



KÜRESEL GRAFİTLİ GGG-70 DÖKME DEMİRİN MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA
TEKNİĞİ KULLANILARAK FREZELENMESİNDE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Bülent ÇELİK

Yüksek Lisans Tezi

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Ağustos - 2018

KÜRESEL GRAFİTLİ GGG-70 DÖKME DEMİRİN MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA
TEKNİĞİ KULLANILARAK FREZELENMESİNDE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Bülent ÇELİK

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü İleri Teknolojiler Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Doç. Dr. Alaattin KAÇAL

Ağustos-2018

KABUL VE ONAY SAYFASI

Bülent ÇELİK'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "KÜRESEL GRAFİTLİ GGG-70 DÖKME DEMİRİN MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA TEKNİĞİ KULLANILARAK FREZELENMESİNDE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ" başlıklı bu çalışma, jürimizce Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

15/08/2018

Prof. Dr. Önder UYSAL

Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

.....

Prof. Dr. Muammer GAVAS

Anabilim Dalı Başkanı, İleri Teknolojiler Bölümü

.....

Doç. Dr. Alaattin KAÇAL (Danışman)

Danışman, İleri Teknolojiler Bölümü

.....

Sınav Komitesi Üyeleri

Doç. Dr. Alaattin KAÇAL

İleri Teknolojiler Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Murat KOYUNBAKAN

İleri Teknolojiler Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Kadir GÜNDOĞAN

Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Bölümü, Uşak Üniversitesi

.....

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Kütahya Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının % 14 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

Doç. Dr. Alaattin KAÇAL

Bülent ÇELİK

**KÜRESEL GRAFİTLİ GGG-70 DÖKME DEMİRİN MİNİMUM MİKTARDA
YAĞLAMA TEKNİĞİ KULLANILARAK FREZELENMESİNDE
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Bülent ÇELİK

İleri Teknolojiler, Yüksek Lisans Tezi, 2018

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Alaattin KAÇAL

ÖZET

Tez çalışması kapsamında, talaşlı imalat operasyonları içerisinde önemli yer tutan frezeleme operasyonlarında minimum miktarda yağlama (MMY) şartlarının işlenebilirlik üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda, MMY içine nano boyutlu katı yağlayıcı MoS₂ karıştırılmış ve GGG-70 küresel grafitli dökme demir frezelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve talaş geometrileri incelenmiş ve özellikle nano-MoS₂'nin etkileri araştırılmıştır.

Frezeleme deneyleri 300 m/dak kesme hızı, 0,2 mm/devir ilerleme ve 4 mm kesme derinliğinde yapılmıştır. Kuru kesme, geleneksel soğutma, MMY ve 3 farklı oranda nano-MoS₂ katkılı MMY şartlarında elde edilen yüzey pürüzlülüğü (Ra, Rz) değerleri, kesici takım aşınmaları ve talaş oluşumları incelenmiştir. MMY sisteminde 3 farklı basınç ve 2 farklı debi değişkeni olarak belirlenmiştir. Ra ve Rz sonuçlarının ve bunların deney parametreleri ile olan ilişkilerinin belirlenmesi için varyans analizi, Dunnett ve Tukey testi gibi bir dizi istatistiksel işlem yapılmıştır.

MMY sisteminde akışkan içerisine yağlama ve soğutma özelliklerini iyileştirmek için katılan nano- MoS₂'den olumlu sonuçlar alınmıştır. En düşük Ra değerinin 5 bar basınç, 160 ml/dak akış hızı ve MMY +% 0,5 MoS₂ püskürtme şartlarında 0,47 µm olarak ölçülmüştür. Bu şartlarda % 45 civarında bir iyileşme elde edilmiştir. Katılan nano- MoS₂'yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasını iyileştirici rol oynamıştır.

Anahtar kelimeler: MMY, MQL, Frezeleme, Takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü

**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MACHINABILITY IN MILLING OF
DUCTILE CAST IRON GGG-70 USING MINIMUM QUANTITY LUBRICATION
TECHNIQUE**

Bülent ÇELİK

Advanced Technology, Master's Thesis, 2018

Thesis Supervisor: Doç. Dr. Alaattin KAÇAL

SUMMARY

Within the scope of thesis study, the effects of minimum amount of lubrication (MQL) conditions on machinability were investigated in milling operations which are important in machining operations. In this context, MQL mixed with nano-sized solid lubricant MoS₂ and then GGG-70 spheroidal graphited cast iron have milled. Surface roughness, tool wear and chip geometry and specially the effect of nano-MoS₂ were investigated.

Milling experiments were performed at a cutting speed of 300 m/min, a rate of feed of 0,2 mm/rev and a cutting depth of 4 min. The surface roughness (Ra, Rz), cutting tool wear and chip formation were investigated which were obtained under conditions of dry cutting, conventional cooling, MQL and 3 different rate of nano-MoS₂ mixed with MQL. In the MQL system, 3 different pressures and 2 different flow rates were defined variably. Some statistical analysis were carried on like analysis of variance, Dunnet and Tukey tests for determination of the results of Ra and Rz and their relation to experimental parameters.

In the MQL system, positive results were obtained from the nano-MoS₂ mixed with fluid to improve lubrication and cooling properties. The lowest Ra value was measured as 0,47 µm at 5 bar pressure 160 ml/min flow rate and MQL + 0,5 % MoS₂ spraying conditions. An improvement of around 45 % was achieved under these conditions. The mixing nano-MoS₂ has been effected in improving surface roughness and tool wear.

Keywords: MQL, Milling, Tool wear and surface roughness

TEŐEKKÜR

Bu alıőmada bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren değerli hocam sayın Do. Dr. Alaattin KAAL'a ve benim bugünlere gelmemde desteğini hi esirgemeyen AİLEME en iten teőekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	v
SUMMARY	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. FREZELEME İŞLEMİ	13
3.1. Frezeleme	13
3.1.1. Alın frezeleme	13
3.1.2. Çevresel frezeleme	14
3.2. Talaş Kaldırma İşleminin Mekanığı.....	14
3.3. Talaş Kaldırma İşleminin Dinamiği.....	18
3.4. Frezeleme Genel Formüller.....	21
3.5. Yüzey Pürüzlülüğü ve Ölçme	21
3.5.1. Yüzey yapısı.....	22
3.6. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesinde Kullanılan Parametreler	23
4. KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLER	26
4.1. Küresel Dökme Demirin Özellikler	26
4.2. Dökme Demirlerin İşlenebilirliği	27
5. SOĞUTMA SIVILARI ve MMY	29
5.1. Minimum Miktarda Yağlama Tekniği (MMY)	30
6. MALZEME VE YÖNTEM	32
6.1. MMY Sistemi	32
6.2. Soğutma Sıvısı ve Nano Toz	35
6.2.1. Soğutma sıvısı	35
6.2.2. Nano-MoS ₂ tozu	35
6.2.3. Kesme sıvısı karışımının hazırlanması ve nano-MoS ₂ tozlarının karıştırılması....	36
6.3. Deney Malzemesi	38

