Aşağıda kayma gerilmesi denklemi gösterilmektedir.

$$\tau = \frac{F_c \cos \phi - F_t \sin \phi}{(t_0 w / \sin \phi)} \quad (7)$$

Merchant'a göre kayma deformasyonunun meydana gelebileceği tek bir kayma düzlemi açısı mevcuttur. Bu açı kesme esnasında meydana gelen kayma gerilmesinin iş parçasının kayma dayanımına eşit olduğu durumda gerçekleşmektedir (Kurşuncu, 2016). Denklem 8'de Merchant eşitliği gösterilmektedir.

$$\phi = 45 + \frac{\alpha}{2} - \frac{\beta}{2} \quad (8)$$

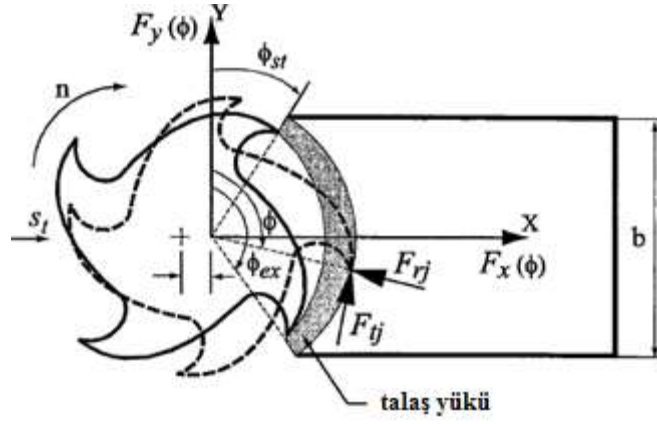
2.2.1.5 Frezeleme işlemi mekaniği

Frezeleme işlemi, doğrusal hareket edebilen tabla üzerine bağlanmış iş parçasından, kendi eksenini etrafında dönebilen bir veya birden fazla kesici dişi bulunan takım yardımıyla talaş kaldırma işlemidir. Frezeleme işleminde talaş oluşumu ve kesme kuvvetleri, kesme derinliğine, helis açısına, daldırma açısına, kesme kenarı geometrisine, kesme hızına ve dönme yönüne bağlıdır. Kesme kenarına teğetsel, radyal ve aksenal kuvvetler etki eder (Engin, 1999). Bu kuvvetler ve yönleri aşağıdaki şekil 2.6'da gösterilmektedir.

$$F_{xj}(\phi) = -F_{ij} \cos \phi - F_{rj} \sin \phi \quad (9)$$

$$F_{yj}(\phi) = F_{ij} \sin \phi - F_{rj} \cos \phi \quad (10)$$

$$F_{zj}(\phi) = F_{aj} \quad (11)$$



Şekil 2.6: Kesme kuvveti yönleri ve daldırma (Engin, 1999)

Teğetsel, radyal ve aksenal kesme kuvveti yönleri her daldırma açısına göre farklılık gösterir. Frezeleme işlemi sırasında kesici kenarın bazı kısımları kesme eksenine boyunca kesmeye girer (Engin, 1999). Normal ve aksenal kesme kuvvetleri kullanılarak toplam ilerleme ile ilgili bir formül elde edilmiştir.

$$F_x = \sum_{j=1}^N F_{xj}(\phi_j) \quad (12)$$

$$F_y = \sum_{j=1}^N F_{yj}(\phi_j) \quad (13)$$

$$F_z = \sum_{j=1}^N F_{zj}(\phi_j) \quad (14)$$

Daldırma açısı $\phi_{st} \leq \phi_j \leq \phi_{ex}$ olduğunda kesme kenarı iç parçasına geçer ve kesme kuvveti oluşur.

2.2.2 Sert metal işleme

Sert işleme genel olarak sertliği 45 – 70 HRC aralığında bulunan iş parçalarını işlemede kullanılan bir yöntemdir. Yüksek hız çelikleri, takım çelikleri, sertleştirilmiş çelikler sert işleme prosesinde işlenebilmektedir (Davim, 2011). Yüksek talaş kaldırma oranı ve düşük takım tezgâhı maliyeti sert metal işlemenin önemli avantajlarıdır.

2.3 Frezeleme İşlemlerinde Takım Aşınması

2.3.1 Aşınma

İmalat prosesinde aşınma istenmeyen bir durumdur ve bu durumu azaltmak için birçok çalışma yapılmaktadır. Kesme işlemi esnasında kesim bölgesinde deformasyon ve sürtünme meydana gelir. Kullanılan kesici takım malzemeleri, yüksek sıkıştırma gerilmeleri, yüksek kesme hızları ve yüksek sıcaklıklar ile karakterize edilen son derece karmaşık bir yük topluluğuna tabidir. Tüm bunlar kesici takımın ömrünü belirlemektedir. Bu nedenle kesme parametrelerinin iyi belirlenmesi gerekmektedir (Shaw, 2005; Klocke, 2011).

2.3.2 Aşınma Mekanizmaları

2.3.2.1 Abraziv Aşınma Mekanizması

Temel olarak, birbiri ile sürtünme halinde olan iki yüzeyden sertliği yüksek olan yüzeyin sertliği daha düşük olan yüzeyden parça koparması işlemi abraziv aşınma olarak tanımlanmaktadır. Abraziv aşınma, kesme, yüzey işleme ve sürekli plastik deformasyon gibi işlem bölgesinde tahribata neden olan mekanizmalar meydana getirmektedir. Bu tür aşınmanın önlenmesi için, işlenen malzemenin yüzey sertliğini artırmak, aşındırıcı parçacıkları işlem bölgesinden uzaklaştırmak ve aşınan parçaları değiştirmek genel olarak uygulanan işlemlerdir (Khrushov, 1974).

2.3.2.2 Difüzyon Aşınma Mekanizması

Talaşlı imalatta sıcaklık ve basınç değişkenlik göstermektedir. Yüksek kesme sıcaklıklarında birbiri ile temas halindeki kesici takım ile iş parçası arasında difüzyon aşınma mekanizması meydana gelmektedir. Temel olarak birbiri ile temas halinde bulunan yüzeyler arasında oluşan atom alışverişi olarak tanımlanır. Difüzyon aşınma mekanizması takım ve talaş arasındaki temas süresi ve sıcaklık ile doğrudan ilişkilidir. Bu mekanizma kesici takım yüzeyini zayıflatarak çalışma performansını kısıtlar (Zhu vd., 2013).

2.3.2.3 Oksidasyon Aşınma Mekanizması

Oksidasyon aşınması, oksijenin metaller üzerinde oksit bir tabaka oluşturması olarak tanımlanır ve istenmeyen bir durumdur. İşlem sırasındaki yüksek sıcaklıklarda hızlı oksidasyona ve oksit filmlerinin oluşumuna rastlanılabilmektedir. Bu filmler genel olarak metallerin tamamına yakınında bulunur ve kriyojenik ısıtma işlem sıcaklıklarına rağmen oksijene maruz kalan metal yüzeylerinde oluşabilmektedir (Stachowiak ve Batchelor, 2005).

2.3.2.4 Yorulma Aşınma Mekanizması

Genel olarak temas veya yüzey yorgunluğu terimi, düzgün bir yüzeydeki ilk hasarı ifade etmektedir. Tekrarlanan kayma ve yuvarlanma esnasında malzeme yüzeyinde ve yüzeyin hemen altında gerilmeler gözlemlenmektedir. Bu tekrarlar kritik sayıya ulaştığında malzeme yüzeyinde oyuklar, yüzeyin hemen altında da çatlaklar meydana gelir. Tekrarlar sonucunda bu oyuklar ve çatlaklar büyüyerek malzemenin kırılmasına yol açmaktadır (Stachowiak ve Batchelor, 2001).

2.3.3 Takım Aşınma Tipleri

2.3.3.1 Serbest Yüzey Aşınması

Serbest yüzey aşınması, birbiri ile temas halinde bulunan kesici takım kenarı ile iş parçası yüzeyi arasında aşınma bölgesi oluşması ile meydana gelir. Aşınma bölgesi genel olarak kenara yakın bölgenin abrazyonu ile oluşur ve sürekli olarak iş parçası yüzeyinde sürtünerek yüzey hasarına neden olmaktadır. Zamana göre serbest aşınma yüzey davranışı şekilde gösterilmiştir. Bu aşınma türü tamamen giderilemez bir sorun olmakla birlikte zararlarının azaltılabildiği mümkündür. Kaplamalı kesici takım kullanmak, kesme parametrelerini iyi belirlemek alınacak tedbirlerdendir (Özdemir ve Erten, 2003).

2.3.3.2 Krater Aşınması

Yüksek kesme hızlarında kesme bölgesinde oluşan yüksek sıcaklık sonucunda kesici takım talaş yüzeyinde krater şeklinde aşınma meydana gelmektedir. Bu yüzey, iş parçasından kopan talaş ile kesici takım yüzeyi arasında oluşmaktadır. Oluşan bu yüzeyin açısı kesme

işlemi süresince sürekli olarak değişmektedir. Bazı durumlarda kesme kuvvetlerini azalttığı görülmüştür. Ancak krater aşınması işlem esnasında sürekli olarak büyüyerek deformasyona neden olur ve istenmeyen bir durumdur. Aşınmanın en aza indirilebilmesi için, kesme hızının azaltılması, soğutma sıvısının özelliğinin iyileştirilmesinin yanı sıra takımın kimyasal kararlılığının artırılması alınabilecek önlemlerdendir (Özdemir ve Erten, 2003; Kaya, 2009).

2.3.3.3 Plastik Deformasyon

Plastik deformasyon aşınma türü, temas halinde bulunan kesici takım ile talaş arasında oluşan yüzeyde yüksek basınç meydana geldiği durumlarda oluşmaktadır. Deformasyon kesme kenarlarında görülmektedir. Plastik deformasyon boyutsal kararlılığı azaltır ve yüzey kalitesini düşürür. Oluşabilecek bu olumsuzlukların azaltılabilmesi için kesme hızını azaltmak, kesme bölgesi sıcaklığını düşürmek alınabilecek önlemlerdendir (Özdemir ve Erten, 2003; Kaya, 2009).

2.3.3.4 Çentik Aşınması

Çentik aşınması, genel olarak sert yüzeyli malzemelerin işlenmesinde adhezif aşınma mekanizmaları etkisiyle takım yüzeyinde meydana gelir. Yüzey pürüzlülüğünü olumsuz yönde etkilemektedir. Meydana gelebilecek olumsuzlukları azaltabilmek için, sert takım kullanmak ve kesme derinliğini çok iyi belirlemek alınabilecek önlemlerdendir (Özdemir ve Erten, 2003; Yürekli, 2012).

2.3.3.5 Isıl ve Mekanik Çatlaklar

Isıl ve mekanik çatlaklar, kesme işleminde kesici takıma etkiyen yüklerin değişken olmasıyla birlikte yüksek kesme sıcaklıklarında meydana gelmektedir. Kesme kenarına dik ve kesme kenarına paralel olmak üzere iki çatlak oluşur. Isıl yorulma kesme kenarına dik olarak çatlak oluştururken, mekanik yorulma kesme kenarına paralel çatlak oluşturur. Çatlaklar kesme işlemi süresince artarak kesici takımın kırılmasına neden olmaktadır. İstenmeyen bu durumu en düşük düzeye indirgeyebilmek için kesme ve ilerleme oranını azaltmak ve kırılmaya karşı direnci yüksek kesici takım kullanmak alınabilecek önlemlerdendir (Özdemir ve Erten, 2003).

2.3.3.6 Çentiklenme

Çentiklenme, yüksek ve kesikli kesme kuvvetleri sonucunda ya da kesme işlemi esnasında meydana gelen titreşimler neticesinde oluşabilmektedir. Çentiklenme, kesici takım kenarının aniden kırılmasına yol açar. Bununla birlikte iş parçasının yüzey kalitesini azaltır. Oluşabilecek olumsuz durumları en aza indirgeyebilmek için dayanımı yüksek kesici takım kullanmak ve kesici takıma etkiyen kuvvetleri kontrol altına almak alınabilecek önlemlerdendir (Özdemir ve Erten, 2003).

2.3.3.7 Kırılma

Kırılma, kesici takım kenarının işlevini kaybetmesi olarak tanımlanır. Kesme parametrelerini iyi belirlemek ve kesici takıma etkiyen kuvvetleri azaltmak ile takım ömrünü uzatmak mümkündür (Kurşuncu, 2016).

2.3.3.8 Yığılma

Yığılma genel olarak kesme hızına ve kesme sıcaklığına bağlı olmakla birlikte sertliği düşük olan malzemelerin işlenmesinde görülmektedir. Kesme hızı düşük olduğundan işlenen malzeme kesici kenara yapışır ve burada birikir. Dolayısıyla yüzey kalitesini düşürür. Bu durumun önlenmesi için, talaş açısını artırmak, kesme hızını artırmak ve yağlayıcı özelliklerini iyileştirmek gerekmektedir (Özdemir ve Erten, 2003; Kurşuncu, 2016).

2.3.4 Takım ömrü

Takım ömrü, kesici takımın belirlenen miktarda aşınmasına kadar geçen zaman olarak tanımlanır. Kesme parametreleri takım ömrünü büyük ölçüde belirler (Davim, 2011). Talaşlı imalat işlemlerinde süreci etkileyen temel üç tip olumsuzluk meydana gelmektedir. Bunlardan ilki kesici takıma etkiyen yüksek kuvvetlerin neticesinde takımın işlevini kaybetmesine yol açan kırılma durumudur. Bir diğer durum ise talaş kaldırma esnasında kesim bölgesinde yüksek ısı meydana gelmesiyle oluşur. Temas bölgesindeki yüksek ısı malzemeyi yumuşatır ve takımın ömrünü oldukça azaltır. Talaşlı imalat işlemlerinde en çok karşılaşılan diğer bir durum da kesici takımın kademeli olarak aşınmasıdır. Kademeli aşınma, her talaş kaldırma işlemi sonrasında kesici takımın kesme performansını ve yüzey

kalitesini olumsuz etkiler. Ancak takımın ani kırılması ve kesim bölgesinde oluşan yüksek sıcaklık durumlarına göre daha uzun çalışma imkânı sağlar (Groover, 2010). Takım ömrünün teorik olarak belirlenmesi üzerine birçok yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan biri de Taylor takım ömrü modelidir. Taylor takım ömrü modeline göre;

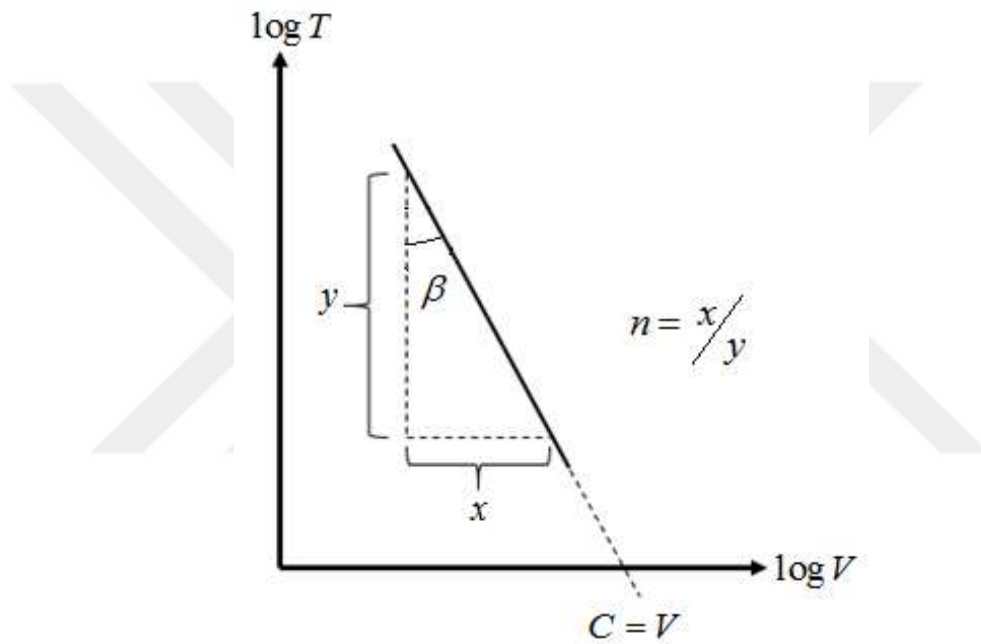
$$V.T^n = C \quad (15)$$

n : ortam ve kesme şartlarına göre değişebilen katsayı

C : parametrelere bağlı sabit

V : kesme hızı

T : takım ömrü

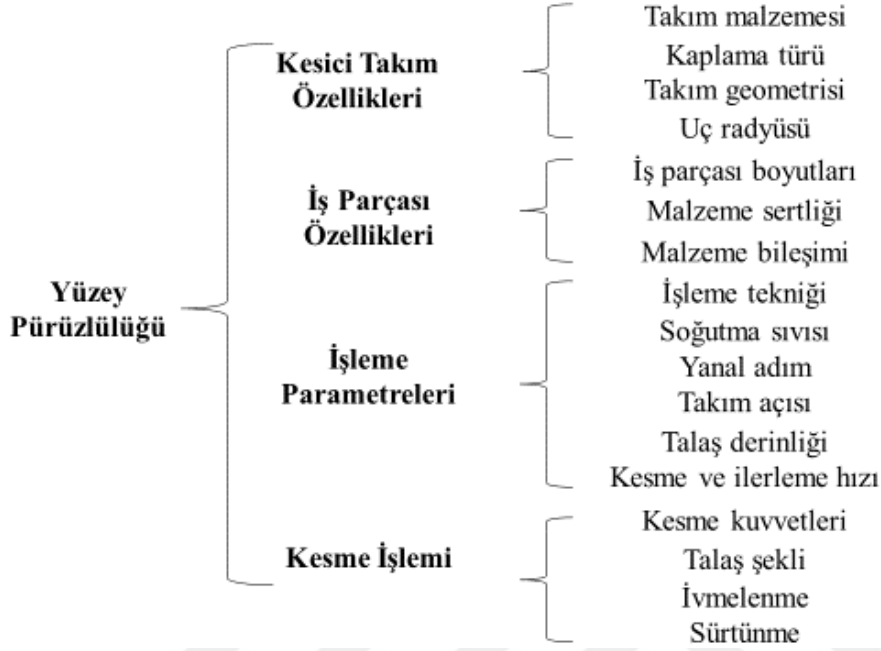


Şekil 2.7: Eğim, n üssü ve C katsayısı (Ay, 2013)

2.4 Yüzey Pürüzlülüğü

Talaş kaldırma işlemi süresince kesici takım ile iş parçası arasında kesme parametreleri, kesim bölgesi sıcaklığı ve etkiyen kuvvetler neticesinde titreşimler meydana gelir. Titreşim sonucunda iş parçası üzerinde düzensiz ve kesikli çizgiler meydana gelir ve yüzey pürüzlülüğü olarak tanımlanır. Her talaş kaldırma işleminde meydana gelir ve kaliteyi belirleyen en önemli faktörlerden biri olmaktadır. Bu nedenle talaşlı imalat proseslerinde yüzey pürüzlülüğünü azaltmak amaçlanır (Şah, 2018). Yüzey pürüzlülüğünü azaltmak ve daha kaliteli bir malzeme yüzeyi elde etmek için birçok çalışma yapılmaktadır. Genel olarak her talaş kaldırma işlemi sonrasında yüzey pürüzlülüğü ölçülür. Farklı kesme parametreleri

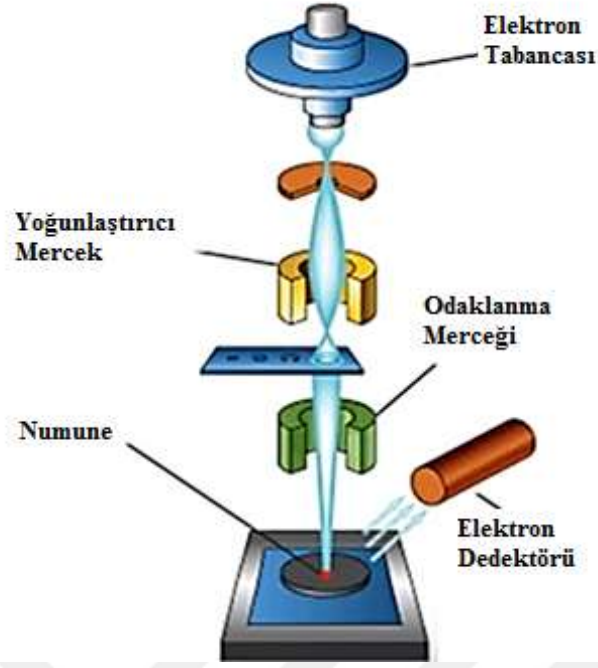
ve farklı soğutucu akışkanlar kullanılarak malzeme ve kesici takıma en uygun işleme süreci belirlenir (Arık, 2010). Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler Şekil 2.8’de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.8: Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler (Hamamcı, 2012)

2.5 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Taramalı elektron mikroskobu numunelerin topoğrafyalarını incelemek için kullanılmaktadır. Görüntü elde edebilmek için elektron kaynağından çıkan ışınlar incelenen alan boyunca numune yüzeyini süpürür ve sinyaller üretir. Geniş bir alan derinliğine sahip olan taramalı elektron mikroskobu yüksek çözünürlükte görüntüler elde etme imkânı sağlamaktadır. Ayrıca numunelerin görüntülerini yüksek oranda büyütürken daha yakından analiz imkânı sunmaktadır (URL-15 ve URL-16, 2019). Şekil 2.9’da taramalı elektron mikroskobu şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.9: Taramalı elektron mikroskobu sistemi (URL-14, 2019)

2.6 Enerji dağılımlı spektrometre (EDS)

Enerji dağılımlı spektrometre kimyasal analiz elde etmek için yüksek enerjili odaklanmış elektron demeti ile bombardıman edilen numune tarafından yayılan X-ışını spektrumunu kullanır. Dedektör tarafından algılanan X-ışını enerjisiyle orantılı boyutta olan bir voltaj darbesi üretir. X-ışını enerjisi, yayıldığı elementin karakteristik özelliklerini tanımlar. Enerji dağılımlı spektrometre ile hafif elementlerin dışında berilyum ile uranyum arasındaki hemen her element tespit edilebilmektedir. Taramalı elektron mikroskopları veya transmisyon elektron mikroskobu ile birlikte kullanılan enerji dağılımlı spektrometre tahribatsız bir analitik teknik olarak kabul edilmektedir (URL-17 ve URL-18, 2019).