İÇİNDEKİLER (devam)**Sayfa**

6.4. Kullanılan Takım Tezgâhı	40
6.5. Kullanılan Kesici Uçlar ve Takım Tutucu	40
6.6. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü.....	42
6.7. Takım Aşınmalarının Tespiti	43
6.8. Deney Parametreleri ve Değerlendirme Ölçütleri.....	44
7. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	46
7.1. Yüzey Pürüzlülüğü	47
7.2. Takım Aşınmaları	51
7.3. Talaş Analizleri.....	58
7.4. İstatistiksel Analiz.....	62
8. SONUÇLAR	69
9. ÖNERİLER.....	71
KAYNAKLAR DİZİNİ	72
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Frezeleme işlemi	13
3.2. Alın frezeleme	14
3.3. Çevresel (yüzey) frezeleme	14
3.4. Talaş tipleri	16
3.5. Talaş oluşumunun gerçeğe yakın gösterimi	17
3.6. a) Birbirinin üzerinden kayan paralel serisi şeklinde talaş oluşumu, b) plakalardan biri, kayma şekil değişimini göstermek için ayrılmıştır ve c) kayma şekil değiştirme üçgeni.	17
3.7. Metal kesmede kuvvetler: Ortogonal kesmede talaş üzerine etkiyen	18
3.8. Kesme kuvvetleri	18
3.9. Frezelemede kesme kuvvetleri.....	19
3.10. Kesme anında takım ve iş parçasının konumu	20
3.11. Dalgalılık.....	22
3.12. Form hatası.....	23
3.13. L örnekleme uzunluğu.....	24
3.14. Ra'nın grafiksel gösterimi.....	24
3.15. Rz'nin grafikten hesabı	25
4.1. Küresel Dökme demirlerin mikroyapı fotoğrafları, a) Ferrit Yapılı, b) Perlit yapılıdır	26
5.1. Kesme sıvısı çeşitlerinin yıllara göre dağılımı	29
6.1. Deneylerde kullanılan MMY sistemi.	33
6.2. MMY püskürtme konumunun şematik önden ve üstten görüntüsü.	34
6.3. Frezeleme deneyi sırasında MMY püskürtme konumu.	34
6.4. Çalışmada kullanılan nano MoS ₂ tozları.....	36
6.5. a) Kesme sıvısının karışım öncesi, b) sonrası görünüm örneği.....	37
6.6. Ultrasonik karıştırıcı.	37
6.7. a) Topaklar halinde olan nano MoS ₂ , b) Karıştırma işleminden sonra nano MoS ₂	38
6.8. Deney numunesinin ölçüleri.	39
6.9. Döküm sonrası deney numuneleri.....	39
6.10. Frezeleme deneylerinde kullanılan CNC dik işlem merkezi.....	40
6.11. Kullanılan kesici uçlar.....	41
6.12. a) Takım tutucu, b) Bilyalı pens bağlantısı.	42

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.13. Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi.	43
6.14. a) Elektronik mikroskop, b) Taramalı elektron mikroskobu (SEM).	44
7.1. 160 ml/saat için Ra değerlerinin SYİ tipine göre değişimi.	48
7.2. 310 ml/saat için Ra değerlerinin SYİ tipine göre değişimi.	48
7.3. 160 ml/saat için Rz değerlerinin SYİ tipine göre değişimi.	49
7.4. 310 ml/saat için Rz değerlerinin SYİ tipine göre değişimi.	50
7.5. Ra için genel bakış.	51
7.6. Rz için genel bakış.	51
7.7. Kuru frezeleme şartlarında kullanılan kesici ucun SEM görüntüsü.	53
7.8. Şekil 7.7'deki "A" noktasının EDAX sonuçları.	53
7.9. Normal püskürtme şartlarında kullanılan kesici ucun SEM görüntüsü.	54
7.10. Şekil 7.9'deki "B" noktasının EDAX sonuçları.	55
7.11. Şekil 7.9'deki "C" noktasının EDAX sonuçları.	56
7.12. MMY +% 0,5 MoS ₂ püskürtme şartlarında kullanılan kesici ucun SEM görüntüsü.	57
7.13. Şekil 7.12'deki "D" noktasının EDAX sonuçları.	58
7.14. Şekil 7.12'deki "E" noktasının EDAX sonuçları.	58
7.15. Kuru frezeleme şartlarında çıkan talaş örneği a) takım-talaş yüzeyi, b) dış yüzey, c) dış yüzey yakınlaştırma.	60
7.16. Normal püskürtme şartlarında çıkan talaş örneği a) takım-talaş yüzeyi, b) dış yüzey c) dış yüzey yakınlaştırma.	61
7.17. Normal dağılım olasılık grafikleri a) Ra, b) Rz.	62
7. 18. Ana etki grafikleri a) Ra, b) Rz.	68

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
6.1. Bielomatik B1-210'un teknik özellikleri ve uygulama alanları.	33
6.2. ERALUBETM BIO CF 350'nin özellikleri	35
6.3. Nano MoS ₂ tozlarının teknik özellikleri.	36
6.4. GGG-70 malzemenin özellikleri.....	39
6.5. Kullanılan takım tezgahının özellikleri.	40
6.6. Kesici uç ve takım tutucu teknik özellikleri.	42
6.7. Kullanılan yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri.	43
6.8. Deney parametreleri.....	45
7.1. Deneysel sonuçlar.	46
7.2. MMY (MQL) için SYİ tipi kodları.	47
7.3. Tüm işlemler için SYİ tipi kodları.....	50
7.4. Ra için Akış hızına göre Dunnet çoklu karşılaştırma sonuçları.	63
7.5. Rz için Akış hızına göre Dunnet çoklu karşılaştırma sonuçları.	63
7.6. Ra için basınca göre Dunnet çoklu karşılaştırma sonuçları.....	64
7.7. Rz için basınca göre Dunnet çoklu karşılaştırma sonuçları.....	64
7.8. Ra için % MoS ₂ katkı oranına göre Dunnet çoklu karşılaştırma sonuçları.	64
7.9. Ra için % MoS ₂ katkı oranına göre Tukey karşılaştırma sonuçları.	64
7.10. Rz için % MoS ₂ katkı oranına göre Dunnet çoklu karşılaştırma sonuçları.	65
7.11. Rz için % MoS ₂ katkı oranına göre Tukey karşılaştırma sonuçları.	65
7.12. Ra ölçümleri için soğutma ve yağlama işlemlerinin ANOVA sonuçları.....	65
7.13. Rz ölçümleri için soğutma ve yağlama işlemlerinin ANOVA sonuçları.....	66
7.14. Ra için soğutma ve yağlama işlemlerinin Dunnet çoklu karşılaştırma sonuçları.....	66
7.15. Ra için soğutma ve yağlama işlemlerinin Tukey karşılaştırma sonuçları.	66
7.16. Rz için soğutma ve yağlama işlemlerinin Dunnet çoklu karşılaştırma sonuçları.	67
7.17. Rz için soğutma ve yağlama işlemlerinin Tukey karşılaştırma sonuçları.	67

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
Fr:	Radyal kuvvet
Fx	x eksenindeki kesme kuvveti bileşeni
Fz:	z eksenindeki kesme kuvveti bileşeni
Fc:	Kesme kuvveti büyüklüğü
h:	Anlık kesme kalınlığı
ϕ_j :	Kesme yönündeki kesici kenar üzerindeki bir noktanın açısı
e:	Takım ile iş parçası eksenleri arasındaki mesafe
ϕ_e :	Giriş açısı
ϕ_s :	Çıkış açısı
Dc:	Freze çapı
l:	İşleme uzunluğu
ae:	Takım işleme genişliği
Vc:	Kesme hızı
Q:	Metal kaldırma oranı
Tc:	Çalışma süresi
zn:	Takımdaki toplam kesici kenar sayısı
fz:	Diş başına ilerleme
fn:	Devir başına ilerleme
Vf:	Tabla ilerlemesi (ilerleme hızı)
hm:	Ortalama talaş kalınlığı
kc1:	Spesifik kesme kuvveti
n:	fener mili hızı
Pc:	Net kesme gücü
mc:	Talaş kalınlığının bir fonksiyonu olarak belirli kesme kuvvetindeki artış
μm :	mikrometre
Rq:	Aritmetik ortalama sapmaların karekökü anlamında bir parametredir
y:	profil ortalama çizgisinden bağımsız dikeydeki yer değiştirmeler
Hm :	Pürüzlülüğün alt sapmasından merkez orta çizgisine olan yükseklik
Vq:	Düşey büyültme değeri

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
MQL :	Minimum Quantity of Lubrication
MMY :	Minimum Miktarda Yağlama
CNC :	Computer Numerical Control
SEM :	Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
ISO :	Uluslar Arası Standartlar Teşkilatı
KGDD :	Küresel Grafitli Dökme Demir



1. GİRİŞ

Büyük miktarlarda dökme demirin işlenmesi anında kesme bölgesinde ve yakınlarında yüksek ısı artışı meydana gelir. Bu tür sıcaklıklar boyutsal sapmalara ve kesici takımların ömürlerini tamamlamadan kullanılamaz hale gelmesine neden olur. Ayrıca atık gerilmeleri, yüzey mikro çatlakları tetikleyerek ürünün yüzey bütünlüğünü etkiler buna ilave olarak oksidasyon ve korozyonu hızlandırır (Leskover, 1986; Tonshoff, 1986). Artan hızda işleme esnasında, konvansiyonel soğutma sıvısı uygulamaları talaş-takım arayüzüne doğru bir şekilde yönlendirilemez, bu nedenle de ısı etkin bir şekilde ortamdan uzaklaştırılmaz (Shaw, 1951). Soğutma sıvısına ek, aşırı basınç katkısı da talaş-takım ara yüzüne yağlama ve soğutma sağlayacağını da garantisizdir (Cassin ve Boothroyd, 1965). Bununla birlikte, talaş-takım arasına uygulanan, yüksek basınçta çözünabilir kesme yağı belirli bir dereceye kadar kesme sıcaklığını azaltabilir ve takım ömrünü arttırabilir (Mazurkiewicz, 1989).

Son zamanlarda kesme sıvılarının neden olduğu negatif etkileri yüzünden, sağladıkları avantajlar da sorgulanır hale gelmiştir. Uygunsuz şekilde bertaraf edildikleri zaman, toprağa, su kaynaklarına zarar verebilir ve çevre için ciddi kayıplara neden olabilirler. Bu nedenle kesme sıvılarının kullanımı ve imha edilmesi katı çevre koruma kurallarına uymalıdır. Yapılan çalışmalarda personeller de kesme sıvılarının zararlı etkilerinden etkilenebilir, (cilt ve solunum problemleri vb) (Sokovic, 2001).

Şirketler için toplam talaşlı imalat işlem maliyetlerinin büyük çoğunluğunun önemli miktarının kesme sıvılarından kaynaklandığı bilinmektedir. Bazı araştırmacılar (Klocke, 1997; Byrne, 1993; Çakır, 2000) maliyetlerin kesici takımlardan daha çok kesme sıvılarından kaynaklandığını belirtmektedirler. Sonuç olarak, eğer mümkünse kesme sıvılarının kullanımının ortadan kaldırılması büyük bir ekonomik maliyeti de ortadan kaldıracaktır. Kesme sıvıları ile ilişkili yüksek maliyetler ve daha katı çevresel kanunlar mecburi hale geldiğinde, artacak olan maliyetler de göz önüne alındığında, kesme sıvısı kullanmak ya da kullanmamak arasındaki seçimin açıkça kullanmamaktan yana olduğu görülmektedir. Bunlardan dolayı kesme sıvılarının talaş kaldırma işlemlerinde kullanımının minimize edilmesi veyahut kullanımının önlenmesi için çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalardan bazıları kuru kesme ve minimum miktarda yağlama (MMY) ile iş parçalarının işlenmesidir (Alexander, 1998; Sokovic, 2001).

Minimum miktarda yağlama, temelde basınçlı hava ile az miktarda yağ karışımının kesme noktasına püskürtülmesi böylece soğutma yağlama işleminin çok az miktarda

yağlayıcıyla yapılmasıdır. Minimum miktarda yağlama uygulandığında, yağlayıcı miktarı ve performansında önemli ölçüde tasarruf edildiği görülmüştür. Bunun yanında, işlem sonrası oluşan atık ve onun bakım veya geri-dönüşüm maliyetleri büyük ölçüde azalır. Üstelik, çok daha temiz, sağlıklı ve güvenli çalışma ortamı yaratılır. Bu yöntem etkinliği torna, freze, raybalama ve delme gibi çoğu kesme işlemlerinde görülmüştür. Kesme kenarına erişilebilirlik açısından bağlı olarak, MMY sistemleri harici ve dahili olarak kategorilendirilmiştir. Harici besleme durumunda, yağlama aracının çemberi etrafında püskürtme nozul vasıtasıyla uygulanır. Bu sistemin standart işlemlerde (torna, freze, delme) uygulanması tavsiye edilir. Dahili beslemede, yağ, makinenin iş mili sistemi ve işleme noktasındaki kanallar aracılığıyla taşınır. Bu sistem daha çok esnek işleme merkezleri ve yüksek hızlı kesme şartları altında kullanılır.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Sasahara ve diğerleri, minimum soğutmayı alüminyum alaşımının helisel frezelemede delik işleminde uygulamışlar. MMY'nin helisel frezelemede uygulanmasının sonucu olarak, şekil hatasının, çapak oluşumunun, talaş kaldırma işlemi sırasında oluşan ısının ve kesme kuvvetlerinin diğer delik delme işlemlerine göre azaldığı konusunda önemli sonuçlar elde etmişler. Şekil hatasının sürekli akışla karşılaştırılabilir olduğunu, bu deneyde, çalışma ortamını etkileyen az bir pürüzlülük hesaba katılmış, (5µm) mil hızı değişse bile hemen hemen sabit kalmıştır. 2000 devir/dakikada MMY'li kesimde pürüzlülük miktarının sürekli akışa göre daha az olduğu sonucuna varılmıştır (Sasahara vd., 2008).