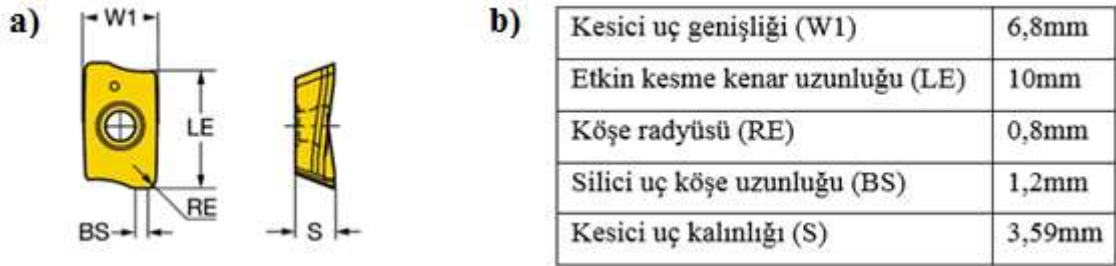
BÖLÜM 3

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.2 Kesici takımlar

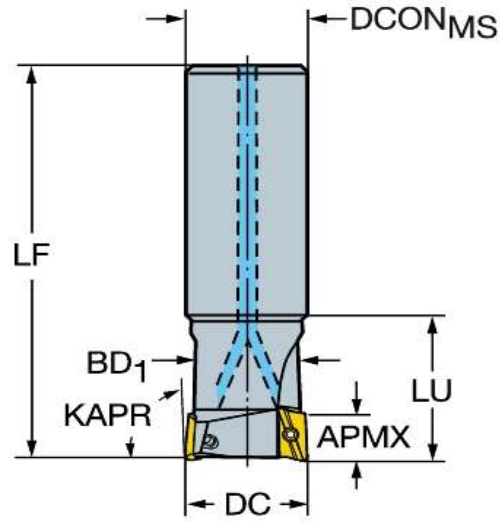
Bu tez çalışmasında, AISI O2 takım çeliğinin frezelemesi işleminde sinterlenmiş karbür kesici takımların ömrünü artırmak ve kesme performansını iyileştirmek amacıyla testler yapılmıştır. Çalışmalarda Sandvik marka (R390-11 T3 08M-PM 1010) sinterlenmiş karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Ticari olarak üretilen karbür kesici takım üzerinde kaplama malzemesi olarak PVD yöntemi ile TiAlN ince film kaplanmıştır. Kesici takım 10 mm maksimum kesme derinliğine ve 0,8mm köşe radyüsüne sahiptir (URL-19, 2019). Şekil 3.1’de kesici takım ve boyutları gösterilmektedir.



Şekil 3.1: Frezeleme testlerinde kullanılan kesici takım (a) ve boyutları (b) (URL-19, 2019)

3.1.3 Takım Tutucu

Frezeleme işleminde Sandvik firmasından temin edilen R390-025A25-11L kodlu takım tutucu kullanılmıştır. 120 mm takım boyu ve 25 mm kesme çapına sahip takım tutucu üzerinde kesici takım montajının yapılacağı 2 adet kesme kenarına sahiptir. Bu özelliklerin yanı sıra 32 mm kullanılabilir uzunluğa sahip olan takım tutucu 5,5 mm maksimum kesme derinliğine ve 1mm maksimum dalma derinliğine sahiptir (URL-20, 2019). Şekil 3.2’de takım tutucu gösterilmektedir.



Şekil 3.2: Frezeleme testlerinde kullanılan takım tutucu (URL-20, 2019)

Tablo 3.1: Takım tutucu geometrisi (URL-20, 2019)

Kesme çapı (DC)	25 mm
Maksimum kesme derinliği (APMXEFW)	5,5mm
Bağlantı çapı (DCON)	25mm
Takım tam boyu (LF)	120mm
Kullanılabilir uzunluk (LU)	32mm
Parça ağırlığı (WT)	0,54kg

3.1.4 İş Parçası Malzemesi

Frezeleme işleminde iş parçası olarak AISI O2 takım çeliği kullanılmıştır. AISI O2 yüksek aşınma direncine sahiptir ve yüksek hızlarda işleme imkânı sağlar. AISI O2 takım çeliğinin kimyasal ve mekanik özellikleri Tablo 3.2 ve Tablo 3.3’de gösterilmektedir.

Tablo 3.2: AISI O2 Kimyasal bileşimleri (URL-21, 2019)

C	Si	Mn	P	S	Cr	V
0,85 – 0,95	0,1-0,4	1,8-2,2	0,03	0,03	0,2-0,5	0,05–0,2

Tablo 3.3: AISI O2 Mekanik özellikleri (URL-21, 2019)

Yoğunluk (x1000 kg/m ³)	Elastik Modülü	Poisson Oranı
7,66	190-210 GPa	0,27-0,30

3.1.5 Cihaz ve Sistemler

3.1.5.1 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı

Frezeleme işleminden sonra iş parçasının yüzey pürüzlülüğü, yedi farklı noktadan alınan ölçümlerin ortalaması olarak hesaplanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı olarak (Şekil 3.3) Mitutoyo Surftest SJ-310 kullanılmıştır.



Şekil 3.3: Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

3.1.5.2 Stereo Zoom Mikroskop

Takımların aşınma miktarının belirlenmesi ve görüntülerinin alınabilmesi için Vision SX 45 Stereo zoom mikroskop (Şekil 3.4) kullanılmıştır. Elde edilen görüntüler dijital olarak kaydedilmiştir.



Şekil 3.4: Vision SX 45 Stereo zoom mikroskop

3.1.5.3 Dinamometre

Talaş kaldırma esnasında oluşan kesme kuvvetleri işleme esnasında iş parçası tablasına bağlı olan KISTLER marka dinamometre ile ölçülmüştür. Elde edilen kesme kuvvetleri DynoWare yazılımı ile bilgisayar ortamında kesme kuvveti grafikleri elde edilmiştir. Şekil 3.5’de KISTLER 9757B dinamometre gösterilmektedir.



Şekil 3.5: KISTLER 9757B dinamometre

3.1.5.4 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Kesici takımın aşınma görüntüleri ve aşınma mekanizması EDS özelliğine sahip taramalı elektron mikroskobu (SEM) (MIAI3 TESCAN) ile belirlenmiştir. Şekil 3.6’da taramalı elektron mikroskobu gösterilmektedir.



Şekil 3.6: MIAI3 TESCAN model taramalı elektron mikroskobu

3.1.5.5 Enerji Dağılımlı Spektrometre (EDS)

Aşınan takımların aşınmış bölgelerinde analiz yapmak amacıyla taramalı elektron mikroskobuna entegre Oxford Instruments Xmax 50 model enerji dağılımlı spektroskopi (EDS) cihazı kullanılmıştır.

3.1.5.6 Dik İşleme Merkezi

Freze işlemleri için FALCO VMC 855-B CNC üç eksenli dikey işleme merkezi kullanılmıştır ve Şekil 3.7’de gösterilmektedir.



Şekil 3.7: Eksenli FALCO VMC 855-B CNC dikey freze

3.2 Yöntem

3.2.1 Minimum Quantity Lubrication (MQL) Sistemi

Talaşlı imalat endüstrisinde kullanılan kesme sıvılarının çevreye olumsuz etkileri ve yüksek maliyetleri nedeniyle araştırmacılar bu olumsuzlukları minimum düzeye indirgeyebilmek için alternatif soğutma yöntemleri üzerine çalışmalar yapmaktadır. Son dönemde temiz ve sürdürülebilir üretim yöntemleri üzerine olan eğilim oldukça artmıştır ve literatürde minimum miktarda yağlama yöntemi üzerine yapılan araştırmalar dikkat çekmektedir (Döbbeler vd., 2015; Elmunafi vd., 2015). Minimum miktarda yağlama yöntemi temel olarak haznedeki sıvının basınçlı hava yardımıyla işleme bölgesine püskürtülmesiyle kesme bölgesindeki sürtünmenin azaltılması esasına dayanır. Püskürtme aralığı ve yağlama miktarı istenilen ölçüde ayarlanabilmektedir (Gajrani ve Sankar, 2017). Bu tez çalışmasında minimum miktarda yağlama yöntemi kullanılmış olup yağlayıcı akışkan olarak bitkisel ayçiçek yağı kullanılmıştır. Şekil 3.8’de minimum Werte Mikro STN 25 minimum miktarda yağlama sistemi ve nozzle görülmektedir.



Şekil 3.8: Werte Mikro STN 25 (a) ve MQL nozle (b)

3.2.2 Kesme Parametreleri ve Deney Deseninin Belirlenmesi

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda takım aşınmaları ve kesme kuvvetleri göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Kesme parametreleri Tablo 3.4’de gösterilmektedir.

Tablo 3.4: Kesme Parametreleri

Parametreler	1.Seviye	2.Seviye	3.Seviye
Kesme hızı (m/dak)	100	125	150
İlerleme oranı (mm/diş)	0,05	0,1	0,15
Eksenel kesme derinliği (mm)	0,5	0,5	0,5
Yağlama Miktarı (ml/saat)	50	100	150

3.2.3 Kesme kuvveti ölçümleri

AISI O2 takım çeliğini yüzey frezeleme işleminde meydana gelen kesme kuvvetleri işleme esnasında tablaya bağlı olan dinamometre yardımıyla ölçülmüştür. Kesme kuvvetleri elektronik ortamda DynoWare programı ile görüntülenmiştir. Frezeleme işlemi için belirlenen parametreler Tablo 3.5’de gösterilmektedir.

Tablo 3.5: Frezeleme İşleminde Kullanılan Parametreler

Deney No	V_c , [m/dak]	f_z , [mm/diş]	MQL , [ml/saat]	a_p , [mm]
1	100	0,05	50	0,5
2	100	0,1	100	0,5
3	100	0,15	150	0,5
4	125	0,05	100	0,5
5	125	0,1	150	0,5
6	125	0,15	50	0,5
7	150	0,05	150	0,5
8	150	0,1	50	0,5
9	150	0,15	100	0,5

Kesme kuvveti sinyalleri iş parçası boyunca (150 mm) kaydedilmiştir. Her kesme işlemi sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri kaydedilmiş olup, bir sonraki kesme işlemine geçilirken veriler sıfırlanarak kayıt işlemine başlanmıştır. Kesici takımın iş parçasına temas açısı hesaplanmış olup kesme kuvveti değerlerinde daha doğru bir sonuç elde edebilmek için kesici takımın tamamının iş parçası üzerinde olması gerektiğinden belirlenen ilerleme (30 mm) sonrasındaki kesme kuvveti verileri esas alınmıştır.

3.2.4 Yüzey Pürüzlülük Değerlerinin Ölçülmesi

Her kesme işleminden sonra yüzey talaş ve yağlama sıvısından temizlenmiştir. Yüzey pürüzlülük değerleri iş parçası boyunca yedi farklı noktadan ölçülmüş ve ortalaması alınmıştır. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı olarak Mitutoyo SurfTest SJ-310 kullanılmıştır.

3.2.5 Aşınma Testleri

Kuru koşullar ve minimum miktarda yağlama yöntemi kullanılarak yapılan testler sonucunda takım aşınması her farklı parametre için ayrı olarak gözlemlenmiştir. Takım ömrü için maksimum aşınma miktarı 0,25 mm olarak belirlenmiştir. Her bir işleme sonucunda kesici takım tezgâhtan sökülmüş talaştan ve yağlama sıvısından temizlenmiştir. Takım aşınması görüntüleri stereo zoom mikroskoba bağlı DinoCapture bilgisayar yazılımı kullanılarak elde edilmiştir.

3.3 Tepki Yüzey Metodu

Tepki yüzey metodu, işlem süreçlerinin optimizasyonu için kullanılan istatistiksel ve matematiksel teknik bir yöntemdir. Ürün tasarımı, geliştirilmesi ve iyileştirilmesi için yaygın olarak kullanılan bu yöntem bağımsız değişkenler yani belirlenen girdi parametrelerinin her birinin veya birbiri ile kombinasyonlarının süreç üzerindeki etkilerini gösterebilmektedir. Tepki yüzey metodunda değişken seviyeleri (-1), (0), (+1) olarak gösterilmektedir (Ghafarzadeh vd., 2017; Basmacı vd., 2018). Deney tasarımı için Taguchi L9 ortogonal deney tasarım matrisi kullanılmıştır. Bu tasarıma göre test sayıları, kuru şartlar için 9, minimum miktarda yağlama koşulları için 9 olmak üzere toplam 18 test olarak belirlenmiştir.



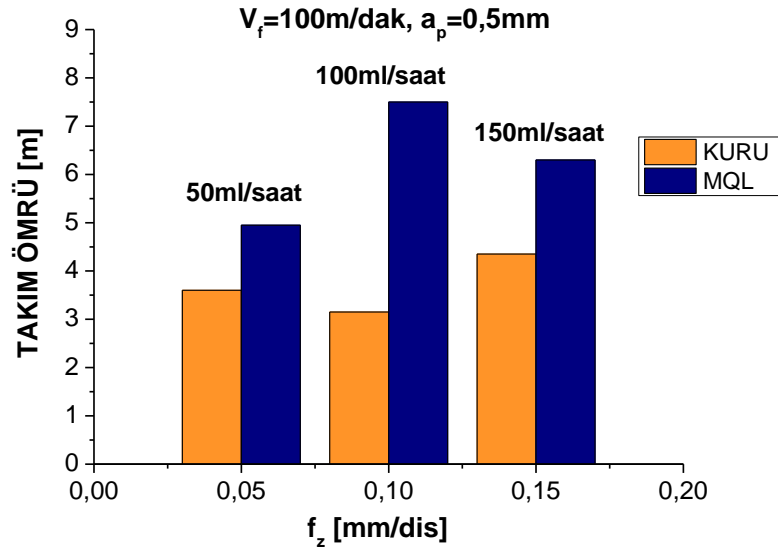
BÖLÜM 4

BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Takım Ömürleri

4.1.1 $V_f=100$ m/dak Kesme Hızı İçin Minimum Miktarda Yağlama ve Kuru Kesme Koşulları Altında Elde Edilen Takım Ömürlerinin Kıyaslanması

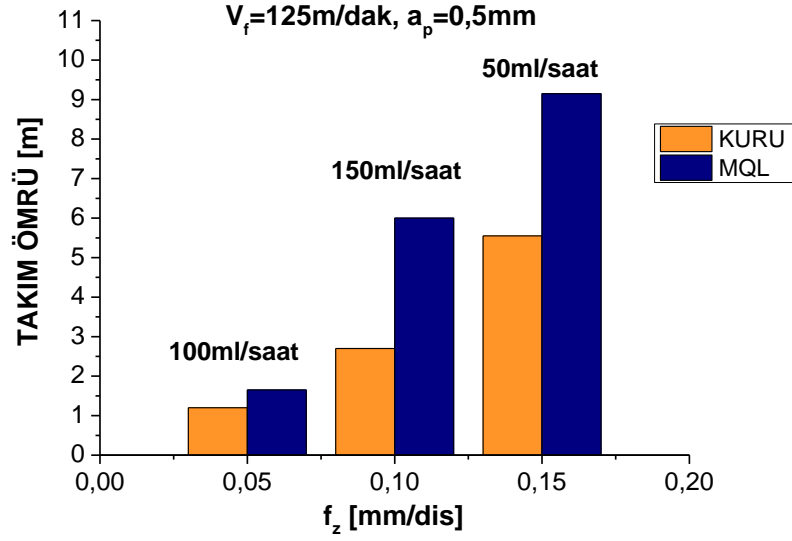
Şekil 4.1’de 100 m/dak kesme hızında minimum miktarda yağlama yöntemi ve kuru kesme koşulları altında elde edilen takım ömürleri gösterilmektedir. Tüm ilerleme oranlarında minimum miktarda yağlama etkisiyle takım ömürlerinde artış görülmüştür (Jain vd., 2012). Minimum miktarda yağlama yöntemiyle iş parçası ile kesici takım etkileşimi iyileştirilerek kesici kenar korunmuş dolayısıyla takım ömründe artış elde edilmiştir (Nikhil vd., 2007). Minimum miktarda yağlama yönteminin sağladığı soğutma etkisi difüzyon ve yapışmayı azaltarak takım ömründe iyileşme sağlar. Bunun yanı sıra yağlama etkisi ile kesici takımda meydana gelen mekanik aşınmayı da azaltmaktadır (Dudzinski, 2004). Kesici takım ömürleri sırasıyla 0,05-0,1-0,15 mm/diş ilerleme oranları için kuru koşullarda 3,6-3,15-4,35 m ölçülürken aynı adımlarda minimum miktarda yağlama koşulları altında sırasıyla 4,2-7,5-6,3 m olarak ölçülmüştür. Takım ömürlerindeki artış kuru koşullara kıyasla sırasıyla 0,05-0,1-0,15 mm/diş ilerleme oranları için %16,66, %138, %44,8’lik bir artış göstermiştir. 0,1 mm/diş ilerleme oranı ve 100 ml/saat yağlama miktarı koşulları 100 m/dak kesme hızı için en iyi takım ömrü sonucunu vermiştir.



Şekil 4.1: $V_f = 100$ m/dak kesme hızında takım ömürlerinin karşılaştırılması

4.1.2 $V_f=125$ m/dak Kesme Hızı İçin Minimum Miktarda Yağlama ve Kuru Kesme Koşulları Altında Elde Edilen Takım Ömürlerinin Kıyaslanması

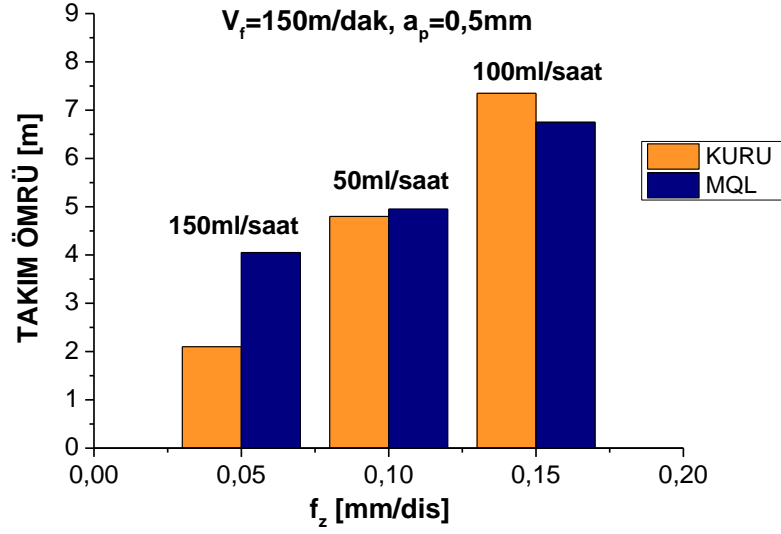
Şekil 4.2’de 125 m/dak kesme hızı için kuru kesme koşulları ile minimum miktarda yağlama yöntemi sonucunda elde edilen takım ömürleri kıyaslaması gösterilmektedir. Tüm ilerleme oranlarında minimum miktarda yağlama yönteminin üstünlüğü görülmektedir. Kesici takım ömürleri sırasıyla 0,05-0,1-0,15 mm/diş ilerleme oranları için 1,2-2,7-5,5 m olarak ölçülmüştür. Aynı ilerleme oranlarında minimum miktarda yağlama koşulları altındaki kesici takım ömürleri sırasıyla 1,65-6-9,15 m olarak ölçülmüştür. Kishawy ve arkadaşları yaptıkları deneylerde minimum miktarda yağlama yöntemini kuru koşullar ve geleneksel soğutma yöntemiyle karşılaştırmışlar. Sonuç olarak minimum miktarda yağlama yöntemiyle yanal aşınmanın azaldığını dolayısıyla takım ömrünün arttığını göstermişlerdir (Kishawy vd., 2005). Geçmişte yapılan bazı araştırmalar kesici takım ile iş parçasının temasından meydana gelen ısının bir miktar düşürülmesiyle takım ömrünün arttığını göstermiştir. (Tuholski, 1993) Minimum miktarda yağlama yöntemi ile kesme bölgesindeki sıcaklık düşürülmüş, takım ömründe artış sağlamıştır (Eker vd., 2014). Takım ömürlerindeki artış miktarları sırasıyla 0,05-0,1-0,15 mm/diş ilerleme oranları için %37,5, %122, %64,85’lik bir artış göstermiştir. 125 m/dak kesme hızı için optimum ilerleme adımı 0,15 mm/diş ve yağlama miktarının 50 ml/saat olduğu görülmüştür.



Şekil 4.2: $V_f = 125$ m/dak kesme hızında takım ömürlerinin karşılaştırılması

4.1.3 $V_f=150$ m/dak Kesme Hızı İçin Minimum Miktarda Yağlama ve Kuru Kesme Koşulları Altında Elde Edilen Takım Ömürlerinin Kıyaslanması

Şekil 4.3’de 150 m/dak kesme hızı için minimum miktarda yağlama yöntemi ile kuru kesme koşulları sonucunda elde edilen takım ömürleri kıyaslanmıştır. Kesici takım ömrü kuru kesme koşullarında sırasıyla 0,05-0,1-0,15 mm/diş ilerleme oranları için 2,1-4,8-7,35 m olarak ölçülmüştür. Aynı ilerleme oranlarında minimum miktarda yağlama yöntemi altındaki kesici takımların ömürleri ise sırasıyla 4,05-4,95-6,75 m olarak ölçülmüştür. Takım ömürlerindeki artış miktarları sırasıyla 0,05 mm/diş ilerleme oranı ve 150 ml/saat yağlama miktarı için %92,8, 0,1 mm/diş ilerleme oranı ve 50 ml/saat yağlama miktarı için %3 artış göstermiştir. 0,15 mm/diş ilerleme oranı ve 100 ml/saat yağlama miktarında bir iyileşme göstermemiştir.



Şekil 4.3: $V_f = 150$ m/dak kesme hızında takım ömürlerinin karşılaştırılması

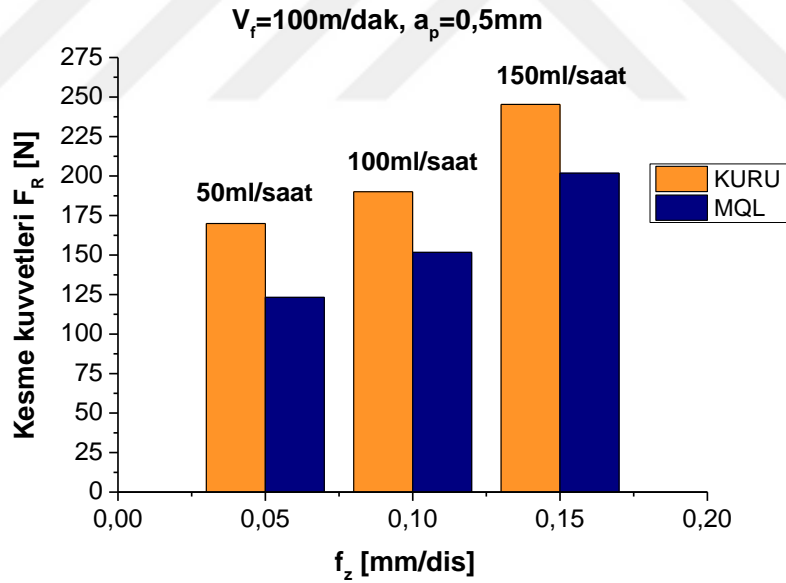
4.2 Kesme Kuvvetleri

Kesme kuvvetleri talaş kaldırma işlemi sırasında tablaya bağlı olan dinamometre yardımı ile ölçülmüştür. Kesici takım ile iş parçası arasındaki temas açısı 107° olarak hesaplanmış olmakla birlikte 100 m/dak kesme hızı için 14 data, 125 m/dak kesme hızı için 11 data, 150 m/dak kesme hızı için ise 9 data belirlenmiştir. İş parçasından talaş kaldırma işlemi süresince belirlenen kesme kuvveti datalarının tekrarlarının ortalamaları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken belirgin bir sonuç elde edebilmek için kesici takımın iş parçası yüzeyine temasından tam bir tur ilerleme sonrasında kesme kuvveti dataları belirlenerek ortalamaları hesaplanmıştır. Talaş kaldırma esnasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin bileşkesi Denklem 16'da hesaplanmıştır.

$$F_R = \sqrt{F_y^2 + F_z^2 + F_x^2} \quad (16)$$

4.2.1 Minimum Miktarda Yağlama ve Kuru Kesme Koşulları Altında Elde Edilen F_R Bileşke Kesme Kuvvetlerinin Kıyaslanması

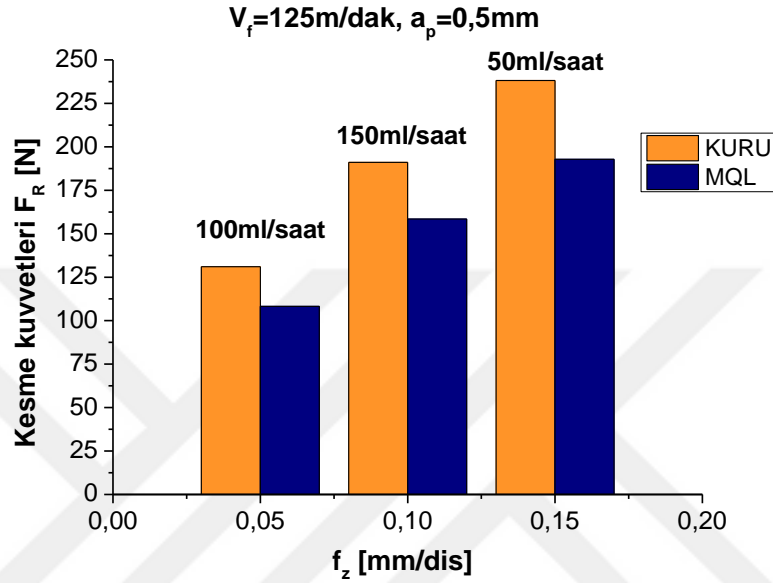
Şekil 4.4’de 100 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde, değişken ilerleme oranları ve yağlama miktarlarına göre elde edilen F_R bileşke kesme kuvvetleri görülmektedir. 100 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde en düşük kesme kuvveti değerleri, 0,05 mm/diş ilerleme oranı ve 50 ml/saat yağlama miktarında elde edilmiştir. Kesme kuvvetlerindeki düşüşün kesici takım ile iş parçası arasında meydana gelen sürtünmenin kullanılan yağlayıcı ile azaltılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Sharma vd., 2016). İlerleme oranındaki artışın malzeme yüzeyinden kaldırılan talaş miktarının artmasına dolayısıyla kesme kuvveti değerlerinin yükselmesine neden olduğu düşünülmektedir (Kurşuncu, 2016). Minimum miktarda yağlama yöntemiyle talaş kaldırmada elde edilen F_R bileşke kuvveti değerleri 100 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde kuru koşullarda talaş kaldırmaya kıyasla sırasıyla 0,05-0,1-0,15 mm/diş ilerleme oranı için %27,48, %20,20 ve %17,75’lik azalma göstermiştir.



Şekil 4.4: $V_f = 100$ m/dak kesme hızında elde edilen F_R bileşke kesme kuvveti değerleri

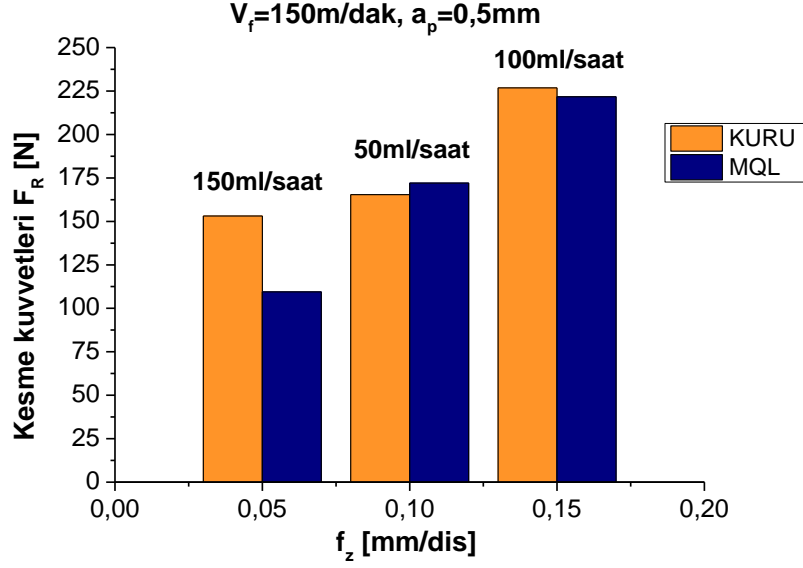
Şekil 4.5’de 125 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde, değişken ilerleme hızları ve yağlama miktarlarına göre elde edilen F_R bileşke kesme kuvvetleri görülmektedir. 125 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde en düşük kesme kuvveti değerleri, 0,05 mm/diş ilerleme oranı ve 100 ml/saat yağlama miktarında elde edilmiştir. İlerleme oranının düşük tutulmasıyla birlikte minimum miktarda yağlama yönteminin kesici takım ile talaş

arasında etkileşimden dolayı oluşan sıcaklığı düşürerek kesme kuvvetlerini azalttığı düşünülmektedir (Dhar vd., 2007). Minimum miktarda yağlama yöntemiyle talaş kaldırmada elde edilen F_R bileşke kuvveti değerleri 125 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde 0,05 mm/diş ilerleme oranı için %17,17, 0,1 mm/diş ilerleme oranı için %17,05 ve 0,15 mm/diş ilerleme oranı için %19'luk azalma göstermiştir.



Şekil 4.5: $V_f = 125$ m/dak kesme hızında elde edilen F_R bileşke kesme kuvveti değerleri

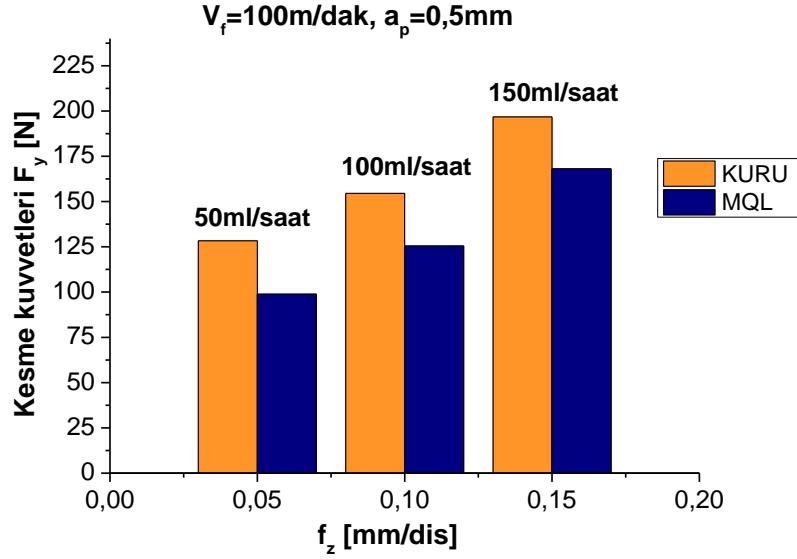
Şekil 4.6'da 150 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde, değişken ilerleme hızları ve yağlama miktarlarına göre elde edilen F_R bileşke kesme kuvvetleri görülmektedir. Minimum miktarda yağlama yöntemi ile 150 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde elde edilen kesme kuvveti değerleri 0,05 mm/diş ilerleme oranı için kuru koşullara kıyasla %28,5'lik azalma göstermiştir. İlerleme oranı 0,15 mm/diş ve yağlama oranı 100 ml/saat olan deneyde F_R bileşke kesme kuvvetinde %2,25'lik azalma görülürken ilerleme oranı 0,1 mm/diş ve yağlama miktarı 50ml/saat olan deneyde kesme kuvvetinde bir iyileşme görülmemiştir.



Şekil 4.6: $V_f=150$ m/dak kesme hızında elde edilen F_R bileşke kesme kuvveti değerleri

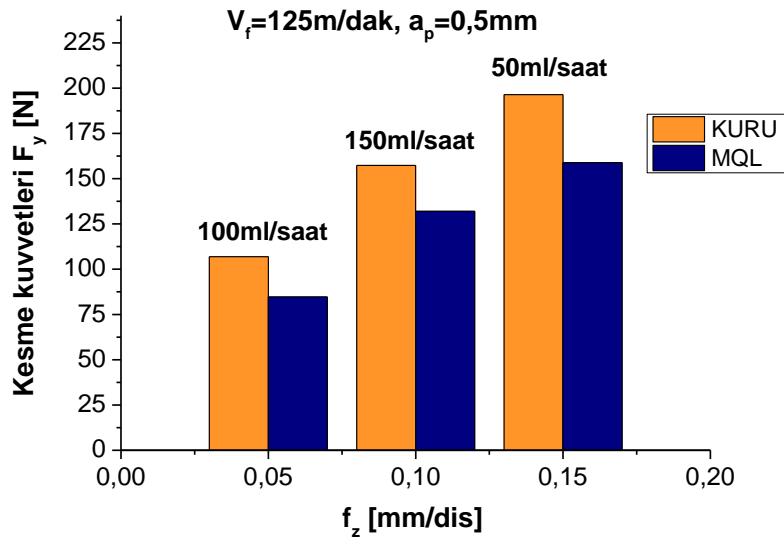
4.2.2 Minimum Miktarda Yağlama ve Kuru Kesme Koşulları Altında Elde Edilen F_Y Kesme Kuvvetlerinin Kıyaslanması

Şekil 4.7’de 100 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde, değişken ilerleme hızları ve minimum miktarda yağlama miktarlarına göre elde edilen F_Y kesme kuvvetleri görülmektedir. 100 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde en düşük kesme kuvveti değerleri, 0,05 mm/diş ilerleme oranı ve 50 ml/saat yağlama miktarında elde edilmiştir. Minimum miktarda yağlama yöntemiyle talaş kaldırmada elde edilen F_Y kesme kuvveti değerleri 100 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde kuru koşullarda talaş kaldırmaya göre tüm kesme oranlarında daha düşük değerleri göstermektedir.



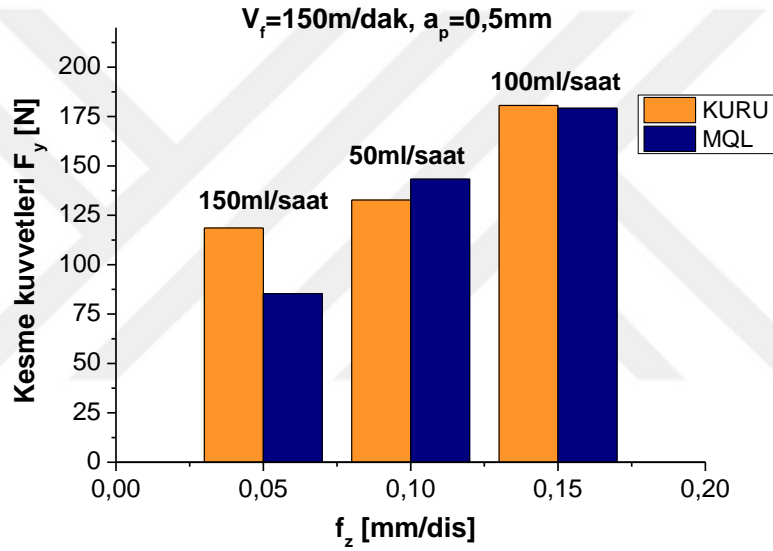
Şekil 4.7: $V_f=100$ m/dak kesme hızında elde edilen F_y kesme kuvveti değerleri

Şekil 4.8’de 125 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde, değişken ilerleme hızları ve minimum miktarda yağlama miktarlarına göre elde edilen F_y kesme kuvvetleri görülmektedir. 125 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde en düşük kesme kuvveti değerleri, 0,05mm/dis ilerleme oranı ve 100 ml/saat yağlama miktarında elde edilmiştir. Minimum miktarda yağlama yöntemiyle talaş kaldırmada elde edilen F_y kesme kuvveti değerleri 125 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde kuru koşullarda talaş kaldırmaya göre tüm kesme oranlarında daha düşük değerleri göstermektedir.



Şekil 4.8: $V_f=125$ m/dak kesme hızında elde edilen F_y kesme kuvveti değerleri

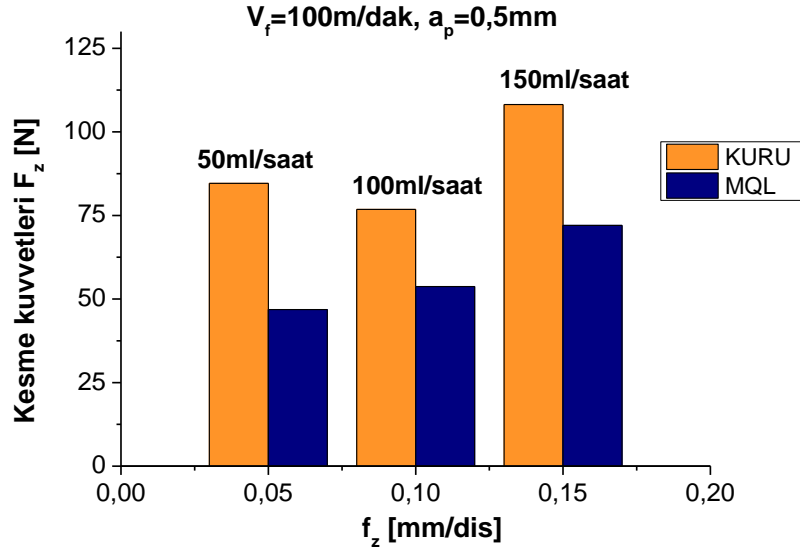
Şekil 4.9’da 150 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde, değişken ilerleme hızları ve yağlama miktarlarına göre elde edilen F_Y kesme kuvvetleri görülmektedir. 150 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde en düşük kesme kuvveti değerleri, 0,05 mm/diş ilerleme oranı ve 150 ml/saat yağlama miktarında elde edilmiştir. Minimum miktarda yağlama etkisi ile ilerleme oranı 0,15 mm/diş ve yağlama miktarı 100 ml/saat olan deneyde F_Y kesme kuvvetinde bir miktar azalma gözlenmiştir. İlerleme oranı 0,1 mm/diş ve yağlama miktarı 50 ml/saat olan deneyler sonucunda F_Y kesme kuvveti değerlerinde bir azalma görülmemiştir.



Şekil 4.9: $V_f = 150$ m/dak kesme hızında elde edilen F_Y kesme kuvveti değerleri

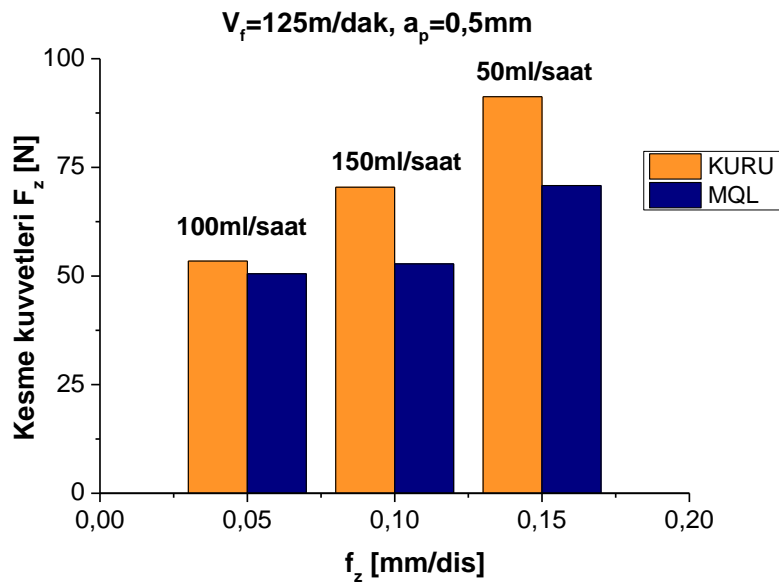
4.2.3 Minimum Miktarda Yağlama ve Kuru Kesme Koşulları Altında Elde Edilen F_Z Kesme Kuvvetlerinin Kıyaslanması

Şekil 4.10’da 100 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde, değişken ilerleme hızları ve yağlama miktarlarına göre elde edilen F_Z kesme kuvvetleri görülmektedir. 100 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde en düşük F_Z kesme kuvveti değerleri, 0,05 mm/diş ilerleme oranı ve 50 ml/saat yağlama miktarında elde edilmiştir. Tüm ilerleme oranlarında minimum miktarda yağlama altında yapılan deneyler sonucunda elde edilen F_Z kesme kuvveti değerleri kuru koşullar altında yapılan deneyler sonucunda elde edilen F_Z kesme kuvveti değerlerinden düşük değerler göstermiştir.



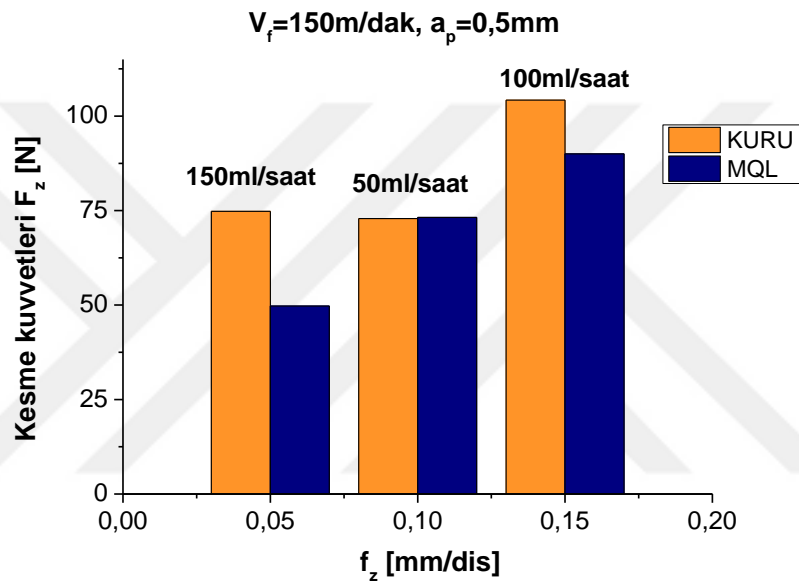
Şekil 4.10: $V_f=100$ m/dak kesme hızında elde edilen F_z kesme kuvveti değerleri

Şekil 4.11’de 125 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde, değişken ilerleme hızları ve yağlama miktarlarına göre elde edilen F_z kesme kuvvetleri görülmektedir. 125 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde en düşük F_z kesme kuvveti değerleri, 0,05 mm/diş ilerleme oranı ve 100 ml/saat yağlama miktarında elde edilmiştir. Tüm ilerleme oranlarında minimum miktarda yağlama altında yapılan deneyler sonucunda elde edilen F_z kesme kuvveti değerleri kuru koşullar altında yapılan deneyler sonucunda elde edilen F_z kesme kuvveti değerlerinden düşük değerler göstermiştir.