Qin ve diğerleri, yapmış oldukları çalışmada bir Titanyum alaşımı olan Ti-6Al-4V malzemesinin yüksek hızlı helisel frezelenmesinde MMY(minimum miktar yağlama)'nın etkileri ile kuru ve ıslak şartlardaki etkilerini karşılaştırmışlar. Tek faktörlü deneyde kesme kuvveti, delik pürüzlülüğü, takım ömrü ve kesme parametreleri arasındaki ilişki çeşitli soğutucu-yapılandırıcı koşullarında incelenmiş, tüm soğutma-yapılandırma şartlarında serbest yüzey aşınması, mikro çatlaklar, termal çatlaklar ve pullanmaların baskın kesici takım aşınmaları olarak ortaya çıktığını sonucuna varılmıştır. Kuru işleme sonucu elde edilen parametreler işlenebilirlik açısından en kötü sonuçları verirken, MMY'nin frezeleme işlemlerinde kirliliği ve maliyeti azaltmasının sonucu olarak, sürekli akışla yapılan işlemin yerini alabileceği sonucuna ulaşmışlardır (Qin vd., 2012).

Tosun ve diğerleri, AA7075-T6 malzemesini geleneksel ve hava ile soğutma yöntemlerini kullanarak frezelenmesi esnasında yüzey pürüzlülüğü değerlerini incelemişler, 20 ve 40 m/s gibi farklı iki hızda yapılan incelemede farkı kesici takımlar (HSS, Karbür), devir sayıları (780-1330-2440 dev/dk ve ilerlemeler (20-40-80 mm/dk) kullanarak yapılan deneylerde yüzey pürüzlülüğünün ilerleme ile doğru orantılı olarak arttığını, düşük devirde yapılan kesme işlemlerinde ise ters orantılı olarak düştüğü tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü değerleri kesici takımlar üzerinden karşılaştırıldığında ise Karbür takımların daha iyi sonuç verdiği görülmüş ayrıca, deney sonucunda hava ile soğutma işleminin geleneksel yöntemine göre daha iyi yüzey pürüzlülük değerleri verdiği gözlenmiştir (Tosun vd., 2010).

Rotella ve diğerleri, Ti6Al4V alaşımının kaplamalı kuru, MMY ve kriyojenik koşullarda kaplama uygulanmış kesici takım kullanarak çeşitli kesme ve ilerleme hızlarında ortaya çıkan karşılaştırmalı sonuçlar üzerine odaklanmışlardır. Soğutma ortamlarının yüzey

kalitesi ve ürün performansına etkisi, işlenmiş ürünün yüzey pürüzlüğü, metalürjik özellikler, mikro yapısal durum, sertlik, tane inceltme ve faz dönüşümleri üzerinde çalışılmıştır. Elde ettikleri sonuçlar soğutma şartlarının yüzey kalitesini etkilediği, aşırı soğutmanın genel olarak ürünün performansını artırma ve geliştirmedeki yararlarını belirtmekte (Rotella v.d., 2013).

Srikant ve diğerlerinin çalışmalarında işleme anında oluşan ısının azaltılması, kesme sıvılarının kullanımını kısıtlayan faktörleri ve kesme sıvılarına alternatif olarak kullanılan MMY üzerine çalışmışlardır. Mevcut olan kesme sıvılarını gözden geçirerek MMY için kullanılabilecek potansiyel nano sıvıları mercek altına almışlardır (Srikant vd., 2014).

Tampu ve diğerleri, yaptıkları teorik ve deneysel çalışmada frezeleme operasyonu yapılan bir yüzeyin kalitesinin farklı konsantrasyon ve farklı sıcaklıklarda kullanılan soğutma sıvısının etkisini analiz etmeye çalışmışlardır. Bu analizi yapmak için MMY soğutma cihazı kullanılmış, soğutucu akışkanın konsantrasyonunu değiştirmek için 3 farklı hacimsel oran (% 25 su % 75 emülsiyon, % 50 su ile % 50 emülsiyon, % 75 su ile % 25 emülsiyon) ve 3 farklı sıcaklık kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlarda görülmüştür ki, yüzey pürüzlülüğü soğutucu sıvının sıcaklık değişimleriyle ilişkilendirilebilir iken yüzey düzgünlüğü soğutma sıvısı sıcaklığı ve konsantrasyonunun her ikisi ile ilişkilendirilebilir (Tampu vd., 2015).

Amrita ve diğerleri, talaşlı imalatta yaygın olarak kullanılan çözülebilir yağlardan tasarruf etmek amacıyla, püskürtme uygulama yöntemini alternatif yöntem olarak görmüşler, çözülebilir kesme sıvısı miktarının daha az kullanıldığı durumlarda ısıyı uzaklaştırma ve yeterli yağlama yapma becerisinin sınırlı olduğunu ve bu özelliklerin geliştirilmesi gerektiğini değerlendirmişlerdir. Grafitin daha iyi soğutma ve yağlama özellikleri göstermesi bu nedenle de kesme sıvısında grafit içeren nano parçacıkların daha iyi soğutma sağlayacağını çalışmalarında göstermişlerdir. İki aşamadan oluşan araştırmalarının ilk bölümünde, kendi stabilite değerlendirmesi ardından farklı yöntemlerle hazırlanmış nano parçacıklı kesme sıvısının hazırlanmasından, ikinci bölümünde de nano parçacıklı kesme sıvısının temel özelliklerinin karakteristik özelliklerini anlatmışlardır (Amrita vd., 2013).

Duchosal ve diğerleri, yaptıkları çalışmada MMY uygulamasını etkileyen parametrelerin sayısal analizi üzerine odaklanmışlardır. Yaklaşımları talaş kaldırma öncesi parametrelerin en iyi duruma getirilmesi için hesaba katılması gereken zorunlu adımlardır. Yağ buharının transferi için frezeleme takımına kanal açma işlemi uygulandı. Reynolds Average Navier Stokes (RANS) ve Langrage denklemleri kanalizasyon içindeki yağ buharı akışını

simüle etmek için k-epsilon türbülans modeli STAR CCM+ ticari yazılımıyla birlikte kullanılmışlardır. Freze takımının iç kanalizasyonu için dinamik hesaplamalar yapılmıştır, çünkü kesici takımın dış şekli mikro püskürtülü soğutucunun kesme kenarına ulaşmasını garanti etmediğindedir. Düşünceleri dış geometri, giriş basıncı, iç kanalizasyonun şekli, dönüş hızı ve yönelimi yağlama verimliliği üzerine önemli etkiye sahip olduğudur. Çalışmalarının ana hedefi bu parametrelerin bir fonksiyonu olarak verimliliği arttırmaktır. Ulaştıkları sonuç iyi yağlama parametrelerinin sağlanması için takım tipinin belirleyici faktör olduğudur (Duchosal vd., 2014).