Şekil 4.11: $V_f=125$ m/dak kesme hızında elde edilen F_z kesme kuvveti değerleri

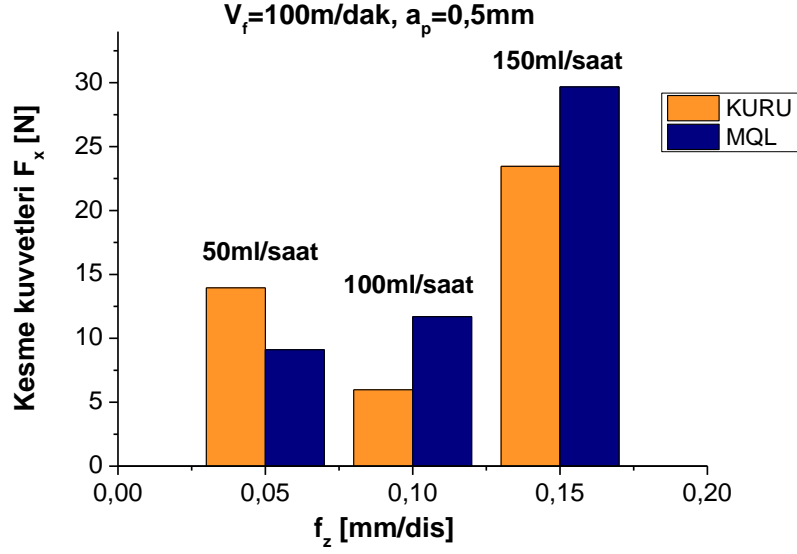
Şekil 4.12’de 150 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde, değişken ilerleme hızları ve yağlama miktarlarına göre elde edilen F_z kesme kuvvetleri görülmektedir. 150 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde en düşük F_z kesme kuvveti değerleri, 0,05 mm/diş ilerleme oranı ve 150 ml/saat yağlama miktarında elde edilmiştir. Minimum miktarda yağlama etkisi ile ilerleme oranı 0,15 mm/diş ve yağlama miktarı 100 ml/saat olan deneyde F_z kesme kuvvetinde bir miktar azalma gözlenmiştir. İlerleme oranı 0,1 mm/diş ve yağlama miktarı 50ml/saat olan deneyler sonucunda F_z kesme kuvveti değerlerinde bir azalma görülmemiştir.



Şekil 4.12: $V_f=150$ m/dak kesme hızında elde edilen F_z kesme kuvveti değerleri

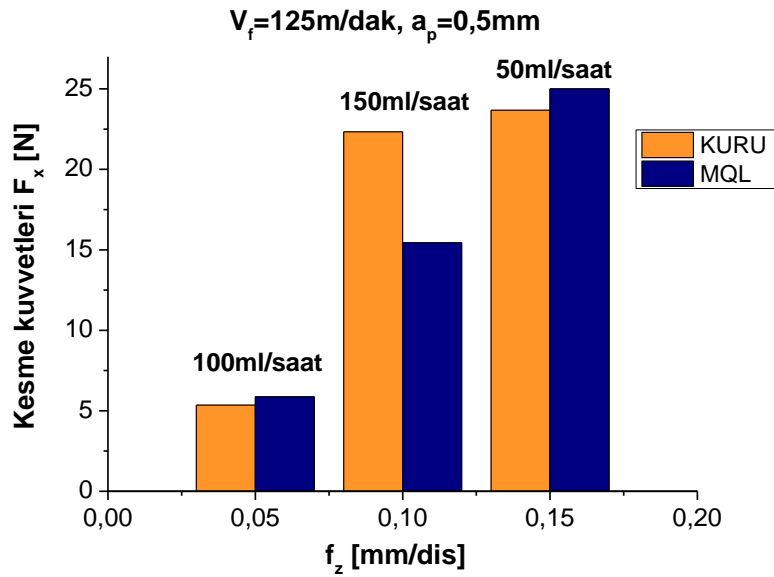
4.2.4 Minimum Miktarda Yağlama ve Kuru Kesme Koşulları Altında Elde Edilen F_x Kesme Kuvvetlerinin Kıyaslanması

Şekil 4.13’de 100 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde, değişken ilerleme hızları ve yağlama miktarlarına göre elde edilen F_x kesme kuvvetleri görülmektedir. 100 mm/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde en düşük F_x kesme kuvveti değerleri, 0,05 mm/diş ilerleme oranı ve 50 ml/saat yağlama miktarında elde edilmiştir. İlerleme oranı 0,15 mm/diş ve yağlama miktarı 100 ml/saat olan deney ile ilerleme oranı 0,1 mm/diş ve yağlama miktarı 50 ml/saat olan deneyler sonucunda F_x kesme kuvveti değerlerinde bir azalma görülmemiştir.



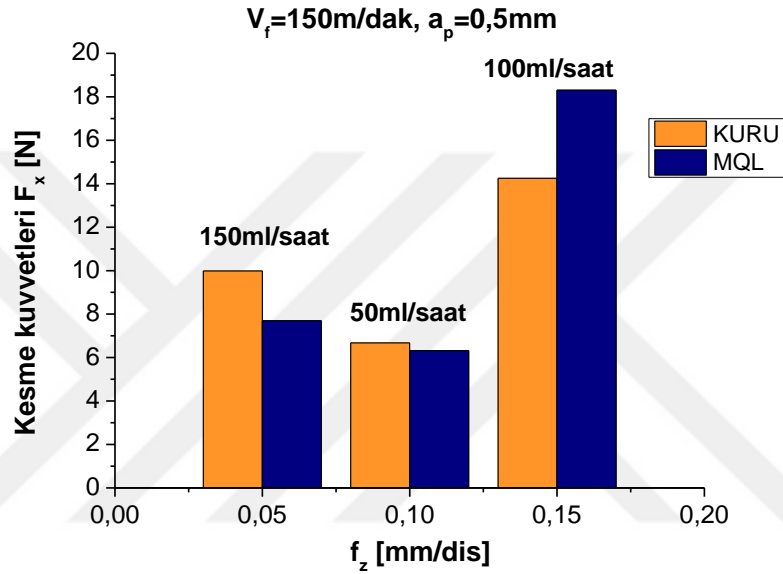
Şekil 4.13: $V_f = 100$ m/dak kesme hızında elde edilen F_x kesme kuvveti değerleri

Şekil 4.14’de 125 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde, değişken ilerleme hızları ve yağlama miktarlarına göre elde edilen F_x kesme kuvvetleri görülmektedir. 125 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde en düşük F_x kesme kuvveti değerleri, 0,1 mm/diş ilerleme oranı ve 150ml/saat yağlama miktarında elde edilmiştir. İlerleme oranı 0,05 mm/diş ve yağlama miktarı 100 ml/saat olan deney ile ilerleme oranı 0,15 mm/diş ve yağlama miktarı 50 ml/saat olan deneyler sonucunda F_x kesme kuvveti değerlerinde bir azalma görülmemiştir.



Şekil 4.14: $V_f = 125$ m/dak kesme hızında elde edilen F_x kesme kuvveti değerleri

Şekil 4.15’de 150 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde, değişken ilerleme hızları ve yağlama miktarlarına göre elde edilen F_X kesme kuvvetleri görülmektedir. 150 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde en düşük F_X kesme kuvveti değerleri, 0,1 mm/diş ilerleme oranı ve 50 ml/saat yağlama miktarında elde edilmiştir. İlerleme oranı 0,05 mm/diş ve yağlama miktarı 150 ml/saat olan deney sonucunda elde edilen F_X kesme kuvvetlerinde bir miktar azalma gözlenirken ilerleme oranı 0,15 mm/diş ve yağlama miktarı 100 ml/saat olan deneyler sonucunda F_X kesme kuvveti değerlerinde bir azalma görülmemiştir.



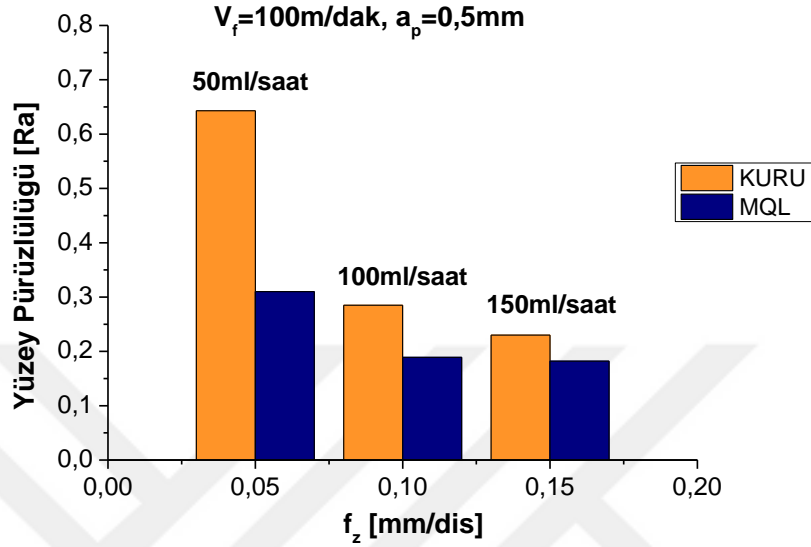
Şekil 4.15: $V_f = 150$ m/dak kesme hızında elde edilen F_X kesme kuvveti değerleri

4.3 Yüzey Pürüzlülük Değerleri

4.3.1 Frezeleme İşlemi Sonucunda Elde Edilen Minimum Yüzey Pürüzlülük Değerleri

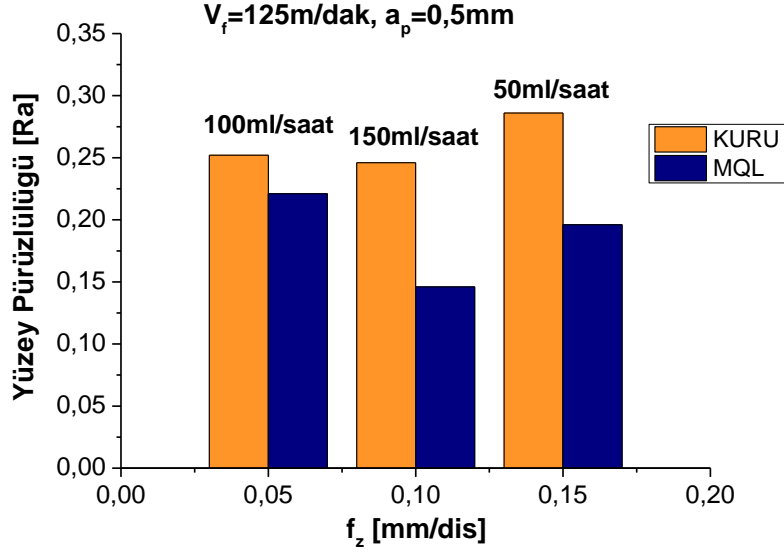
Şekil 4.16’da 100 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde farklı ilerleme oranları ile yağlama miktarlarına göre elde edilen minimum yüzey pürüzlülükleri gösterilmektedir. Minimum miktarda yağlama etkisi ile yüzey pürüzlülükleri kuru koşullarda işlemeye kıyasla oldukça düşük değerleri göstermektedir. 0,05 mm/diş ilerleme oranı için kuru kesme koşullarında elde edilen en düşük yüzey pürüzlülüğü 0,643 μm iken minimum miktarda yağlama sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değeri 0,31 μm ’ye kadar düşmüştür. 100 m/dak kesme hızı için 0,05 mm/diş ilerleme oranında yüzey pürüzlülüklerinde oldukça değişiklik gözlenirken 0,1 mm/diş ilerleme oranı için 0,189 μm , 0,15 mm/diş ilerleme oranı için 0,182 μm yüzey pürüzlülükleri elde edilmiştir. Minimum miktarda yağlama yöntemi ile

elde edilen yüzey pürüzlülüklerinin kuru kesme koşullarında elde edilen yüzey pürüzlülüklerine kıyasla daha düşük olmasının işleme esnasında meydana gelen sürtünme kuvvetinin yağlama sıvısının etkisiyle azaltılmış olabileceği düşünülmektedir (Rabiei, 2015).



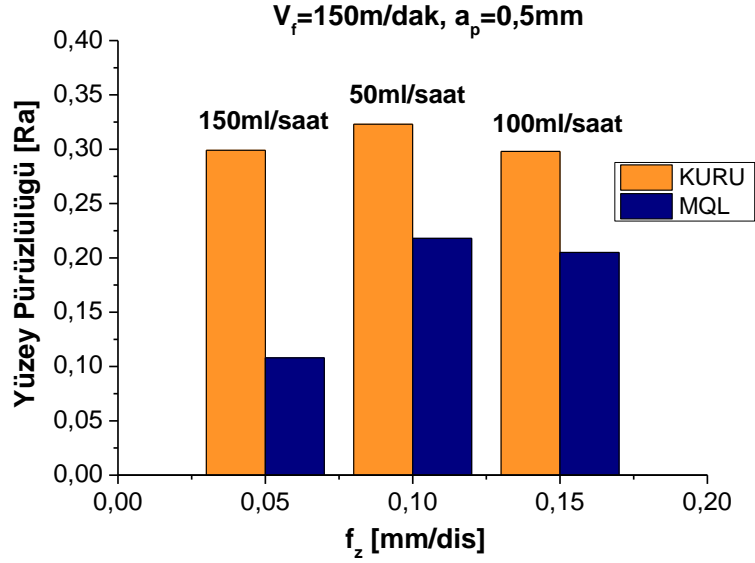
Şekil 4.16: Minimum yüzey pürüzlülükleri

Şekil 4.17’de 125 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde belirlenen ilerleme oranları ve yağlama miktarlarına göre ilk işleme sonuçlarından elde edilen en düşük yüzey pürüzlülükleri kıyaslanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü işleme esnasında kullanılan yağlama sıvısının yanı sıra işlem parametresi olan kesme kuvveti ve ilerleme oranı ile doğrudan bağlantılıdır (Karabatak ve Kara, 2016). 125m/dak kesme hızı için 150 ml/saat minimum miktarda yağlama miktarı ve 0,1 mm/diş ilerleme oranında 0,146 μm ile en düşük pürüzlülük değeri elde edilmiştir. Bunun yanı sıra diğer yüzey pürüzlülükleri 0,05 mm/diş ilerleme oranı için 0,221 μm , 0,15 mm/diş ilerleme oranı için 0,196 μm elde edilmiştir. Tüm ilerleme oranlarında minimum miktarda yağlama etkisi ile yüzey pürüzlülüklerinde belirgin bir düşüş gözlemlenmiştir.



Şekil 4.17: Minimum yüzey pürüzlülükleri

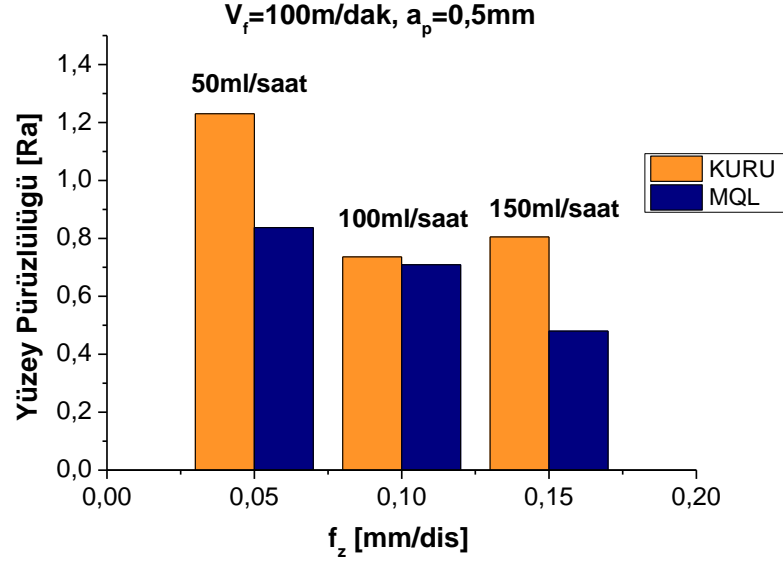
Şekil 4.18’de 150 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde minimum miktarda yağlama koşulları ile kuru koşullarda işleme sonucunda elde edilen en düşük yüzey pürüzlülükleri farklı ilerleme oranları ve yağlama miktarlarına göre kıyaslanmıştır. 150 m/dak kesme hızı ve 0,05 mm/diş ilerleme oranında minimum miktarda yağlamanın etkisiyle oldukça belirgin bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu belirgin azalmanın minimum miktarda yağlama yöntemi ile kullanılan sıvının işleme esnasında iş parçasından kopan talaşları hızla kesme bölgesinden uzaklaştırmasından dolayı olduğu düşünülmektedir (Gunjal ve Patil, 2018). Diğer ilerleme oranı ve yağlama miktarlarında da düşüş gözlemlenirken 150 m/dak kesme hızı için 0,05 mm/diş ilerleme oranı ile 150 ml/saat yağlama miktarı bu deney için 0,108 μm ile en iyi yüzey pürüzlülük değerini göstermiştir.



Şekil 4.18: Minimum yüzey pürüzlülükleri

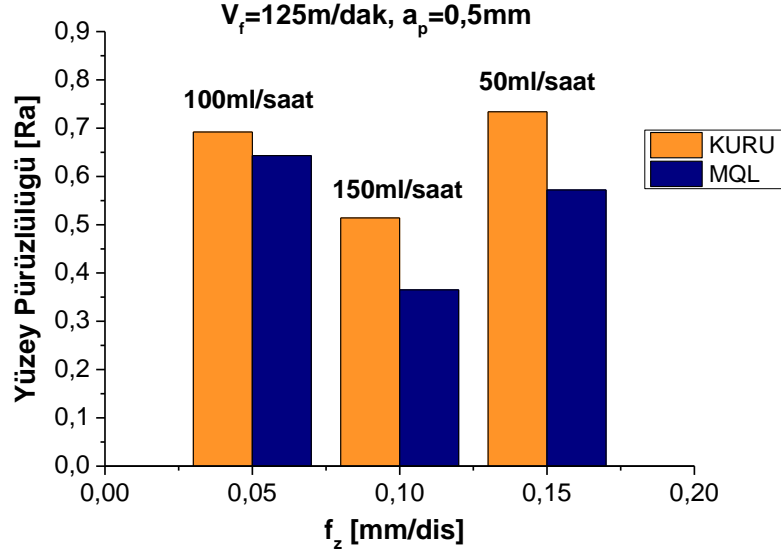
4.3.2 Takım Ömrü Boyunca Ortalama Yüzey Pürüzlülükleri Kıyaslanması

Şekil 4.19’da 100 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde minimum miktarda yağlama ve kuru kesme koşulları altında yapılan deneyler sonucunda takım ömrü boyunca elde edilen yüzey pürüzlülükleri gösterilmektedir. Belirlenen deney parametrelerinden en düşük hıza sahip olan bu deney için en düşük yüzey pürüzlülük değerleri 0,15 mm/diş ilerleme oranı ve 150 ml/saat yağlama miktarında elde edilmiştir. Kuru kesme koşullarına kıyasla minimum miktarda yağlama etkisiyle takım ömürlerinde 0,05-0,1-0,15 mm/diş ilerleme oranları için sırasıyla %68,04, %96,33 ve %59,62 oranında azalma görülmüştür. Elmunafi ve arkadaşları yaptıkları AISI 4240 çeliğini tornalama işleminde kuru koşullar ile minimum miktarda yağlama koşullarını karşılaştırmışlar ve yüzey pürüzlülüklerinde azalma gözlemlemişlerdir. Bununla birlikte minimum miktarda yağlama yönteminin, 0,24 mm/devir ile 170 m/dak kesme hızında kaplamalı karbür takımları tornalama işleminde iyi bir teknik olabileceğinden bahsetmişlerdir (Elmunafi vd., 2015). Thamizhmanii ve Hasan 0,15 mm/diş ilerleme oranında 10-20-30 m/dak kesme hızlarında minimum miktarda yağlama koşullarında testlerini gerçekleştirmişler ve yağlama oranını bir miktar arttırarak yüzey pürüzlülüklerinde azalma gözlemlemişlerdir (Thamizhmanii ve Hasan, 2009).



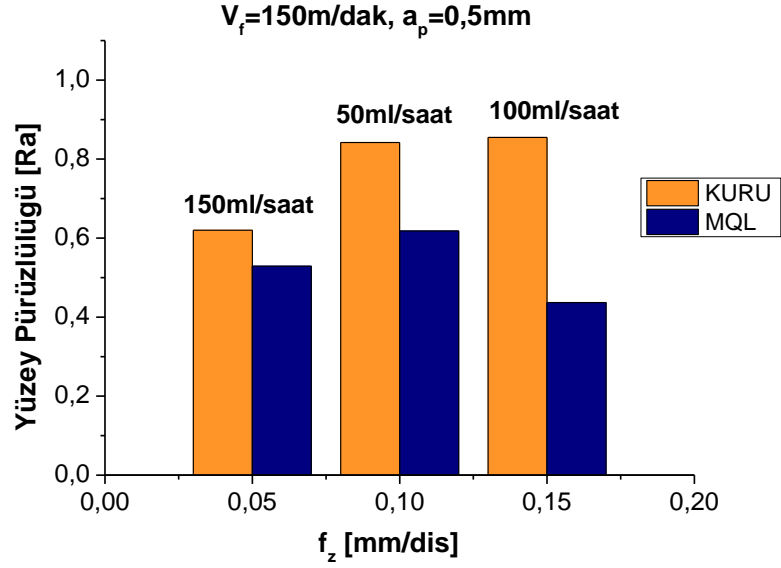
Şekil 4.19: Takım ömürleri boyunca elde edilen yüzey pürüzlülük ortalamaları

Şekil 4.20’de 125 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm/diş ilerleme oranında minimum miktarda yağlama yöntemi ile kuru koşullarda kesme işlemi sonucunda takım ömrü boyunca elde edilen ortalama yüzey pürüzlülükleri gösterilmektedir. 125 m/dak kesme hızı için belirlenen parametreler içerisinde en iyi sonuç 0,1 mm/diş ilerleme oranı ile 150 ml/saat yağlama miktarında meydana gelmiştir. Minimum miktarda yağlama etkisi ile takım ömürleri 0,05-0,1-0,15 mm/diş ilerleme oranları için sırasıyla %92,91, %71,01 ve %77,92 oranında azalma göstermiştir. Elde edilen düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri minimum miktarda yağlama yönteminde kullanılan bitkisel yağın kesme performansına olumlu etkisi olduğunu göstermektedir. Naresh Babu ve arkadaşları yaptıkları frezeleme işleminde bitkisel yağ kullanmışlar ve yüzey pürüzlülük değerlerinde kuru koşullara kıyasla %66 oranında azalma gözlemlemişlerdir (Naresh Babu vd., 2019).



Şekil 4.20: Takım ömürleri boyunca elde edilen yüzey pürüzlülük ortalamaları

Şekil 4.21’de 150 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde minimum miktarda yağlama ve kuru kesme koşullarından kesici takım ömrünce elde edilen ortalama yüzey pürüzlülükleri gösterilmektedir. 150 m/dak kesme hızı için en düşük yüzey pürüzlülük değerleri 0,15 mm/diş ilerleme oranı ve 100 ml/saat minimum miktarda yağlama yöntemi ile elde edilmiştir. Minimum miktarda yağlama yöntemiyle elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinde kuru kesme koşullarına kıyasla 0,05-0,1-0,15 mm/diş ilerleme oranlarında sırasıyla %83,32, %73,39, %51,11 iyileşme gözlenmiştir. Elde edilen bu düşük yüzey pürüzlülükleri minimum miktarda yağlama yönteminin yüzey kalitesini iyileştirdiğini göstermektedir (Lugscheider vd., 1992).



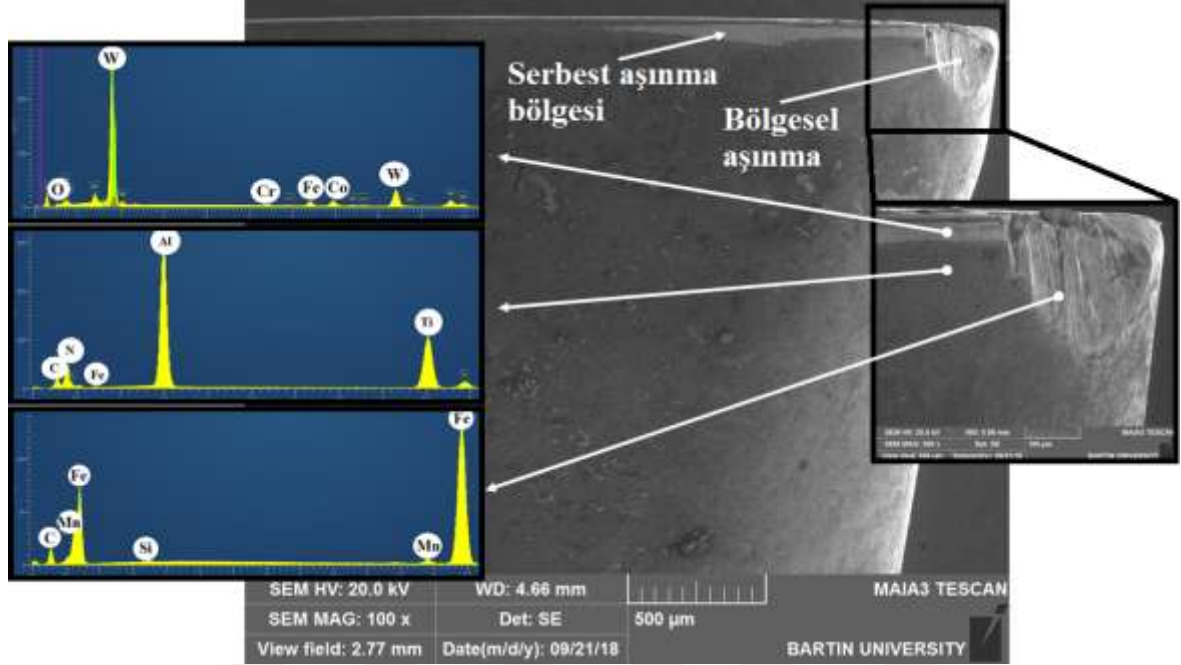
Şekil 4.21: Takım ömürleri boyunca elde edilen yüzey pürüzlülük ortalamaları

4.4 Takım Aşınmalarının SEM ve EDS Kullanılarak Analizi

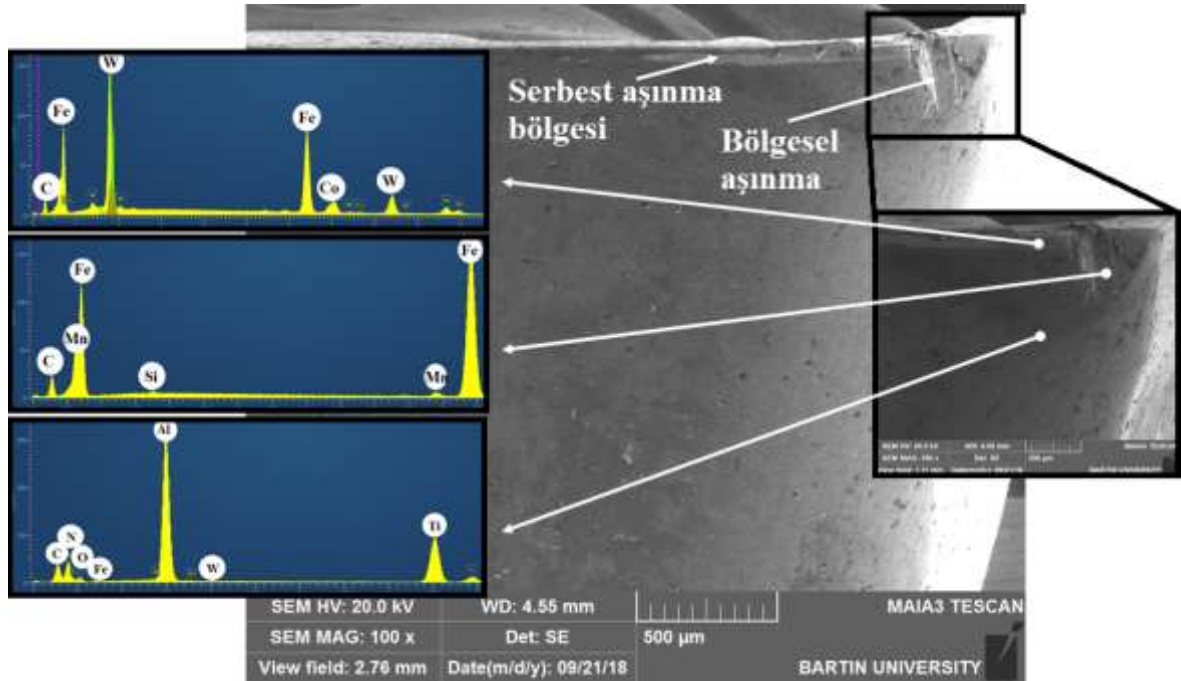
4.4.1 Kuru Kesme Koşulları Altında Aşınan Kesici Takımların SEM Görüntüleri ve EDS Analizi

Kesici takımlarda meydana gelen aşınma mekanizmaları EDS ve SEM analizi ile incelenmiştir. Şekil 4.22, 4,23 ve 4,24'desırasıyla 100-125-150 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/diş ilerleme oranı ve kuru koşullar altında aşınmış olan sinterlenmiş karbür kesici takımların SEM görüntüsü ile EDS analizi gösterilmektedir. Görüntülerde ilk göze çarpan serbest yüzey aşınması talaşlı imalat işlemlerinde sıklıkla meydana gelen ve tamamen giderilemeyen aşınma türüdür. Bu aşınma türü kesici takımın kesme kenarının iş parçasının sert yüzeyine temas etmesi sonucu oluşmaktadır (Altaş, 2015). Bir diğer dikkat çeken aşınma ise bölgesel aşınmadır. Bu aşınma türü talaş kaldırma esnasında meydana gelen kuvvetlerin dalgalı olarak değişmesinden dolayı olduğu düşünülmektedir (Park vd., 2015). Frezeleme işleminden sonra, aşınma tipi, kesici takımın yan yüzünde çentik aşınması olarak görülmüştür. Abrasiv ve adhezif aşınma mekanizmaları gözlemlenmiştir. Kesim bölgesindeki yüksek sıcaklık nedeniyle, iş parçası malzemesi, kesici takımın yan yüzüne kaynaklanır ve tekrar eden işleme süresince kaynaklı parça malzemesi kırılır ve kenar yüzündeki çentik aşınma tipi olarak kesici takım malzemesine zarar verir. Kesici takımların çentik aşınma bölgesinden elde edilen EDS analizine göre BUE oluşumu görülmektedir.

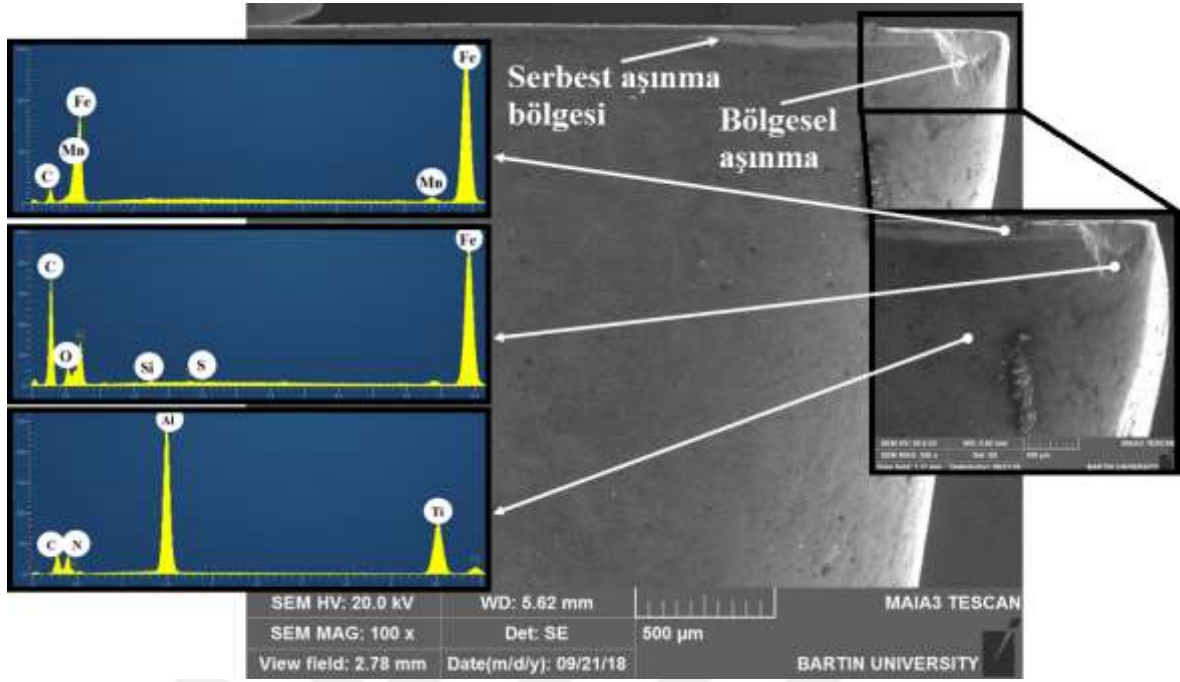
Ayrıca, frezeleme testlerinde kuru koşullarda kullanılan kesici takımın kenarında kırılma gözlenmiştir (Çalışkan vd., 2013; 2016a; 2016b; Kurşuncu vd., 2017; Kurşuncu ve Yaraş, 2017).



Şekil 4.22: $V_f = 100$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/diş ilerleme oranında ve kuru koşullarda aşınmış kesici takım görüntüsü



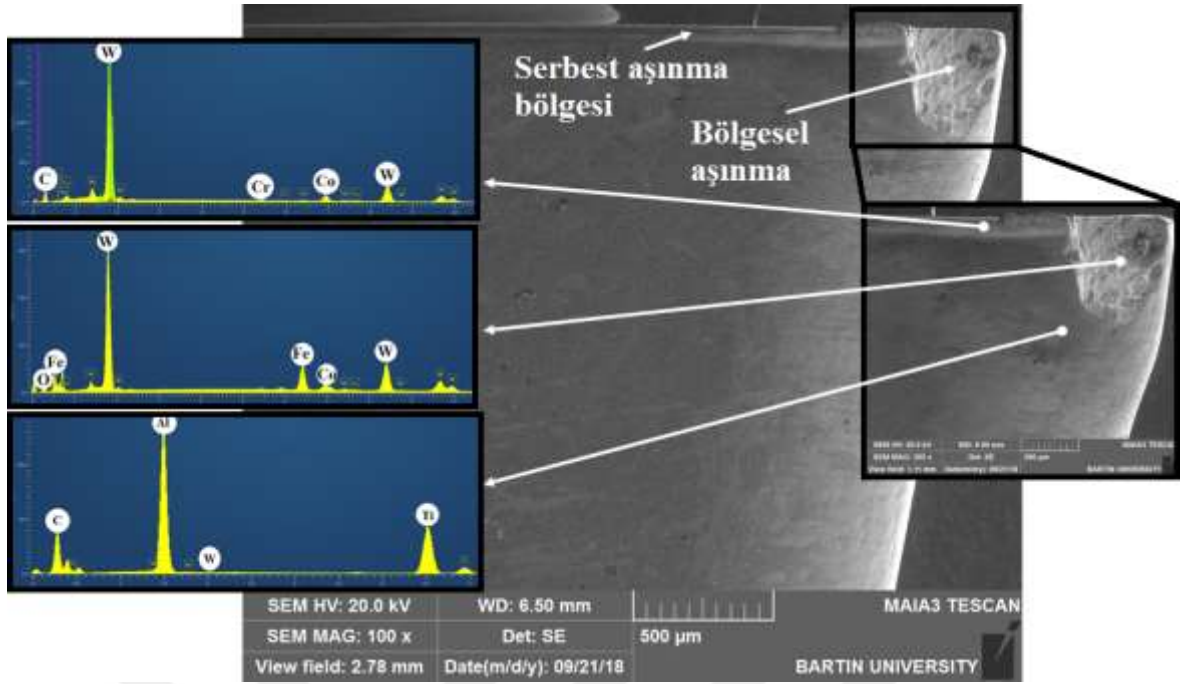
Şekil 4.23: $V_f = 125$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/diş ilerleme oranında ve kuru koşullarda aşınmış kesici takım görüntüsü



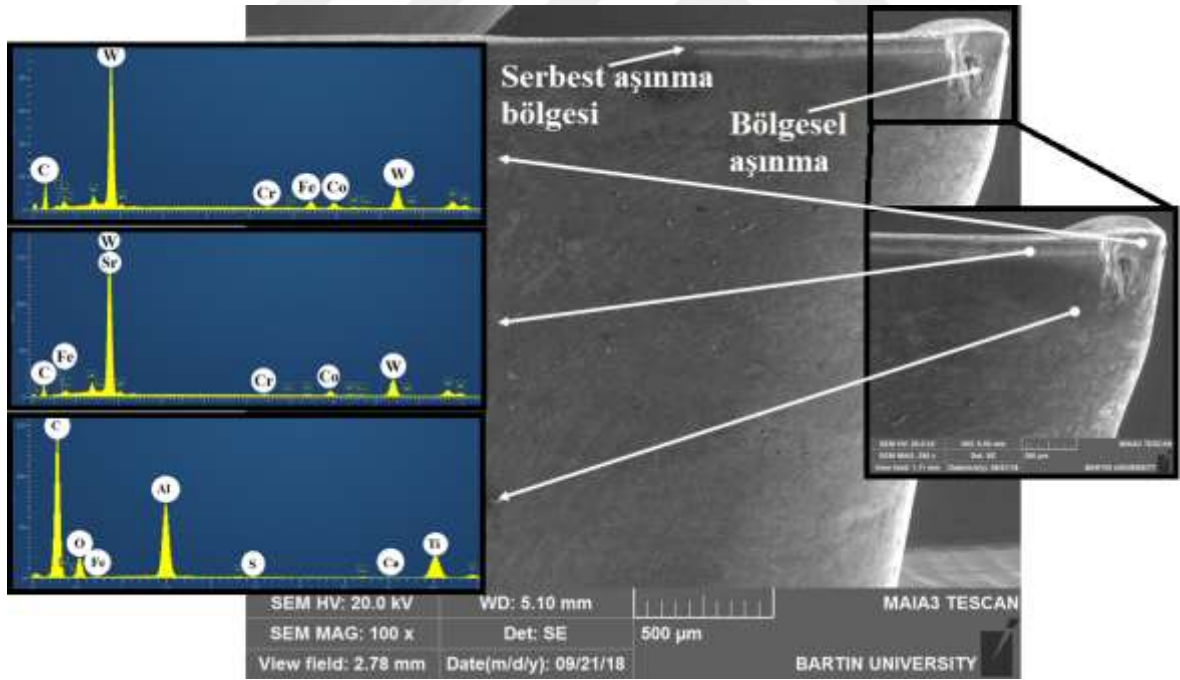
Şekil 4.24: $V_f = 150$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/diş ilerleme oranında ve kuru koşullarda aşınmış kesici takım görüntüsü

4.4.2 Minimum Miktarda Yağlama Koşulları Altında Aşınan Kesici Takımların SEM Görüntüleri ve EDS Analizi

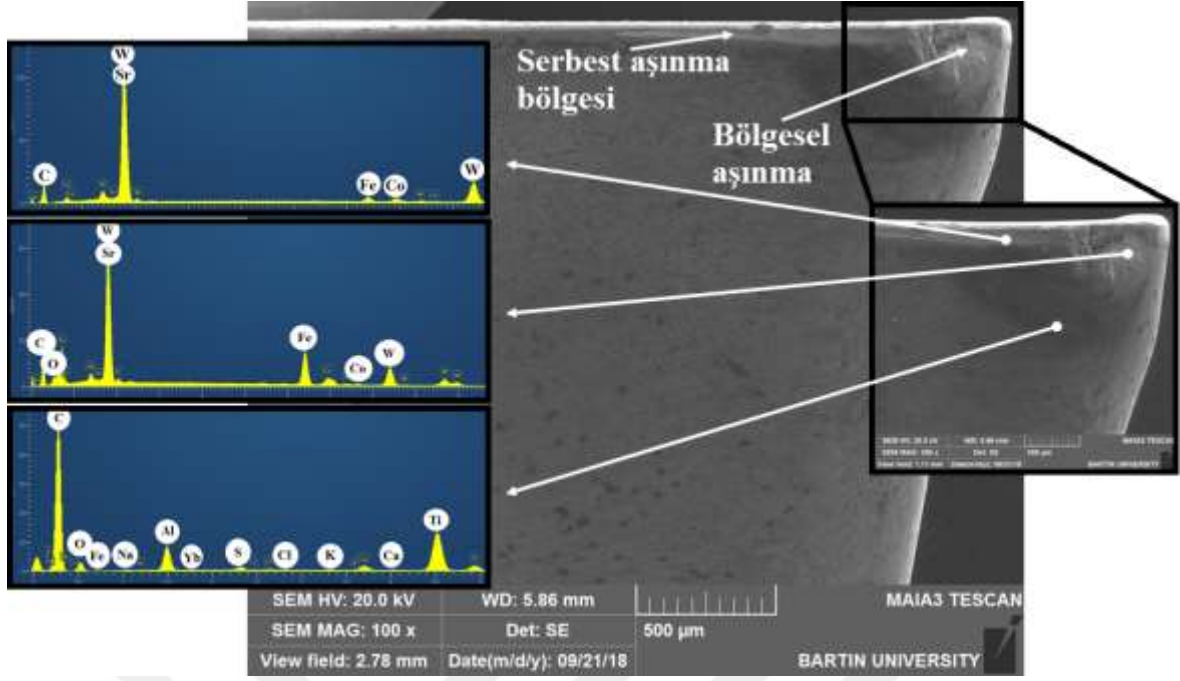
Şekil 4.25, 4,26 ve 4,27’de sırasıyla 100-125-150 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/diş ilerleme oranı ve minimum miktarda yağlama koşulları altında aşınmış olan sinterlenmiş karbür kesici takımların SEM görüntüsü ile EDS analizi gösterilmektedir. Frezeleme işleminden sonra, genel aşınma mekanizmaları abraziv ve adhezif aşınma mekanizmaları olup aşınma tipi, kesici takımın yan yüzünde çentik aşınması olarak görülmüştür. Kesim bölgesindeki yüksek sıcaklık nedeniyle, iş parçası malzemesi, kesici takımın yan yüzüne kaynaklanır ve tekrar eden kesme işlemleri ile kaynaklı parça malzemesi kırılarak kenar yüzündeki çentik aşınma tipi olarak kesici takım malzemesine zarar verir. MQL sistemi kullanan frezeleme işleminde, BUE oluşumu aşınmış kesici takımların çentik aşınma bölgesinde kuru koşullardan daha azdır. (Çalışkan vd., 2013; 2016a; 2016b; Kurşuncu vd., 2017; Kurşuncu ve Yaraş, 2017).