Da Silva ve diğerleri, üretim endüstrisindeki temel prensip olarak düşük maliyetli, istenilen kalitede yüksek üretim elde etmenin, yüksek ilerleme hızları ve kesme hızından geçtiğinden yola çıkarak bu şartlarda yapılan işlemlerde kesme alanındaki yüksek sıcaklığın, takım ömrü ve boyutsal doğruluğu azaltmasından dolayı optimum kesme şartlarını elde etmek istemişlerdir. İşleme ortamının (atmosferik hava ve argon) ve kesme sıvılarının etkisinin aşınma oranını ve bozulmasını etkiliyor ise, aşınma mekanizmalarını bilmenin daha iyi takım malzemesi ve dizaynını geliştirmede kritik yol oynayacağını bu prosesi bilmenin de aşınmayı minimum seviyeye düşüreceğini ve yüksek üretim oranını garantilemeye yardımcı olacağını düşünmüşlerdir. Yaptıkları çalışmada AISI 1047 çeliğinin işlenmesi sırasında yüzey kalitesi ve takım aşınması konusunda iki işleme ortamını (kuru ve ıslak) karşılaştıran bir çalışma sunmuşlardır. Sıvılar kesim alanına üç farklı teknik ile uygulanmıştır; yığıdırma, düşük akış oranı ve MMY. Elde ettikleri sonuç, düşük akış oranı tekniği kullanıldığında daha fazla işleme uzunluğu ve daha yüksek talaş hacmi elde edildiği şeklindedir. Üstelik bu sistemin çentik oluşumunu engellediği, aşınmış malzemelerin SEM analizi, işleme sırasında var olan aşınma mekanizmalarının ortamdaki etkilediğini de göstermişlerdir (Da Silva vd., 2011).

Duchosal ve diğerleri, frezeleme işleminde, farklı işlem parametreleri ve farklı iç kanal dizaynlarına dayanarak parçaya vuran yağ sisini belirlemede orijinal bir metod sunmuşlardır. Yağ sisi dağılımını farklı tutucular kullanarak elde etmişler, küçük ve büyük ölçekli gözlemler ile en çok bilgiyi toplamak amacıyla çalışmalarında cam ve şişe camı kullanmışlardır. Yağ sisi çarpma etkisi dağılımı ve değişik parametrelerin etkilerini bulmak için parça boyutu, sıvı katmanı oluşumu ve yağ sisi dağılımının iz büyüklüğünü gözlemlemişlerdir. Damlacık düşüşleri ve cam üzerindeki dağılımların analizini 3 boyutlu profilometre (mikroskopik ölçek) ile yapmışlardır. Bu orijinal metod endüstride kullanılabilir oldukça hızlı parçacık dağılımı sağlamıştır. Değişik deney sonuçları cam üstüne sıkılan yağ sisinin davranışı üzerine geniş

bilgiler vermiştir. Artan dönme hızları kesim alanındaki yağ sis miktarını arttırmış, kanalize yönlendirme dizaynını arttırmak da daha iyi odaklı bir püskürme sağlamıştır. Elde ettikleri sonuçlar eğim açısının yağ sisi dağılımı üzerine hiçbir etkisinin olmadığı ve dağınık püskürtmenin etkisinin önemini belirtmişlerdir ve MMY verimliliğini korumak için kaçınılması gerektiğini göstermişlerdir (Duchosal vd., 2016).

Kang ve diğerleri, hibrid kaplama yöntemiyle kaplanmış $Ti_{0,75}Al_{0,25}N$ ve $Ti_{0,69}Al_{0,23}Si_{0,08}N$ parmak frezelerinin AISI D2 (62 HRC) soğuk iş takımı çeliğinin yüksek hızlı işlenmesinde sürekli akış, kuru ve MMY ortamlarındaki performanslarını karşılaştırmışlardır. Nano boyutunda (Ti, Al, Si)N kristalleri ile karakterize edilen süpersert Ti-Al-Si-N filmleri amorf Si_3N_4 matrisinde WC-Co substratlarının bir hibrid kaplama sistemi olan ark iyon kaplama (AIP) ve püskürtme yoluyla sentezlemişlerdir. Ti-Al-Si-N filminin sertliği Si katılımıyla artmış, 48 GPa'da Si oranı % 8 iken maksimum seviyeye ulaşmıştır. Kaplamalı kesici takım aşınmaları yüksek hızda kesme koşulu altında bir dik işlem merkezinde (Markino V-55) tespit edilmiştir. Çalışmanın sonucunda sürekli akış durumunda büyük termal çatlaklar nedeniyle en kısa takım ömrü tespit edilirken, MMY koşulunda yapılan işlemler en iyi sonucu vermiştir ve her iki $Ti_{0,75}Al_{0,25}N$ & $Ti_{0,69}Al_{0,23}Si_{0,08}N$ takım ömrü için faydalı olduğu bilgisi elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar yüksek sertlikteki malzemelerin endüstriyel uygulamalarda yüksek hızlarda işlenmesine uygun olduğunu göstermektedir (Kang vd., 2008).

Rahman ve diğerleri, yaptıkları çalışmada 35 HRCsertlikteki ASSAB 718 HH çeliğinin kaplamasız karbür takımla frezelenmesinde sürekli akış, kuru ve MMY uygulamaları yapılmış, MMY ve sürekli akış debileri sırasıyla 8,5 ml/sa ve 42000 ml/dk olmuştur. Deney sonucunda kuru kesme şartlarında takımda pullanma, sürekli akış altında takımda çatlaklar meydana gelmesine rağmen MMY altında yapılan işlemde kesici takımlarda daha yüksek genişlikte serbest yüzey aşınması olmasına rağmen halen kullanılmaya hazır durumda oldukları tespit edilmiştir. Kesme kuvveti analizi, yüzey pürüzlülüğü, talaş şekli ve EDX bulguları MMY uygulamasının düşük hız, ilerleme ve derinlik için ekonomik ve çevreye uyumlu olduğunu göstermiştir (Rahman vd., 2002).