Şekil 4.25: $V_f=100$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/diş ilerleme oranında ve 50ml/saat minimum miktarda yağlama koşulunda aşınmış kesici takım görüntüsü



Şekil 4.26: $V_f=125$ m/dak kesme hızı, $f_z=0,05$ mm/diş ilerleme oranında ve 100 ml/saat minimum miktarda yağlama koşulunda aşınmış kesici takım görüntüsü



Şekil 4.27: $V_f=150$ m/dak kesme hızı, $f_z=0,05$ mm/diş ilerleme oranında ve 150 ml/saat minimum miktarda yağlama koşulunda aşınmış kesici takım görüntüsü

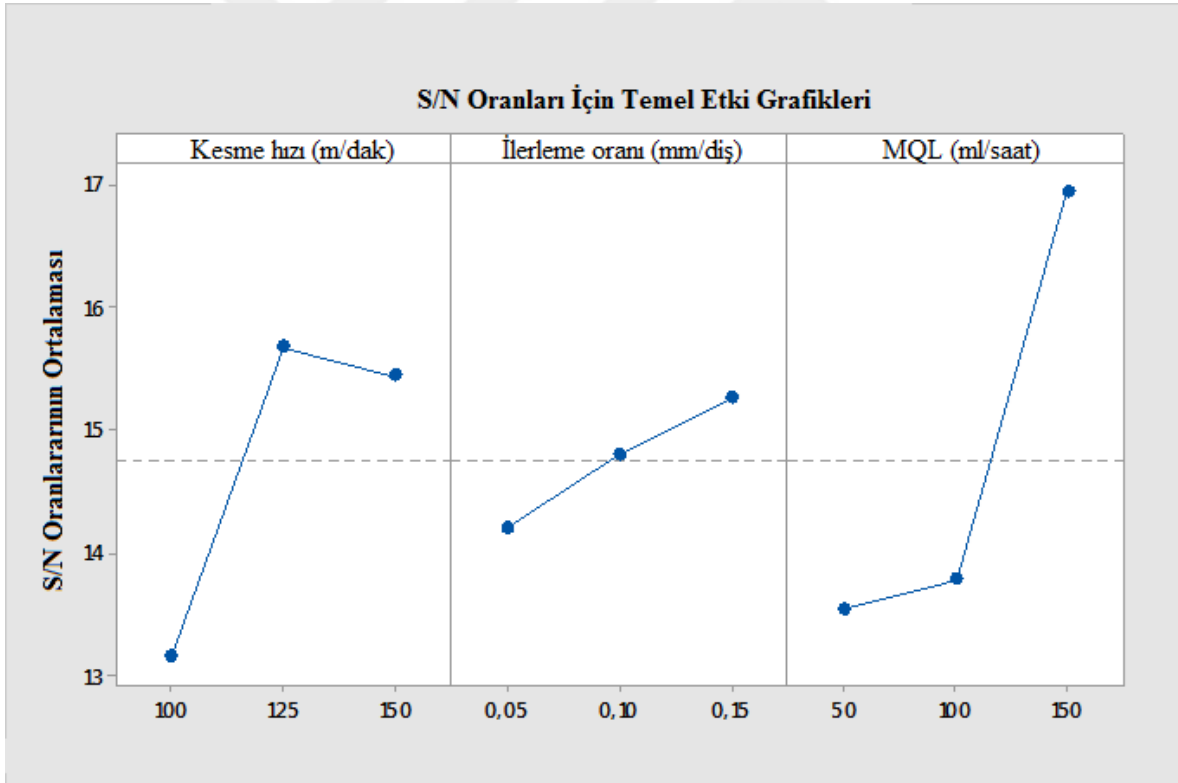
4.5 Tepki Yüzey Metodu (Minitab Programından Elde Edilen Değerler) İle Elde Edilen Sonuçların Analizi

4.5.1 Yüzey Pürüzlülük Değerleri İçin Gürültü (S/N) Analizi

İşleme sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülük ve S/N değerleri Tablo 4.1’de gösterilmektedir. Optimum yüzey pürüzlülük seviyelerini gösteren grafikler Şekil 4.28’de verilmiştir. Tablo 4.1’de 125 m/dak kesme hızı, 0,15 mm/diş ilerleme oranı ve 150 ml/saat yağlama akış hızının optimum parametreler olduğu görülmektedir.

Tablo 4.1: Yüzey pürüzlülük değerleri ve S/N oranları

Test No	Kontrol Faktörleri			Yüzey Pürüzlülüğü Ra, (μm)	S/N Oranı (dB)
	V_c , Kesme Hızı (m/dak)	f_z , İlerleme Oranı (mm/diş)	Q , MQL (ml/saat)		
1	100	0,05	50	0,310	10,173
2	100	0,1	100	0,189	14,471
3	100	0,15	150	0,182	14,799
4	125	0,05	100	0,221	13,112
5	125	0,1	150	0,146	16,713
6	125	0,15	50	0,138	17,202
7	150	0,05	150	0,108	19,332
8	150	0,1	50	0,218	13,231
9	150	0,15	100	0,205	13,765



Şekil 4.28: Yüzey pürüzlülüğü değerleri için S/N oranlarının temel etki grafiği

4.5.2 Tepki Yüzey Metodolojisi İle Yüzey Pürüzlülüğü İçin Deneysel Sonuçların Değerlendirilmesi

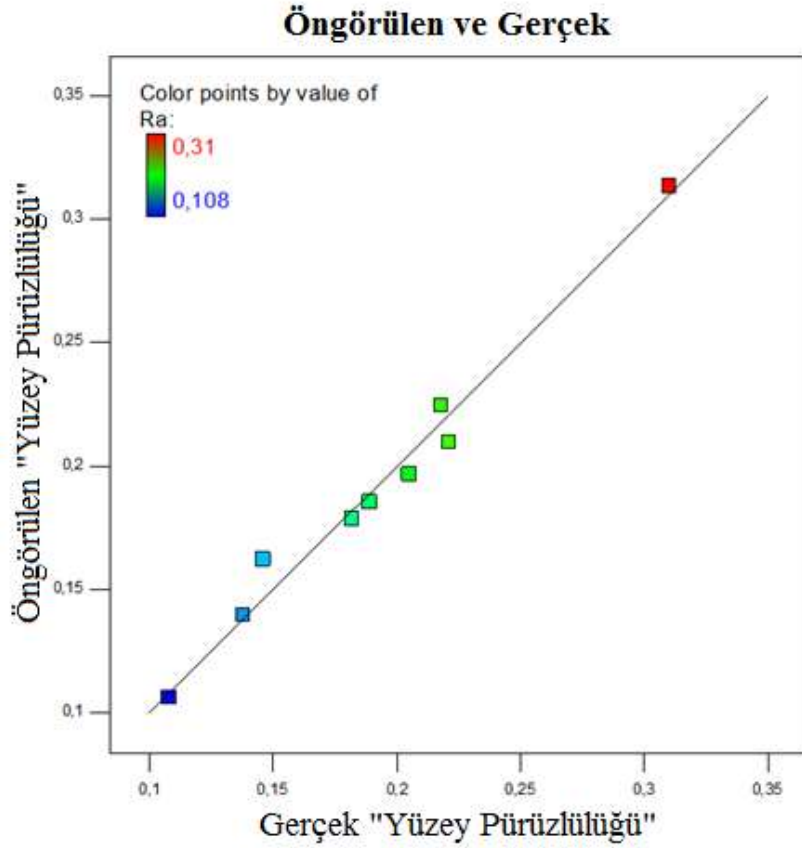
Tablo 4.2’de yüzey pürüzlülük değerleri için varyans tablosunun analizi gösterilmektedir. 10,88 Model F değeri modelin önemli olduğu anlamına gelmektedir. Gürültü nedeniyle bu değerlin ortaya çıkma olasılığı yalnızca %0,90’dır. 0,0500’den düşük “Prob>F” değerleri model terimlerinin önemli olduğunu gösterir. Bu durumda ilerleme oranı ve minimum miktarda yağlayıcı akış hızı önemli model terimleridir. R karesi 0,9806, toplam varyasyonların %98,06’sının model tarafından doğru tahmin edildiği anlamına gelir. 4’ten büyük oranlar istenir ve 18,885 oranı yeterli bir sinyal olduğunu gösterir. Bu model tasarım alanında gezinmek için kullanılabilir.

Tablo 4.2: Yüzey pürüzlülüğü varyans tablosunun analizi [Kısmi kareler toplamı Tip III]

Kaynak	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F Değeri	p-değeri Prob > F	
Model	0,027	5	5,45E-03	30,26	0,009	Önemli
A-Kesme Hızı	9,60E-05	1	9,60E-05	0,53	0,5182	
B-İlerleme Oranı	2,17E-03	1	2,17E-03	12,02	0,0404	Önemli
C-MQL Akış Hızı	2,83E-03	1	2,83E-03	15,7	0,0287	Önemli
AB	8,24E-04	1	8,24E-04	4,57	0,122	
BC	7,68E-03	1	7,68E-03	42,64	0,0073	Önemli
Kalan	5,40E-04	3	1,80E-04			
Cor Total	0,028	8				
Std. Dev.	7,04	R-Kare	0,9806			
Ana	8,51E-03	Adj R-Kare	0,9481			
C.V. %	11	Pred R-Kare	0,6939			

ANOVA’dan elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri için gerçek faktörler açısından cevap yüzey denklemleri şöyle verilmiştir.

$$R_a = +0,19 + 5,238E-003 \times V_c - 0,019 \times f_z - 0,028 \times Q + 0,020 \times V_c f_z + 0,060 \times f_z Q$$

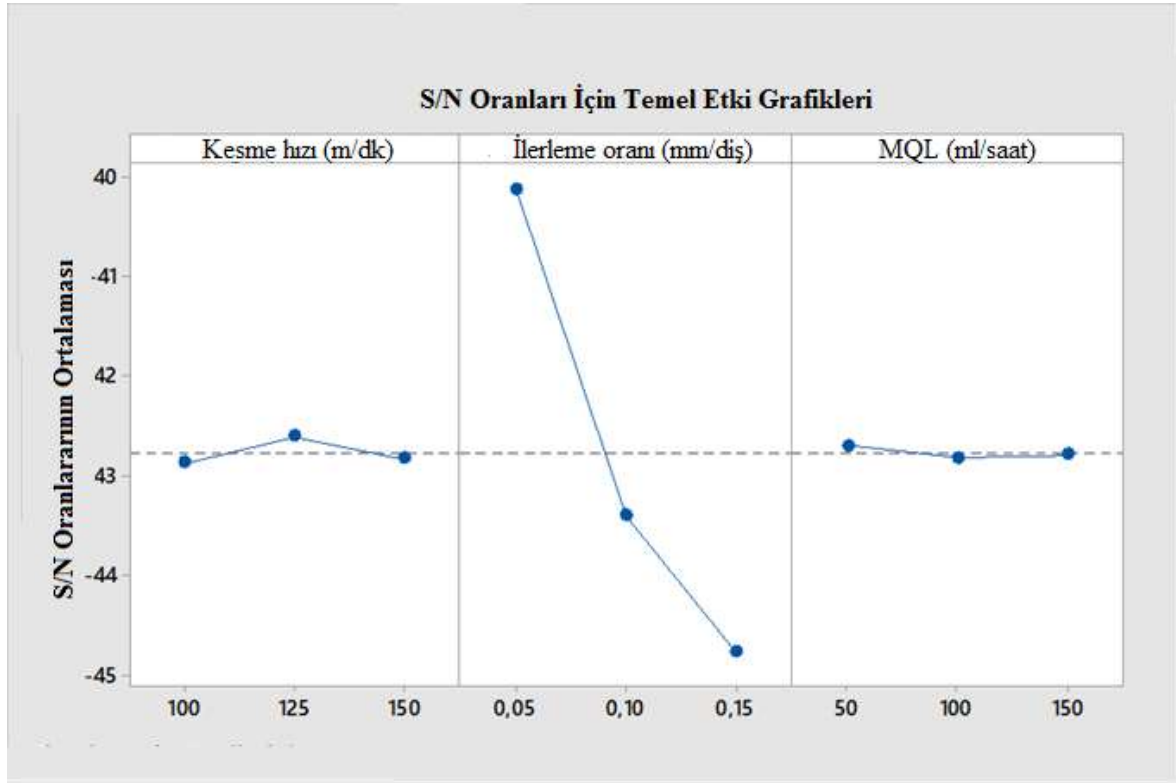


Şekil 4.29: Deneylerle elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin ve model ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Şekil 4.29’da deneylerle hesaplanan yüzey pürüzlülüğü değerlerinin model ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması gösterilmektedir. Buna göre modelden elde edilen verilerin deneysel verilerle çakıştığı görülmektedir. Elde edilen model ile hesaplanan değerlerin gerçek değerlerle karşılaştırılması sonucunda ilk test parametresi yüzey pürüzlülüğü sonucu %1,04 ile en düşük hata yüzdesi, 5.test parametresi yüzey pürüzlülüğü sonucu en yüksek hata yüzdesi %11,19 elde edilmiştir.

4.5.3 Kesme Kuvveti Değerleri için Gürültü Sinyali (S/N) Analizi

Tablo 4.3, ölçülen pürüzlülüğü ve S/N değerlerini göstermektedir. Optimum kesme kuvveti seviyelerini gösteren ana efekt grafikleri, Şekil 4.30’da sunulmuştur. Şekil 4.30’un değerlendirmesi, 125 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/diş ilerleme oranı, 50 ml/saat MQL akış hızının en düşük kesme kuvveti değerlerini üreten optimum parametreler olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.30: Kesme kuvveti değerleri için S/N oranlarının temel etki grafiği

Tablo 4.3: Kesme Kuvveti sonuçları ve S/N oranı değerleri

Test No	Kontrol Faktörleri			Yüzey Pürüzlülüğü Ra, (μm)	S/N Oranı (dB)
	V_c , Kesme Hızı (m/dak)	f_z , İlerleme Oranı (mm/diş)	Q , MQL (ml/saat)		
1	100	0,05	50	0,310	-40,3982
2	100	0,1	100	0,189	-43,6080
3	100	0,15	150	0,182	-44,5957
4	125	0,05	100	0,221	-39,7336
5	125	0,1	150	0,146	-43,4889
6	125	0,15	50	0,138	-44,5974
7	150	0,05	150	0,108	-40,2775
8	150	0,1	50	0,218	-43,1076
9	150	0,15	100	0,205	-45,1055

4.5.4 Kesme Kuvveti İçin Deneysel Sonuçların Tepki Yüzey Metodolojisi İle Değerlendirilmesi

Tablo 4.4'de kesme kuvveti değerleri için varyans tablosunun analizi ve bir model gösterilmektedir. 110.77 modelinin F değeri, modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Gürültü nedeniyle bu kadar büyük bir F değerinin ortaya çıkma olasılığı sadece %0,90'dır. 0,0500'den düşük "Prob> F" değerleri model terimlerinin anlamlı olduğunu gösterir. Bu durumda ilerleme oranı ve ilerleme oranının karesi önemli model terimleridir. R-kare 0.9970, toplam varyasyonların %99,7'sinin model tarafından doğru tahmin edildiği anlamına gelir. 4'ten büyük bir oran arzu edilir. 26.127 oranı yeterli bir sinyal olduğunu gösterir. Bu model, tasarım alanında kullanılabilir.

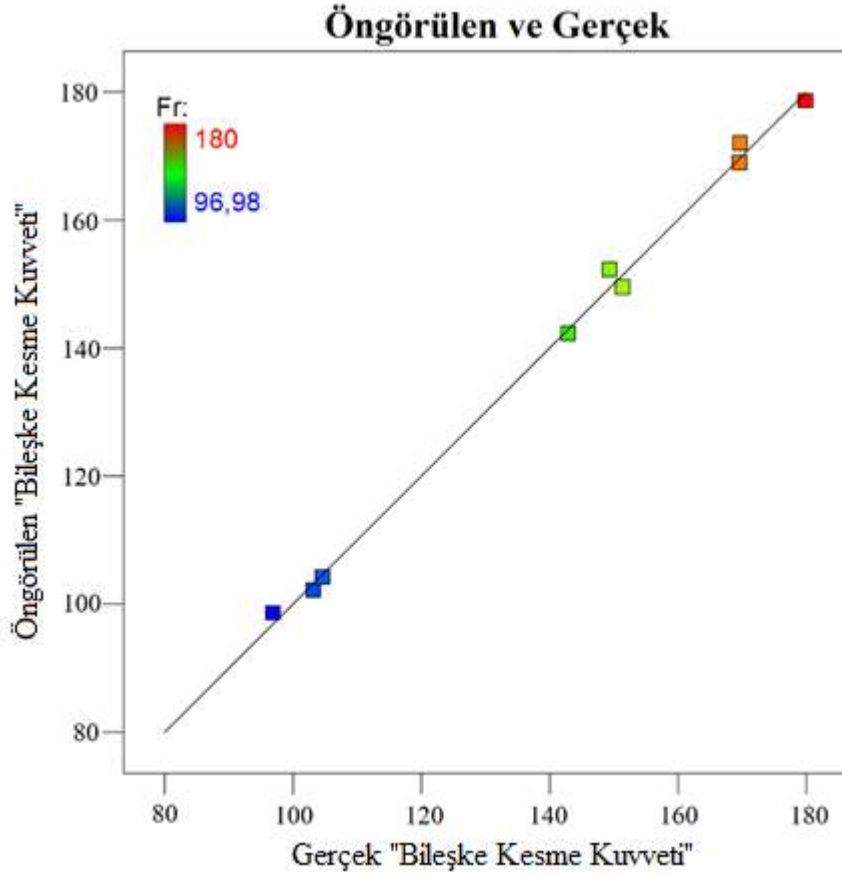
Tablo 4.4: Elde edilen kesme kuvveti için varyans tablosunun analizi [Kısmi kare toplamı - Tip III]

Kaynak	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F Değer	p-değer Prob > F	
Model	8017,52	6	1,34E+03	110,77	0,009	Önemli
A-Kesme Hızı	1,90E-02	1	1,90E-02	1,55E-03	0,9722	
B-İlerleme Oranı	4,49E+03	1	4,49E+03	372,16	0,0027	Önemli
C-MQL Akış hızı	2,56E+01	1	2,56E+01	2,13	0,2822	
AB	2,92E+01	1	2,92E+01	2,42	0,2599	
AC	3,41E+01	1	3,41E+01	2,83	0,2347	
B ²	2,53E+02	1	2,53E+02	20,97	0,0445	Önemli
Kalan	2,41E+01	2	1,21E+01			
Cor Total	8041,64	8				
Std. Dev.	3,47	R-kare	0,9970			
Ana	1,41E+02	Adj R-kare	0,9880			
C.V. %	2,46	Pred R-kare	0,8844			

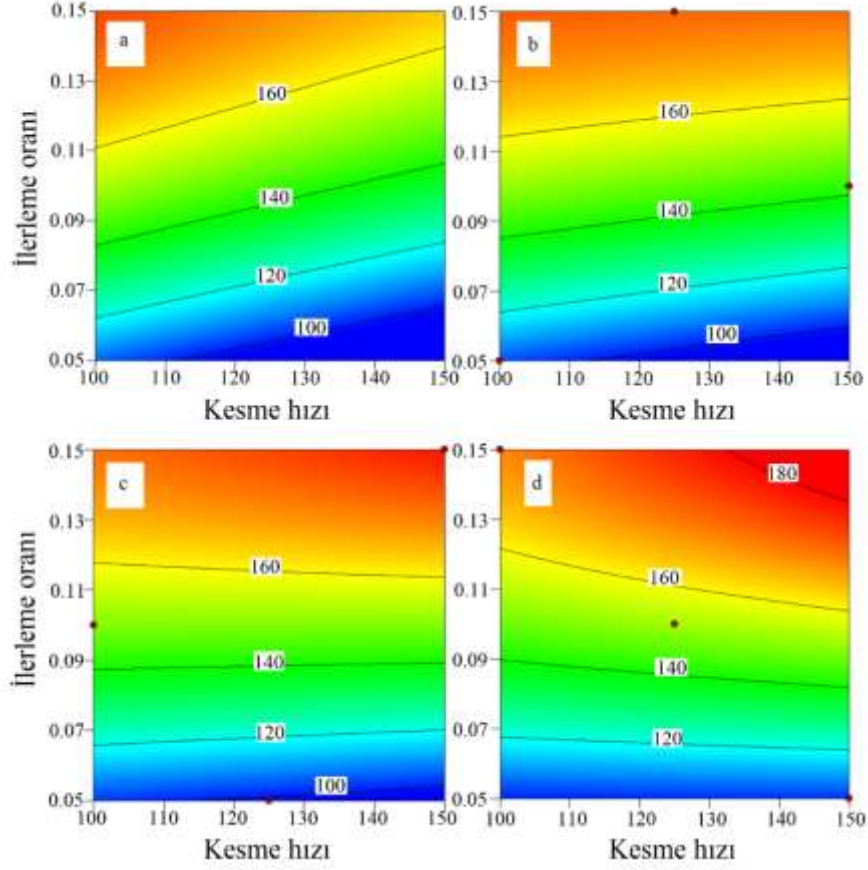
ANOVA'dan elde edilen yüzey sonucu kesme kuvveti değerleri için gerçek faktörler açısından cevap yüzey denklemleri şöyle verilmiştir:

$$F_r = +100,479 - 0,672xV_c + 1409,905x_fz - 0,406xQ + 3,058xV_cx_fz + 3,693E-003xV_cxQ - 5153,375*f_z^2$$

Şekil 4.31, deneylerle hesaplanan elde edilen kesme kuvveti değerlerinin ve model ile elde edilen sonuçların karşılaştırmasını gösterir. Buna göre, elde edilen modelin sonuçlarının ve gerçek sonuçların çoğunlukla birbirine yakın olduğu görülmektedir. Elde edilen model ile hesaplanan değerlerin gerçek değerlerle karşılaştırılması sonucunda, ilk test parametresi neticesinde elde edilen kesme kuvveti sonucu %0,45 ile en düşük hata yüzdesi, en yüksek hata yüzdesi % 1,88 ile sonuçlanan kesme kuvveti sonucu 5. test parametresi ile elde edildi.