Liao ve Lin, sertleştirilmiş çeliklerin yüksek hızda işlenmelerinde, artan kesme sıcaklığından dolayı kesici takımlarda oluşan yüksek aşınma hızını çözülmesi gereken kritik bir problem olarak görmüşlerdir. Minimum miktarda yağlama gibi kuruya yakın kesme işlemleri, bu problemin çözümlerinden biri olarak kabul etmişlerdir. Bununla birlikte sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesinde MMY'nın işleminin halen bilinmemesiyle birlikte sertleştirilmiş

çeliklerin işlenmesinde geniş kullanıma sahip olamamasının önündeki engeli kaldırmak istemişlerdir ve yapmış oldukları çalışmada sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesinde MMY mekanizmasını kapsamlı bir şekilde incelemişlerdir. Kuru kesme şartları ile karşılaştırıldığında, takım veriminin MMY ile artırılabilirliğini göstermişlerdir. Elde ettikleri bir diğer bulgu MMY'nin takım-talaş ara yüzeyi arasında koruyucu oksit tabakasını arttıran ekstra oksijen sağladığı yönündedir, bu tabaka temel olarak Fe, Mn, Si ve Al'ın dört bileşenli oksitlerini içermektedir ve etkili bir difüzyon bariyeri olarak işlev gördüğü kanıtlanmıştır. Buradan çıkardıkları sonuç, kesici takımın sertlik ve aşınma direncini bu tabakayla koruyabileceği ve takım ömründe ciddi bir iyileşmeye olanak sağlayacağı yönündedir. Sabit bir koruyucu oksit tabakasının oluşabileceği optimum bir kesme hızının var olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Kesme hızı bu hızdan daha düşük olduğu zaman oksit tabakası ve takım ömründeki iyileşmenin daha az olduğu anlaşılmıştır. Kesme hızının optimal hız değerinin çok üzerinde olduğu zaman koruyucu oksit tabakasının oluşmadığı gözlenmiş ve yüksek ısı dalgalanmaları nedeniyle kesme kenarında termal çatlakların oluşması eğilimini arttırdığı sonucu çıkartılmıştır. Sonuç olarak MMY uygulaması takım ömründeki az miktardaki artışa bakılmaksızın yüksek kesme hızlarında uygun olmadığı yönündedir. Yaptıkları çalışmadan çıkardıkları sonuç, MMY şartlarında kesme parametreleri doğru seçildiğinde NAK80 sertleştirilmiş çeliğinin yüksek hızda işlenmesinde takım ömrünün etkin bir şekilde iyileştirilebildiğidir (Liao vd., 2007).

Duchosal ve diğerleri, yapmış oldukları karşılaştırmalı deneyde, bir freze takımında sıvı film oluşumunu farklı dönme hızları için deneysel ve sayısal simülasyonla hesaplamışlardır. Kullandıkları sayısal model, sıvı film tabakası oluşumu için düz bir yüzeyde damla darbe oluşumu için kararsız bir Reynolds-Average Navier Stokes (RANS) ve çok fazlı Langrage modelidir. Spray-wall etkileşim ayrıntıları sunulmuş ve model farklı freze takım hızları için MMY soğutma sıvısı prosesinde sıvı film oluşumunu taklit etmek için kullanılmıştır. Hesaplama ve deneyler sonucunda elde edilen sıvı filmin şekli ve boyutu MMY sürecinin anlaşılmasını geliştirmek için kullanılmıştır. Genel olarak, sıvı film boyutunun sayısal ve deneysel ölçümleri arasında yaklaşık bir film kalınlığı aralığında görüş birliğine varmışlardır. Yaptıkları çalışmadan elde ettikleri sonuç, yağ buharının davranışının daha iyi anlaşılmasına olanak sağlamıştır. Akış analizleri, özellikle yüksek hızlı talaşlı işlemlerde iyi yönlendirilmiş kanallar ve yüksek giriş basınca sağlandığında daha iyi bir yağlamanın olacağını öngörmüştür (Duchosal vd., 2015a).

Sreejith, 6061 Alüminyum alaşımının elmas kaplı karbür takımlar ile işlenmesi sırasında değişik akışkan şartlarının etkilerini incelemiştir. MMY, kuru işleme ve sürekli akış koşulları, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması gibi kriterler üzerinden analiz edilmiştir. Bu üç çeşit ortamda yapılan deney sonucunda MMY'nin sürekli akış şartına çok iyi bir alternatif olacağı sonucuna varılmıştır. Elde edilen sonuç MMY'nin doğru uygulandığı takdirde şu anda talaşlı imalat işlemlerinin çoğunda kullanılmakta olan sürekli akış altında yapılan talaş kaldırmanın yerini alabileceği yönünde olduğu ve bu sayede işlemlerin çevre dostu olmakla kalmayıp, aynı zamanda işlenebilirlik karakteristiklerinin de artacağıdır (Sreejith, 2008).

Kasım ve diğerleri, kesme hızı, ilerleme, paso, kesme derinliği gibi değişken parametrelerin, MMY ile finiş işleme sırasında oluşan ısı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Deneyde tepki yüzeyi metodu kullanılmış olup, girdiler ve çıktılar arasındaki sebep sonuç ilişkisinin belirlenmesinde Box-Benken modeli kullanılmıştır. Frezeleme de incelenen işlem parametreleri, kesme hızı (100-140 m/dk), ilerleme (0,1-0,2 mm/diş), paso (0,5-1 mm) ve kesme genişliği (0,2-1,8mm) olarak belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda küresel uçlu frezenin 69 °C ve 359 °C aralığında değişim sıcaklıklara sebep olduğu görülmüştür. Deneysel değerler ve istatistiksel analizler ısı oluşumunun çoğunlukla radyal kesim derinliği ve daha sonra da aksel kesme derinliğinden kaynaklandığını göstermiş, ilerleme ve kesme hızı istatistiksel olarak önemsiz olduğu sonucuna varılmıştır. Doğrusal modeller %92 güven payıyla oluşturulmuş, ısı oluşumunun en az seviyede tutulması için gerekli optimum değerler kesme hızı için 117 m/dk, ilerleme için 0,11 mm/dev, aksel kesme derinliği için 0,57 mm ve radyal kesme derinliği için 0,21 mm olarak tespit etmişlerdir. Bu optimum şartlar altında elde ettikleri en düşük sıcaklık değerini 69 °C olarak elde etmişlerdir (Kasım vd., 2017).

Lee ve diğerleri, sıkıştırılmış soğuk hava, MMY ve MoS₂ nano partiküler tabanlı MMY koşullarında gerçekleştirilen mikro ve orta ölçekli frezeleme işlemlerinin karakteristiklerini incelemişlerdir. Süreçlerin karakterize edilmesinde, mikro ve orta ölçekli frezeleme deneyleri orta ölçekli masaüstü freze takım tezgâhı sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiş ve yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Deney sonuçları, mikro ve orta ölçekli frezeleme işlemlerinde sıkıştırılmış soğuk havanın ve nano partiküler tabanlı MMY kullanımının yüzey kalitesinin iyileştirilmesinde etkili olduğunu göstermiştir (Lee vd., 2010).