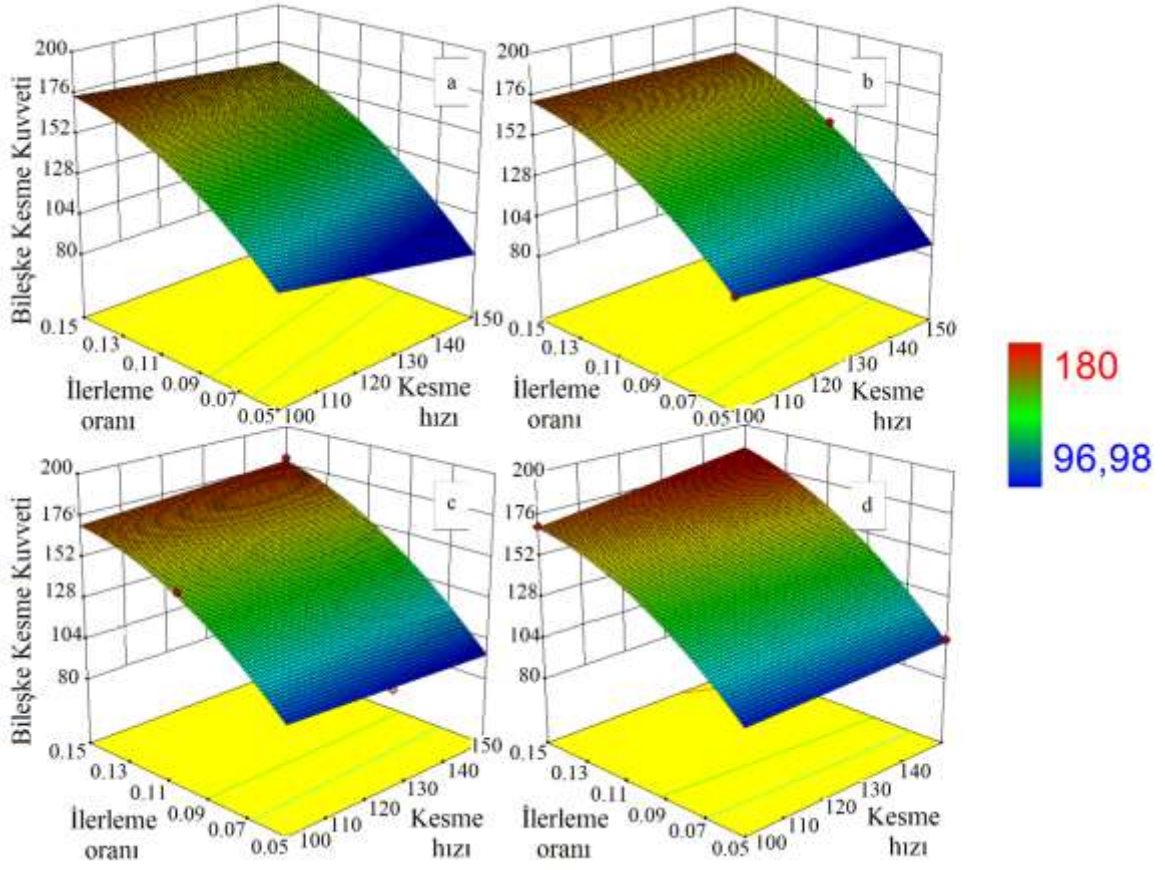


Şekil 4.31: Deneylerle elde edilen elde edilen kesme kuvveti değerlerinin ve model ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması



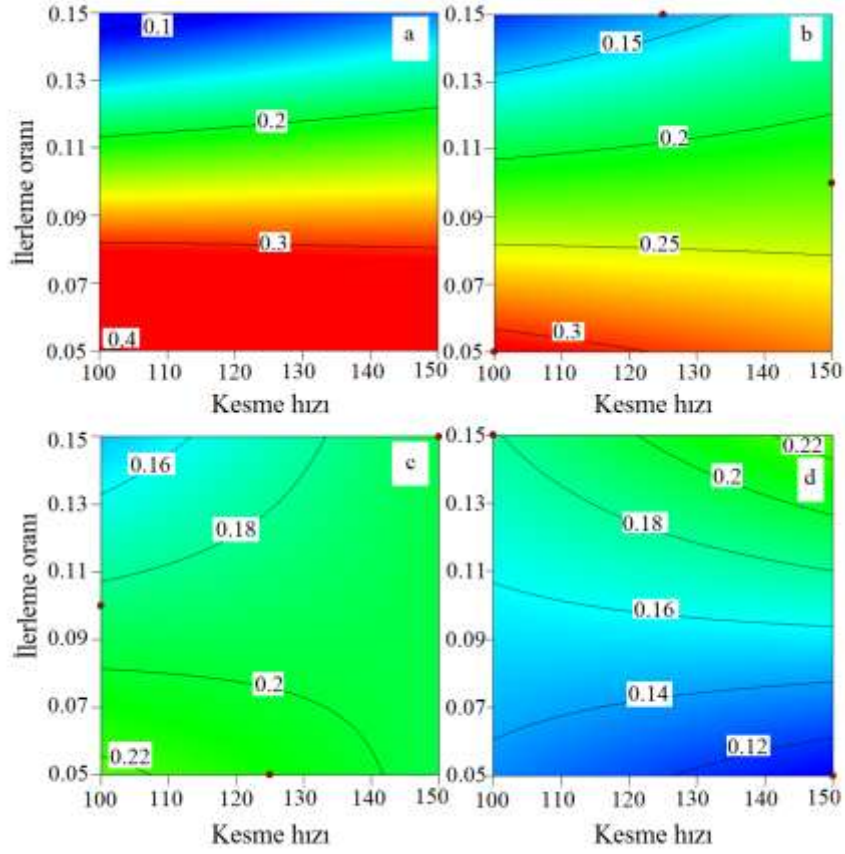
Şekil 4.32: Farklı minimum miktarda yağlama akış hızlarında, ilerleme oranı ve kesme hızının kesme kuvveti değerleri üzerindeki etkisi

Şekil 4.32’de kuru kesme koşullarına (Şekil 4.32-a) ve minimum miktarda yağlama akış hızlarına 50 ml/saat (Şekil 4.32-b), 100 ml/saat (Şekil 4.32-c), 150 ml/saat (Şekil 4.32-d) göre ilerleme oranı ve kesme hızının kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi oluşturulan model ile elde edilmiştir. Elde edilen grafiklere göre, kesme kuvvetleri kuru koşullarda artan kesme hızına ve ilerleme oranına göre artmıştır (Şekil.4.32-a) ve elde edilen en düşük kesme kuvveti değeri yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme oranı ile elde edilmiştir. Kuru duruma benzer şekilde, 50 ml/saat akış hızında (Şekil 4.32-b), ilerleme oranı ve kesme hızının artması nedeniyle ortaya çıkan kesme kuvvetinde bir artış göstermiştir. 100 ml/saat yağlama debisinde (Şekil 4.32-c), ilerleme oranının elde edilen kesme kuvveti değeri üzerinde daha etkili olduğu ve kesme kuvvetini artan kesme hızı ile artırdığı tespit edilmiştir. Minimum miktarda yağlama yönteminin 150 ml/saat akış oranlı (4.32-d) testlerinde, önceki koşullardan farklı olarak, kesme kuvvetleri artan kesme hızı ile azalmıştır. Ayrıca, en yüksek kesme kuvveti değerleri bu minimum miktarda yağlama akış hızı değeri ile hesaplanmıştır.



Şekil 4.33: Farklı minimum miktarda yağlama akış hızları için, ilerleme oranı ve kesme hızının kesme kuvveti değerleri üzerindeki etkisinin 3D grafiği

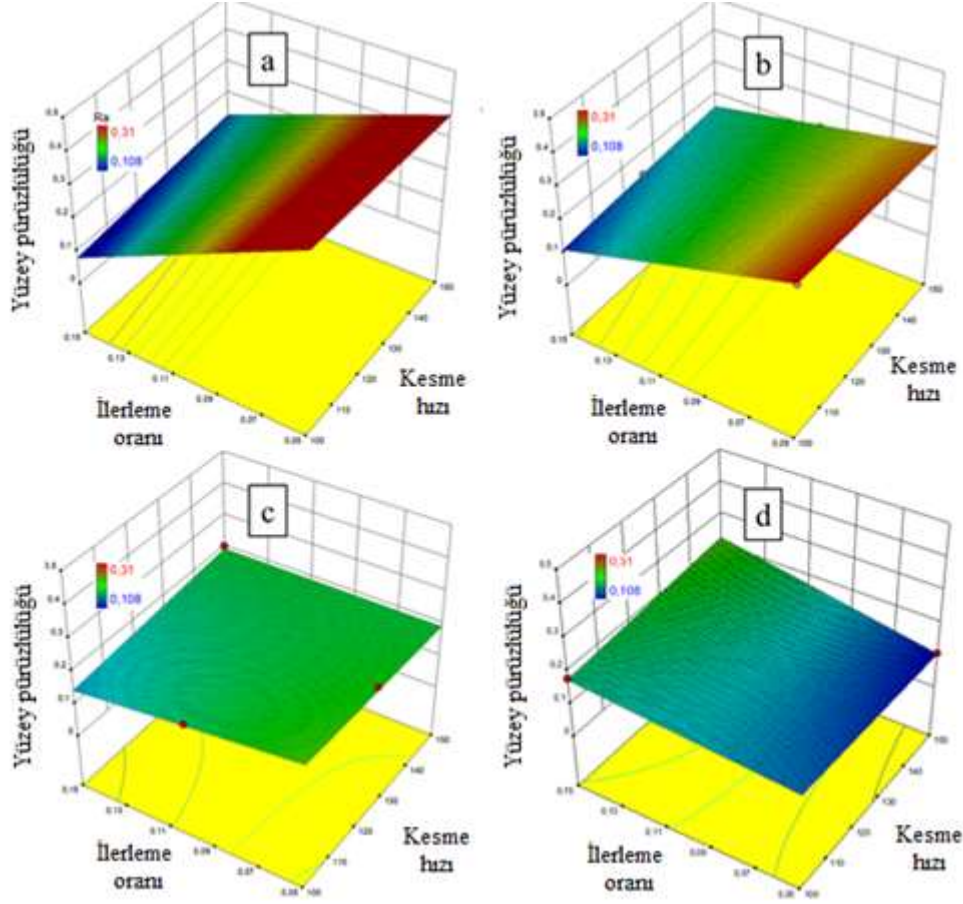
Şekil 4.33, kuru kesme koşulu (Şekil 4.33-a) ve 50 ml/saat (Şekil 4.33-b), 100 ml/saat (Şekil 4.33-c), 150 ml/saat (Şekil.4.33-d) akış hızlarına göre kesme kuvveti üzerindeki, ilerleme ve kesme hızının etkisi için tasarlanan model ile elde edilen 3D yüzey grafikleri gösterilmektedir. Minimum miktarda yağlama akış hızı, düşük ilerleme oranında ve kesme hızı değerindeki kesme kuvveti değerlerinde pozitif bir etkisi vardır.



Şekil 4.34: Farklı MQL akış hızı koşulları için ilerleme oranı ve kesme hızının yüzey pürüzlülük değerleri üzerindeki etkisi

Şekil 4.34’de kuru kesme koşullarına (Şekil 4.34-a) ve minimum miktarda yağlama akış hızlarına 50 ml/saat (Şekil 4.34-b), 100 ml/saat (Şekil 4.34-c), 150 ml/saat (Şekil 4.34-d) göre ilerleme oranı ve kesme hızının yüzey pürüzlülük değerleri üzerindeki etkisi oluşturulan model gösterilmiştir. Kuru koşullarda (Şekil 4.34-a), artan kesme hızının yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde çok az etkisinin olduğu görülmektedir. Yüksek ilerleme oranlarında, kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğü değerleri artar. Ayrıca, kuru koşullarda elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri, artan ilerleme oranı ile azalır. 50 ml/saat akış hızı için düşük kesme hızı ve düşük ilerleme oranında yüksek yüzey pürüzlülük değerleri (Şekil 4.34-b) görülmüştür. En düşük yüzey pürüzlülük değeri yüksek ilerleme oranı ve düşük kesme hızı değerlerinde elde edilmiştir. 100 ml/saat akış hızında (Şekil 4.34-c), yüzey pürüzlülük değeri artan kesme hızı ile artarken artan ilerleme oranı ile azaldı. 150 ml/saat (Şekil 4.34-d) minimum miktarda yağlama akış hızı durumunda yüzey pürüzlülük değeri düşük ilerleme oranı değerinde artan ilerleme oranı ile azalmıştır. Buna karşılık yüzey pürüzlülük değeri yüksek ilerleme oranı değerlerinde artan kesme hızı ile artmıştır.

Yüzey pürüzlülük değerleri, tüm frezeleme koşullarında artan minimum miktarda yağlama akış hızı değeriyle azaldı. Bu sonucun, minimum miktarda yağlama sisteminde kullanılan bitkisel yağın yağlama etkisinden dolayı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.35: Farklı MQL akış hızı değerleri için yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde ilerleme oranı ve kesme hızının etkisinin 3D yüzey grafikleri ile gösterilmesi

Şekil 4.35, kuru kesme koşulu (Şekil 4.33-a) ve 50 ml/saat (Şekil 4.33-b), 100 ml/saat (Şekil.4.33-c), 150 ml/saat (Şekil 4.33-d) minimum miktarda yağlama akış hızlarına göre yüzey pürüzlülük değerleri üzerindeki ilerleme ve kesme hızının etkisi için tasarlanan model ile elde edilen 3D yüzey grafikleri gösterilmektedir. Bu grafiklere göre, işlenmiş iş parçası yüzeyinden ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri artan akış hızı ile azaldığı görülmüştür ve en iyi frezelenmiş iş parçası yüzey kalitesi 150 ml/saat akış hızında ve 150 m/dak kesme hızında ulaşılmıştır.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında imalat endüstrisinde sıklıkla kullanılan AISI O2 takım çeliğinin sinterlenmiş karbür kesici takımlar ile frezelenmesi işleminde minimum miktarda yağlama etkisinin kesici takımlar ve iş parçası üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kesici takımın işleme performansı, aşınma tipleri ve takım ömürleri incelenmiştir. Yapılan bu çalışmada Taguchi yönteminin L9 ortogonal matrisli deney tasarımı kullanılmış ve optimum girdi parametreleri belirlenmiştir. Minimum miktarda yağlama miktarları ve akış debisi belirlenmiş olup girdi parametrelerine dâhil edilmiştir. Her bir talaş kaldırma işleminden sonra işlenen yüzey üzerinde biriken yağ ve talaştan temizlenmiş, kesici takım üzerindeki aşınma miktarını net olarak görebilmek için gerekli temizlikler yapılmıştır. Kesici takım ömrü 0,25 mm aşınma miktarı olarak belirlenmiştir ve her talaş kaldırma işleminden sonra ölçülüp kaydedilmiştir. İşlenen parçanın yüzey pürüzlülüğü her bir talaş kaldırma işlemi sonrasında 7 farklı noktadan ölçülerek ortalama ve minimum değerler hesaplanmıştır. Her bir işlem 150 mm genişliğe sahip iş parçası üzerinde yapılmıştır. Talaş kaldırma esnasında iş parçasının da bağlı olduğu doğrusal hareket edebilen tablaya bağlanmış dinamometre ile işleme esnasında meydana gelen kuvvetler ölçülmüş ve bilgisayar ortamında kaydedilmiştir.

AISI O2 takım çeliğinin işlenmesinde kesici takım ömürleri dikkate alındığında 100 m/dak kesme hızı için en iyi sonuç 7,5 m ile 0,1 mm/diş ilerleme oranı ve 100 ml/saat yağlama miktarlarında elde edilmiştir. Aynı parametreler kuru koşullarda kesme yöntemiyle uygulandığında elde edilen takım ömrü 3,15 m olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar minimum miktarda yağlama etkisinin olumlu etkisini göstermektedir. Minimum miktarda yağlama etkisiyle 100 m/dak kesme hızı ve tüm ilerleme oranlarında elde edilen takım ömürleri kuru koşullarda kesme yönteminden daha yüksek olduğu görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü bakımından 100 m/dak kesme hızı için en düşük değer $R_a = 0,182 \mu\text{m}$ ile 0,15 mm/diş ilerleme oranı ve 150 ml/saat yağlama miktarlarında elde edilmiştir. Aynı parametrelerde kuru koşullarda kesme yöntemiyle elde edilen yüzey pürüzlülük değeri $R_a = 0,23 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. 100 m/dak kesme hızı için takım ömrüncede elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri dikkate alındığında en iyi sonuç $R_a = 0,403 \mu\text{m}$ ile 0,15 mm/diş ilerleme oranı ve 150 ml/saat yağlama miktarı ile elde edilmiştir. Aynı parametrelerde kuru koşullarda kesme işlemi sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü $R_a = 0,805 \mu\text{m}$

olarak ölçülmüş ve minimum miktarda yağlama yönteminin yüzey pürüzlülüklerine olumlu etkisi görülmüştür. Talaş kaldırma esnasında elde edilen bileşke kesme kuvvetleri 100 m/dak kesme hızı için en düşük bileşke kesme kuvveti değeri $F_R= 102,444$ N ile 0,05 mm/diş ilerleme oranı ve 50 ml/saat yağlama miktarlarında elde edilmiştir. Aşınan kesici takımların bileşke kesme kuvvetleri dikkate alındığında en iyi sonuç 100 m/dak kesme hızı için $F_R= 123,223$ N ile 0,05 mm/diş ilerleme oranı ve 50 ml/saat yağlama miktarlarında elde edilmiştir. Aynı parametreler kuru kesme koşullarına uygulandığında elde edilen bileşke kesme kuvveti $F_R= 169,935$ N olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar ile elde edilen %27,48'lik azalma minimum miktarda yağlamanın kesme kuvvetleri üzerinde olumlu etkisi olduğunu göstermiştir.

AISI O2 takım çeliğinin işlenmesinde kesici takım ömürleri dikkate alındığında 125 m/dak kesme hızı için en iyi sonuç 9,15 m ile 0,15 mm/diş ilerleme oranı ve 50 ml/saat yağlama miktarlarında elde edilmiştir. Aynı parametreler kuru koşullarda kesme yöntemiyle uygulandığında elde edilen takım ömrü 5,55 m olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar minimum miktarda yağlama etkisinin olumlu etkisini göstermektedir. Minimum miktarda yağlama etkisiyle 125 m/dak kesme hızı ve tüm ilerleme oranlarında elde edilen takım ömürleri kuru koşullarda kesme yönteminden daha yüksek olduğu görülmüştür. Yüzey pürüzlüğü bakımından 125 m/dak kesme hızı için en düşük değer $R_a=0,146$ μ m ile 0,1 mm/diş ilerleme oranı ve 150 ml/saat yağlama miktarlarında elde edilmiştir. Aynı parametrelerde kuru koşullarda kesme yöntemiyle elde edilen yüzey pürüzlülük değeri $R_a= 0,236$ μ m olarak ölçülmüştür. 125 m/dak kesme hızı için takım ömrüncü elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri dikkate alındığında en iyi sonuç $R_a= 0,365$ μ m ile 0,1 mm/diş ilerleme oranı ve 150 ml/saat yağlama miktarı ile elde edilmiştir. Aynı parametrelerde kuru koşullarda kesme işlemi sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü $R_a= 0,514$ μ m olarak ölçülmüş ve minimum miktarda yağlama yönteminin yüzey pürüzlülüklerine olumlu etkisi görülmüştür. Talaş kaldırma esnasında elde edilen bileşke kesme kuvvetleri 125 m/dak kesme hızı için en düşük bileşke kesme kuvveti değeri $F_R=96,98$ N ile 0,05 mm/diş ilerleme oranı ve 100 ml/saat yağlama miktarlarında elde edilmiştir. Aşınan kesici takımların bileşke kesme kuvvetleri dikkate alındığında en iyi sonuç 125 m/dak kesme hızı için $F_R= 108,246$ N ile 0,05 mm/diş ilerleme oranı ve 100 ml/saat yağlama miktarlarında elde edilmiştir. Aynı parametreler kuru kesme koşullarına uygulandığında elde edilen bileşke kesme kuvveti $F_R= 131,006$ N olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar ile elde edilen %17,37'lik azalma minimum miktarda yağlamanın kesme kuvvetleri üzerinde olumlu etkisi olduğunu göstermiştir.