Pham ve diğerleri, iyonik sıvıların düşük gaz basıncı, yanmama, termal kararlılık ve sürtünmede sağladığı yüksek miktarda azalma özelliklerini, mikro frezeleme işleminde

yağlayıcı olarak kullanımını, özellikle sürdürülebilir olanlarının araştırmak amacıyla bir dizi deneyler gerçekleştirmişlerdir. Düşük viskoziteli iyonik bir sıvı olan 1-Etil-3-metilimidazolbis (triflormetilsolforonil) imid ([EMIM][TFSI]) ve yüksek viskoziteli bir iyonik sıvı olan 1-Bütül-3-metilimidazol iyodid'i incelemişler, iki klasik yağ ve damıtılmış su ile karıştırmışlar, kuru işlemeyi test için referans alınacak koşuk olarak kullanmışlardır. Parçanın malzemesi alüminyum Al 5052 iken takım ucunu ise tunsten karbürden yapılmış, 200 µm çapta seçmişlerdir. Her bir sıvının yağlayıcı olarak performansı, yüzey morfolojisi, işlenen parçanın yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri gibi işlem bilgileri vasıtasıyla değerlendirilirken sürdürülebilirliği, işleme sırasındaki buharlaşma hızı vasıtasıyla değerlendirmişlerdir. Elde ettikleri verilerin analizi, iyonik sıvı ile mikro frezelemenin özellikle de yüksek viskoziteli sıvılarla işlenen yüzeyin kalitesini arttırdığını ve geleneksel yağlar veya diğer kesme sıvısı koşullarına göre çok daha düşük uçuculuk sergilediğini göstermişlerdir (Pham vd., 2014).

Wang ve diğerleri, ıslak buhar ortamında çalışan nükleer buhar türbinlerinin rotor gibi kritik parçalarında meydana gelen erozyon ve korozyonu önlemenin etkili ve ekonomik yolunun anti korozyon malzemesi olan Inconel 182 kullanarak giderilebileceğini ve bu malzemenin işlenmesinde MMY sisteminin gerekli olduğunu düşünmüşlerdir. Yaptıkları çalışmada Inconel 182'nin kuru işleme ve MMY kesme koşulları altında aşağı-yukarı kesim ortogonal deneyleri sırasındaki işlenebilirliğini araştırmışlardır. MMY'nın yağlama/soğutma etkileri aynı zamanda kesme kuvvetlerinin zaman ve frekans alanlarında analiz ve gözlemleriyle de hesaplamışlar, sonuçlar özellikle çapraz doğrultudaki kesme kuvvetleri sinyallerinin MMY'nın yağlama/soğutma etkilerini yüksek doğrulukta belirlemede kullanabileceğini göstermiştir. MMY takım aşınmasının baskın olduğu yukarı frezelemede oldukça efektif fakat kesici takım iş parçasının içine girdiğinde yüksek hızlı MMY damlacıkları ile kolaylıkla yoğunlaştığı zaman ortaya çıkan büyük darbe nedeniyle oluşan özuyarımlı titreşimler altında inefektif olduğu bulgusunu elde etmişlerdir. Yapılan çalışma da Inconel 182'nin MMY ile yukarı frezeleme işleminde kullanılması, kaynak verimliliği ve ekonomi düşünüldüğünde, takım kaybını ve üretim masraflarını büyük ölçüde azaltılabileceğini göstermişlerdir (Wang vd., 2015).

Shahrom ve diğerleri, AISI 1060 Alüminyum malzemenin, sürekli akış ve MMY tekniği altında işlenmesinin yüzey kalitesi üzerinde ki etkilerini incelemişlerdir. İlerleme, kesme derinliği ve kesme hızı parametreleri de göz önüne alınarak yapılan araştırmada, her parametre için 4 seviye seçilmiştir. İlerleme için 0,05 mm/dev, 0,15 mm/dev, 0,20 mm/dev ve 0,25 mm/dev, kesme derinliği için 0,2 mm, 0,4 mm, 0,6 mm ve 0,8 mm, kesme hızı için ise 600

mt/dk, 800 mt/dk, 1000 mt/dk ve 1200 mt/dk değerleri alınarak işlemleri gerçekleştirmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğünü öngörmek için Taguchi yöntemini kullanmışlardır. Deneysel sonuçlar ile varsayımlar arasında büyük ölçüde benzerlik saptamışlar, MMY'nın sürekli akış altında işlemeye göre daha iyi yüzey kalitesi sağladığı sonucuna varmışlardır. Maliyetler ve çevre kirliliğinin, MMY tekniği ile büyük oranda azaltılabileceği çıkarımını yapmışlardır (Shahrom vd., 2013).

Duchosal ve diğerleri, talaş kaldırılmadan önce keskin kenarlara yeterli miktarda yağlama yapılabilmesi için dönen bir takımın dışındaki MMY dizayn parametrelerinin Taguchi metodu ile nümerik optimizasyonunu incelemişlerdir. MMY çalışmalarının ana hedefi, kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak talaş-takım arayüzüne yeterli olacak miktarda yağlamayı kesici uca uygulamaktır. Bu sebeple, birim alan başına hacim (yağ miktarı) ve yağ dağılımının damlacık darbelerine olan ortalama mesafesini (takım/talaş arayüzünden gelen küresel bir sanal alanla karşılaştırıldığında kesme kenarına yağ girişi) dikkate almışlardır. “Deney tasarımı” için Taguchi metodu, finiş koşulları altındaki nümerik dizayn parametrelerin birer fonksiyonu optimize edebilmek amacıyla uygulamışlardır. Analiz, bu nümerik problemin çözümü için DOE yaklaşımının uygun olduğunu göstermiştir. Sonuçlar göstermiştir ki, yüksek kesme hızı ile yüksek yağlama performansının optimal kombinasyonu, düşük ilerle ile yüksek kanalizasyon oryantasyonu ve giriş basıncına dayalıdır (Duchosal vd., 2015b).

Coz ve diğerleri, delik açma ve frezeleme sırasında sıcaklık ölçümü üzerine kısa bir bibliyografinin arkasından dönen kesici takımların sıcaklıklarını ölçmede yeni bir sistem önerisi sunmuşlardır. Yeni sistem ilk olarak, kesici ucun ve yüzeyin olabildiğince yakınına yerleştirilen, freze veya matkabın içine entegre edilmiş bir sıcaklık sensöründen oluşmuştur. Sinyallerin toplayıcıya ulaşmasını sağlamak için bir veri koşullandırma sistemi ve bir kablosuz verici ünite, özel bir takım tutucu ile birleştirmişlerdir. Alet tutucusunun yakınına yerleştirilmiş bir radyo frekans anteni, ölçüm sistemini tamamlamıştır. Bu sistem, havacılık endüstrisinde yapılan çalışmalarda başarı ile kullanılmıştır. İlk Ti6Al4V titanyum alaşımının MMY ile delinmesi sırasında kesim koşullarını iyileştirmek için oluşturmuşlardır. İkincisinin amacı ise havacılıkta kullanılan titanyum alaşımının kuru kesme altında frezelenmesi sırasında 3 farklı kaplanmış takımın termal davranışlarını test etmişlerdir. Yaptıkları çalışma ile bu deneysel sonuçların bir kısmını ve önerilen sıcaklık ölçme tekniğinin verimliliğini uygulamalı bir şekilde sunmuşlardır (Coz vd., 2012).