AISI O2 takım çeliğinin işlenmesinde kesici takım ömürleri dikkate alındığında 150 m/dak kesme hızı için en iyi sonuç 7,35 m ile 0,15 mm/diş ilerleme oranı ve kuru kesme koşulları altında elde edilmiştir. Aynı parametreler 100 ml/saat minimum miktarda yağlama ile uygulandığında takım ömrü 6,75 olarak ölçülmüştür. 150 m/dak kesme hızı ve 0,15 mm/diş ilerleme oranında minimum miktarda yağlama etkisi gözlenmemiştir. Diğer ilerleme oranları olan 0,05 mm/diş ve 0,1 mm/diş ilerleme oranlarında minimum miktarda yağlama etkisi ile takım ömürlerinde bir miktar artış gözlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü bakımından 150 m/dak kesme hızı için en düşük değer $R_a = 0,108 \mu\text{m}$ ile 0,05 mm/diş ilerleme oranı ve 150 ml/saat yağlama miktarlarında elde edilmiştir. 150 m/dak kesme hızı için takım ömründe elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri dikkate alındığında en iyi sonuç $R_a = 0,437 \mu\text{m}$ ile 0,15 mm/diş ilerleme oranı ve 100 ml/saat yağlama miktarı ile elde edilmiştir. Aynı parametrelerde kuru koşullarda kesme işlemi sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü $R_a = 0,855 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüş ve minimum miktarda yağlama yönteminin yüzey pürüzlülüklerine olumlu etkisi görülmüştür. Talaş kaldırma esnasında elde edilen bileşke kesme kuvvetleri 150 m/dak kesme hızı için en düşük bileşke kesme kuvveti değeri $F_R = 102,444 \text{ N}$ ile 0,05 mm/diş ilerleme oranı ve 150 ml/saat yağlama miktarlarında elde edilmiştir. Aşırı kesici takımların bileşke kesme kuvvetleri dikkate alındığında 150 m/dak kesme hızı için $F_R = 109,48 \text{ N}$ ile 0,05 mm/diş ilerleme oranı ve 150 ml/saat yağlama miktarlarında elde edilmiştir. Aynı parametreler kuru kesme koşullarına uygulandığında elde edilen bileşke kesme kuvveti $F_R = 153,101 \text{ N}$ olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar ile elde edilen %28,49'luk azalma minimum miktarda yağlamanın kesme kuvvetleri üzerinde olumlu etkisi olduğunu göstermiştir.

Öneriler:

1. Minimum miktarda yağlama yönteminde farklı sıvılar kullanılarak aynı malzeme işlenebilir.
2. Minimum miktarda yağlama yöntemi farklı imalat işlemlerinde de kullanılabilir.
3. Minimum miktarda yağlama yönteminin farklı kesici takımlar üzerindeki etkisi incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Adalı, Y. Kurnaz, C. (2003). "5140 Çeliğinin Küreselleştirme Isıl İşlemi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi." *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* Cilt 7 Sayı 1, 251–58.
- Altaş, Emre. (2015). "Nanotabakalı AlTiN/TiN Kaplamalı Karbür Kesici Takımların Ti6Al4V Alaşımının Frezelenmesinde Kesme Performanslarının ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın, 115p.
- Arık, İ. (2010). "Farklı Adımlı Kesici Ağızlarına Sahip Freze Çakılarının Tırlama Titreşimleri Üzerine Etkileri" Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 210p.
- Asi, O. Can, A. Ç. (2001). "Sementasyon Çeliklerinde Körsertleştirilmiş ve Sementasyon Yapılmış Durumlarda Meydana Gelen Artık Gerilmelerin Karşılaştırılması." *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 183–87.
- Ay, E. (2013). "Farklı Seramik Kesici Takımlar İçin Takım Ömrü Modellerinde Üstel Değerlerin Deneysel Olarak Belirlenmesi." Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 69p.
- Banerjee, M.K. (2018). "Physical Metallurgy of Tool Steels." *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*.
- Basmacı, G. (2018). "Optimisation and Influence of Cutting Parameters on Surface Roughness during Turning of Astm b574 (Hastelloy c-22) Using a Hybrid of Taguchi and Rsm Methods." *Sakarya University Journal of Science* 22 (2): 761–71.
- Bollig, P., Faltin, C., Schiebl, R., Schneider, J., Maas, U. and Schulze, V. (2015). "Considering the Influence of Minimum Quantity Lubrication for Modelling Changes in Temperature, Forces and Phase Transformations during Machining." *Procedia CIRP* 31: 142–47.
- Boyer, H. (1981). *Fundamentals of Ferrous Metallurgy. Materials Engineering Institute. ASM International. Materials Park, OH.*
- Carvill, J. (1993). *Mechanical Engineer's Data Handbook. Butterworth-Heinemann, 354p, England.*
- Chinchanikar, Satish, and Choudhury, S.K. (2014). "Hard Turning Using HiPIMS-Coated Carbide Tools: Wear Behavior under Dry and Minimum Quantity Lubrication (MQL)." *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation* 55: 536–48.
- Çalışkan, Halil, Bilal Kurşuncu, and Sevki Yılmaz Guven. (2016). "Effect of Boron Nitride Coating on Wear Behavior of Carbide Cutting Tools in Milling of Inconel 718

- Halil.” *Machining, Joining and Modifications of Advanced Materials* 61. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-1082-8>.
- Çalışkan, Halil, Cahit Kurbanoglu, Peter Panjan, Miha Čekada, and Davorin Kramar. (2013). “Wear Behavior and Cutting Performance of Nanostructured Hard Coatings on Cemented Carbide Cutting Tools in Hard Milling.” *Tribology International* 62: 215–22. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2013.02.035>.
- Çalışkan, Halil, Celil Cagatay Celil, and Peter Panjan. (2016). “Effect of Multilayer Nanocomposite TiAlSiN/TiSiN/TiAlN Coating on Wear Behavior of Carbide Tools in the Milling of Hardened AISI D2 Steel.” *Journal of Nano Research* 38: 9–17. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/jnanor.38.9>.
- Das, Rabin Kumar, Sahoo, A.K., Mishra, P.C., Kumar, R. and Panda, A. 2018. “Comparative Machinability Performance of Heat Treated 4340 Steel under Dry and Minimum Quantity Lubrication Surroundings.” *Procedia Manufacturing* 20: 377–85.
- Davim, J. Paulo. 2011. *Machining of Hard Materials*. Springer, 225p, Aveiro, Portugal.
- Dhar, N. Ahmed M.T. Islam S. (2007). An experiment investigation on effect of minimum quantity lubrication in machining AISI 1040 steel. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. 47 : 748-753
- Dhar, R.N., Islam, S., Kamruzzaman, M. (2007), Effect of Minimum Quantity Lubrication (MQL) on Tool Wear, Surface Roughness and Dimensional Deviation in Turning AISI-4340 Steel. *Gazi University Journal of Science*, 20/2: 23–32.
- Döbbeler, B., Klocke, F. and Lung, D. (2015). “Methodology of Process Oriented Dimensioning of Cooling Lubricant Pressure and Volume Flow for Increasing Energy Efficiency.” *Procedia CIRP* 29: 347–53.
- Dudzinski, D. (2004). A review of developments towards dry and high speed machining of Inconel 718 alloy. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 44, 439-456.
- Eker, B, Ekici, B., Kurt, M. and Bakır, B. (2014). “Sustainable Machining of the Magnesium Alloy Materials in the CNC Lathe Machine and Optimization of the Cutting Conditions.” *Mechanika* 20 (3): 310–16. <https://doi.org/10.5755/j01.mech.20.3.4702>.
- Elmunafi, M.H.S., Kurniawan, D. And Noordin, M.Y. (2015). “Tool Life of Coated Carbide Cutting Tool When Turning Hardened Stainless Steel under Minimum Quantity Lubricant Using Castor Oil.” *Procedia Manufacturing* 2 (February): 563–67.
- Elmunafi, M.H.S., Kurniawan, D. And Noordin, M.Y. (2015). “Use of Castor Oil as Cutting Fluid in Machining of Hardened Stainless Steel with Minimum Quantity of Lubricant.” *Procedia CIRP* 26: 408–11.
- Engin, Ş. (1999). “Mechanics And Dynamics of Milling With Generalized Geometry” Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 206p, İstanbul.

- Gajrani, K.K., and Sankar, M.R. (2017). "Past and Current Status of Eco-Friendly Vegetable Oil Based Metal Cutting Fluids." *Materials Today: Proceedings* 4 (2): 3786–95.
- Ghafarzadeh, M., Abedini, R. And Rajabi, R. (2017). "Optimization of Ultrasonic Waves Application in Municipal Wastewater Sludge Treatment Using Response Surface Method." *Journal of Cleaner Production* 150: 361–70.
- Groover, Mikell P. (2010). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*. John Wiley & Sons.
- Groover, Mikell P. (2012). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*. John Wiley & Sons.
- Gunjal, Shrikant U., and Nilesh G. Patil. (2018). "Experimental Investigations into Turning of Hardened AISI 4340 Steel Using Vegetable Based Cutting Fluids under Minimum Quantity Lubrication." *Procedia Manufacturing* 20: 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.003>.
- Hadad, M., and Sadeghi, B. (2013). "Minimum Quantity Lubrication-MQL Turning of AISI 4140 Steel Alloy." *Journal of Cleaner Production* 54: 332–43.
- Hamamcı, M. (2012). "Yüksek Hızlı İşlemede Kesme Parametrelerinin Yüzey Kalitesi Açısından Optimizasyonu" Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri. 140p.
- Isik, Y. (2007). "Investigating the Machinability of Tool Steels in Turning Operations." *Materials and Design* 28 (5): 1417–24. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2006.03.025>.
- Kalpakistan, S. (1985). "Manufacturing Processes for Engineering Materials." *International Journal of Machine Tool Design and Research* 25 (1): 99–100.
- Karabatak, M., and Kara, F. (2016). "AISI D2 Soğuk İş Takım Çeliğinin Sert Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğünün Deneysel Optimizasyonu." *Politeknik Dergisi* 19 (3): 349–55.
- Kaya, B. (2009). "Sensör ve Karar Entegrasyonu İle Frezeleme İşlemleri İçin Çevrimiçi Bir Durum Gözlem Sisteminin Geliştirilmesi" Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. Kocaeli. 146p.
- Kedare, S.B., D.R. Borse, and P.T. Shahane. (2014). "Effect of Minimum Quantity Lubrication (MQL) on Surface Roughness of Mild Steel of 15HRC on Universal Milling Machine." *Procedia Materials Science* 6 (Icmpe): 150–53. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.018>.
- Khan, A. and 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: 650–61.

- Khan, M. M. A., and N. R. Dhar. (2006). "Performance Evaluation of Minimum Quantity Lubrication by Vegetable Oil in Terms of Cutting Force, Cutting Zone Temperature, Tool Wear, Job Dimension and Surface Finish in Turning AISI-1060 Steel." *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A* 7 (11): 1790–99.
- Khruschov, M. M. (1974). "Principles of Abrasive Wear." *Wear* 28 (1): 69–88.
- Kishawy, H.A., Dumitrescu, M., Ng, E.G., Elbestawi, M.A. (2005). Effect of coolant strategy on tool performance, chip morphology and surface quality during high-speed machining of A356 aluminium alloy. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 45,219-227.
- Klocke, F. (2011). *Manufacturing Processes 1*. Springer. 524p. Korea.
- Kovach, C.W. (1975). *Sulfide Inclusions in Steel*. American Society for Metals. 459p. Cleveland, OH.
- Krauss, G. (1990). *Steels Heat Treatment and Processing Principles*. ASM International.
- Kurşuncu, B. (2016). "Inconel 718 Süperalaşımının Frezelenmesinde Kriyojenik Isıl İşlem Görmüş Farklı İnce Film Kaplamalı Karbür Kesici Takımların Kesme Performansının Araştırılması." Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Kurşuncu, B., Halil Caliskan, Sevki Yılmaz Guven, and Peter Panjan. (2017). "Wear Behavior of Multilayer Nanocomposite TiAlSiN/TiSiN/TiAlN Coated Carbide Cutting Tool during Face Milling of Inconel 718 Superalloy." *Journal of Nano Research* 47: 11–16. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/jnanor.47.11>.
- Kurşuncu, B., and A Yaraş. (2017). "AISI O2 Çeliğinin Frezelenmesinde Minimum Miktarda Yağlama (MQL) Sisteminin Kesme Performansına Etkisi." *Bartın Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi* Cilt 5 Sayı 2 (2017), 125-128.
- Liao, Y. S., H. M. Lin, and Y. C. Chen. (2007). "Feasibility Study of the Minimum Quantity Lubrication in High-Speed End Milling of NAK80 Hardened Steel by Coated Carbide Tool." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 47 (11): 1667–76.
- Liu, Z., An, Q., Xu, J., Chen, M. and 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 (1–2): 249–59.
- Lugscheider, Knotek, O., Barimani, C., Leyendecker, T., Lemmer, O., Wenke, R. (1997). Investigations on hard coated reamers in different lubricant free cutting operations. *Surface Coating Technology*. 90:172–17

- Mamaghani, S.A. (2016). “Frezeleme İşleminde Eş Yönlü ve Zıt Yönlü Talaş Kaldırmanın PVD Kaplanmış Sert Metal Uçlardaki Aşınma Türüne Etkisinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara. 169p.
- Meena, A., and Mansori. M.E. (2011). “Study of Dry and Minimum Quantity Lubrication Drilling of Novel Austempered Ductile Iron (ADI) for Automotive Applications.” *Wear* 271 (9–10): 2412–16.
- Merchant, M. E. (1945). Mechanics of the metal cutting process. I. Orthogonal cutting and type 2 chip. *Journal of applied physics*, 16, 267-275.
- Mesquita, R. A., Barbosa, C.A. and Machado, A.R. (2016). Heat Treatment of Tool Steels. *Comprehensive Materials Finishing*. Vol. 2–3. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.09191-8>.
- Naresh Babu, M., V. Anandan, N. Muthukrishnan, and Santhanakumar, M. (2019). “End Milling of AISI 304 Steel Using Minimum Quantity Lubrication.” *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation* 138: 681–89. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.01.064>.
- Özdemir, U., Erten, M. (2003). “Talaşlı İmalat Sırasında Kesici Takımda Meydana Gelen Hasar Mekanizmaları ve Takım Hasarını Azaltma Yöntemleri” *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi Ocak 2003 Cilt 1 Sayı 1* (37-50).
- Park, Kyung Hee, Gi Dong Yang, and Dong Yoon Lee. (2015). “Tool Wear Analysis on Coated and Uncoated Carbide Tools in Inconel Machining.” *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing* 16 (7): 1639–45. <https://doi.org/10.1007/s12541-015-0215-x>.
- Rabiei, F., A. R. Rahimi, M. J. Hadad, and M. Ashrafiyou. (2015). “Performance Improvement of Minimum Quantity Lubrication (MQL) Technique in Surface Grinding by Modeling and Optimization.” *Journal of Cleaner Production* 86: 447–60. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.045>.
- Rahim, E. A., Ibrahim, M.R., Rahim, A.A., Aziz, S and Mohid, Z. (2015). “Experimental Investigation of Minimum Quantity Lubrication (MQL) as a Sustainable Cooling Technique.” *Procedia CIRP* 26: 351–54.
- Ross, R.B. (1992). *Metallic Materials Specification Handbook*. Chapman & Hall. London.
- Sharma, A. K., Tiwari, A.K., Singh, R.K. and Dixit, A.R. (2016). “Tribological Investigation of TiO₂ Nanoparticle Based Cutting Fluid in Machining under Minimum Quantity Lubrication (MQL).” *Materials Today: Proceedings* 3 (6): 2155–62.
- Shaw, M.C (2005). *Metal Cutting Principles* (Second Edition). Analysis. Vol. 7. Oxford University Press, 759p, USA.
- Sinha, A.K. (1989). *Ferrous Physical Metallurgy*, Butterworths, London.

- Sönmez, N. (1983). “Otomat Çeliklerinde Sülfidik Kalıntıların İşlevsel Özelliklerinin İncelenmesi Yerli - Yabancı Ürünlerde Karşılaştırma ve İrdemeler.” Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İstanbul, 139p.
- Stachowiak, G., and W. Batchelor. (2001). *Engineering Tribology. Butterworth-Heinemann.* 769p. USA.
- Stachowiak, G., and W. Batchelor. (2005). *Engineering Tribology. Butterworth-Heinemann.* 832p. USA.
- Şah, A. (2018). “Frezeleme İşleminde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne ve Kesme Enerjisine Etkisinin Taguchi Metodu İle Optimizasyonu” Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, 53p.
- Şirin, E. (2010). “AISI D2 Soğuk İş Takım Çeliğinin Frezede İşlenebilirliğinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 92p.
- Taylan, F. (2009). “Sert Malzemelerin Frezelenmesinde Takım Aşınma Davranışlarının Belirlenmesi.” Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, 240p.
- Thamizhmanii, S. H. (2009). A study of minimum quantity lubrication on Inconel 718. *Archives of Materials Science Engineering* 2009;39:38–44.
- Tosun, E. (2006). “Frezeleme İşlemlerinde Genetik Algoritma Yaklaşımı İle Kesme Koşullarının Optimizasyonu” Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 104p.
- Totten, G.E. (2006). *Steel Heat Treatment Handbook. 2nded. Marcel Dekker (CRC).*
- Tuholski, R.J., (1993). Don't forget the cutting fluid. *Journal of Industrial Technology.* 2-5.
- Ucun, İ., Aslantas, K. and Bedir, F. (2013). “An Experimental Investigation of the Effect of Coating Material on Tool Wear in Micro Milling of Inconel 718 Super Alloy.” *Wear* 300 (1–2): 8–19.
- Upadhyay, V. Jain, P. K. Mehta, N. K. (2012). Minimum Quantity Lubrication Assisted Turning- An Overview. *DAAM international scientific book.* 39:463-478
- URL-1 (2019). <http://www.dizdarmetal.com/sementasyon-celikleri/> (04.05.2019).
- URL-2 (2019). <http://www.metalurjiakdag.com.tr/dosya/seminer-notlari-2013.pdf> (04.05.2019).
- URL-3 (2019). https://www.mib.org.tr/uploads/bb2_j03TptWY9K0xvTmufHdojBnUCGQNHrAj.pdf (05.05.2019).
- URL-4 (2019). <http://www.alper.com.tr/hizmetler/isil-islem/nitrasyon.html> (07.05.2019)
- URL-5 (2019). http://www.yilmazlardemir.com/celik_hakkinda_bilgiler.asp (10.05.2019)

- URL-6 (2019). <http://www.hascometal.com/teknik-bilgiler.aspx?ID=75> (10.05.2019)
- URL-7 (2019). https://www.asminternational.org/documents/10192/3473958/05231_G_Sample.pdf/7c5e4830-b443-4c71-a8c8-1a85c5b39dc5 (10.05.2019)
- URL-8 (2019). <http://www.celtascalik.com/paslanmaz.html> (12.05.2019)
- URL-9 (2019). <http://www.anilpaslanmaz.com> (13.05.2019)
- URL-10 (2019). <https://masteel.co.uk/news/what-is-duplex-and-super-duplex-stainless-steel/> (13.05.2019)
- URL-11 (2019). <http://ugurpaslanmaz.com.tr/paslanmaz-celik-nedir.asp> (14.05.2019)
- URL-12 (2019). <https://www.somcelik.com.tr/paslanmaz-celik-kullanım- Alanları.html> (22.05.2019)
- URL-13 (2019). <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8688:-1:ed-1:v1:en> (02.06.2019)
- URL-14 (2019). <https://www.youtube.com/watch?v=VdNhREmkrmE> 1-şekil (02.06.2019)
- URL-15 (2019). <http://www6.cityu.edu.hk/appkchu/AP5301/Lecture-4%20SEM.ppt> (03.06.2019)
- URL-16 (2019). http://www.polymer.hacettepe.edu.tr/webim/msen/undergraduate/NT602/SEM_TEM.ppt (05.06.2019)
- URL-17 (2019). <https://myscope.training/legacy/analysis/eds/#term> (07.06.2019)
- URL-18 (2019). <https://cfamm.ucr.edu/documents/eds-intro.pdf> (08.06.2019)
- URL-19 (2019). <https://www.sandvik.coromant.com/tr-tr/products/pages/productdetails.aspx?c=r390-11%20t3%2008m-pm%201010> (09.06.2019)
- URL-20 (2019). <https://www.sandvik.coromant.com/tr-tr/products/pages/productdetails.aspx?c=r390-025a25-111> (09.06.2019)
- URL-21 (2019). <http://www.astmsteel.com/product/aisi-o2-steel-tool/> (27.08.2019)
- Uysal, A, Demiren, F. and Altan, E. (2015). “Applying Minimum Quantity Lubrication (MQL) Method on Milling of Martensitic Stainless Steel by Using Nano Mos₂ Reinforced Vegetable Cutting Fluid.” *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 195: 2742–47.
- Varol, T. (2016). “Nano Partikül Takviyeli Bakır Esaslı Fonksiyonel Derecelendirilmiş Elektrik Kontak Malzemelerinin Üretimi ve Karakterizasyonu” Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 252p.
- Wegst, C.W (1992). *Stahlschlüssel (Key to Steel)*, Verlag Stahlschlüssel Wegst GmbH.

- Werda, Sana, Arnaud Duchosal, Guénhaël Le Quilliec, Antoine Morandea, and René Leroy. (2016). “Minimum Quantity Lubrication: Influence of the Oil Nature on Surface Integrity.” *Procedia CIRP* 45:287–90.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.330>.
- Yaşar, S., Yılmaz A.O. (2016). “Kayaç Kesme Teorilerinin Tarihsel Gelişimi : Kama Uçlu Kesimler.” *Yer Altı Kaynakları Dergisi | Journal of Underground Resources*, no. 10: 31–41.
- Zhang, S. and Wu, C. (1992). *Ferrous Materials, Metallurgical Industry Press, Beijing*.
- Zhu, D., Zhang, X. and Ding, H. (2013). “Tool Wear Characteristics in Machining of Nickel-Based Superalloys.” *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 64: 60–77.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Yasin Ensar BIYIK
Doğum Yeri ve Tarihi : Kocaali/SAKARYA 25.01.1992

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi Müh. Fak. Makine Müh. Bölümü
Yüksek Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Ana Bilim Dalı
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce
Bilimsel Faaliyet/Yayımlar : Kursuncu B., Biyık Y.E., (2018) Effect of Vegetable Oil Used in MQL System on Surface Roughness in Hard Milling Process. In ICAME 2018.

İletişim

E-Posta Adresi : ensarbiyik@gmail.com
Tel : +90 531 029 88 51
Tarih : 11/09/2019 (Tez Savunma Tarihi)