Zhang ve diğerleri, işleme sırasında taşkın şeklinde kesme sıvısı kullanımını çevre ve sağlık konularında sebep olduğu bazı problemlerden yola çıkarak, daha çevre dostu bir sitem için kesme sıvısı kullanımının azaltılması, hatta kullanılmamasını sağlamak üzerine yoğunlaşmışlardır. Havanın düşük soğutma kapasitesi Inconel 718'in işlenmesinde MMY kullanımını sınırlandırması, kriyjonik hava ve MMY'nin avantajlarını birleştiren kullanılabilir minimum soğutma sıvısı miktarı (MQCL) sistemiyle Inconel 718'in işlenebilirliğini arttırmaya çalışmışlardır. Çalışmada kuru kesme ve geri dönüştürülebilir bitkisel yağ ile MQCL kesme, Inconel 718'in kaplanmış takımlar ile işlenmesi sırasındaki takım aşınması ve kesme kuvvetlerini araştırmak için ilişkilendirmişlerdir. Aynı zamanda takım aşınmasındaki çoğalma ve değişik koşullardaki kesme kuvvetlerinin değişimi arasındaki ilişkiyi de tespit etmişlerdir. Deneysel sonuçlar geri dönüştürülebilir bitkisel yağ ile MQCL kesim Inconel 718'in işlenebilirliğinin (takım ömrünün uzaması, kesme kuvvetlerinde azalma) artırılabilirliğini göstermiştir. MMY ile kesme ve kuru kesmeye güçlü bir alternatif olan geri dönüştürülebilir bitkisel yağ ile MQCL kesme, çevreci bir bakış açısından ise Inconel 718'in daha düzgün imal edilmesinin gereklerini de sağladığını ortaya çıkarmıştır (Zhang vd., 2012).

Iqbal ve diğerleri, yaptıkları araştırmada sertleştirilmiş çeliğin iç yapısı, iş parçası eğim açısı, kesme hızı ve radyal kesme derinliğinin takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü üzerine olan etkilerini incelemişlerdir. Frezeleme işlemi kaplanmış karbür küresel freze takımıyla MMY ortamında gerçekleştirilmiştir. Parametrelerin sayısallaştırılması D-optimal dizayn yöntemi olarak bilinen yeni bir yüzey-yanıt yöntemiyle yapılmıştır. Takım ömrü için, iş parçası malzemesi et etkili parametre olarak tespit edilmiş ve takımın dönüş hızı bunu takip etmiştir. Takımın dönüş hızının yüksek olduğu değerlerde takım ömrü için olumsuz sonuçlar elde edilmesine rağmen yüzey kalitesi açısından olumlu sonuçlar vermiştir. Ek olarak iş parçasının eğim açısı ve radyal kesme derinliğinin etkileri efektif kesme hızı ve kesme açısı, ardından da yüzey pürüzlülüğü üzerine analiz edilmiştir. Yorulmuş takımların SEM ve EDS analizleri, farklı kesici takım hasar mekanizmalarının ciddiyetine göre, seçilen parametrelerin seviyelerinin etkilerini incelemek amacıyla yapılmıştır. Kesici takımda saptadıkları başlıca hasar mekanizmaları çentik aşınması, adezyon ve takımda oluşan kırıntılar (chipping) olmuştur. Kırıntıların hasar derecesi azalan efektif kesme hızları ve ilerleme hızı nedeniyle adezyon ve çentik aşınmasına kıyasla daha az olduğu sonucuna varmışlardır (Iqbal vd., 2008).

Duchosal ve diğerleri, MMY işlemi için yağ buharı karakteristiğini belirleyecek bir metod geliştirmişlerdir. Yağ buharının karakterizasyonu, yağ buharı zerreciklerinin boyutu, hızı

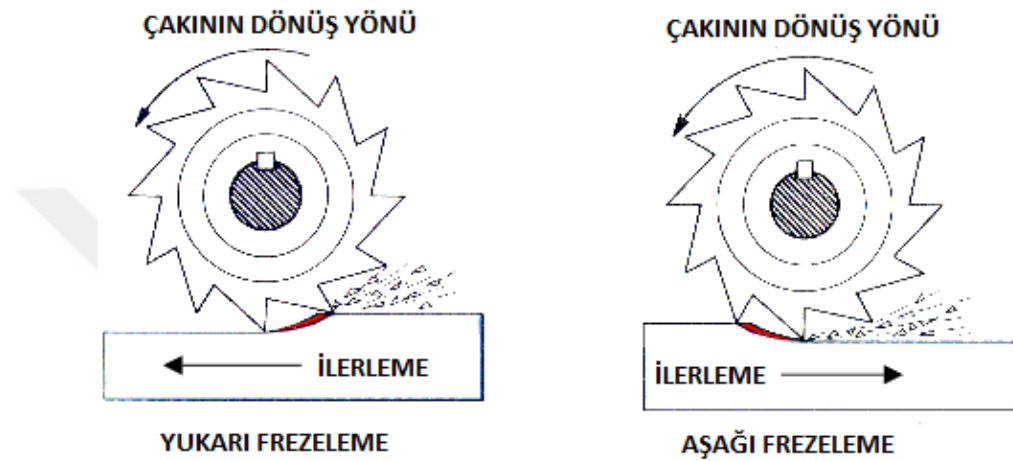
ve debisi tarafından karakterize edilmiştir. Her aşamada özel bir ölçüm işlemi kullanmışlardır; lazer kırınım yöntemi, parçacık görüntü hızölçeri ve gravimetrik yöntem. Bu metodlar statik ve basit kanalların olduğu durumlarda kullanıma uygundu ve deneysel testler için fener milinde var olan iç kanallar kullanılmıştır. Farklı dahili kanallarla üretilen farklı modelleri, deneysel süreçler ışığında test etmişlerdir. Çalışmalarının ana hedefi cihaz çıkış yağ buharı karakteristiğini, giriş parametresinin bir fonksiyonu olarak kontrol etmektir (Duchosal vd., 2013).

Yukarıda verilen literatürdeki çalışmalara genel olarak bakıldığında, minimum yağlama ve soğutma işlemi ile ilgili birçok çalışmanın yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmalarda genel olarak yağlayıcı akışkan tipi, akış hızı, basınç, nozul tipi, nozul yerleştirme açısı, malzeme, kesme parametreleri, işleme prosesleri ve son dönemlerde katkı malzemeleri konuları ele alınmıştır. Hazırlanan bu çalışma, GGG 70 malzemenini frezelenmesinde minimum yağlamanın ve akışkana ilave edilen nano MoS₂ tozlarının işlenebilirlik üzerine olumlu etkisinin olacağı hipotezinin etrafında planlanmıştır. Deneysel planlamada ve deneylerin yapılmasında gerçek imalat şartları ve ortamı esas alınmıştır. MoS₂'nin katı yağlayıcılık özelliği hipotezi destekleyebilecek önemli bir unsurdur. Deneysel malzeme ve donanımlar belirlenirken imalat endüstrisinde kullanılma ve kolayca ulaşılabilme ilkeleri esas alınmıştır. Yüzey pürüzlülüğü, kesici takım aşınması, talaş oluşumu gibi değerlendirme ölçütleri hipoteze ulaşmak için dikkate alınmıştır.

3. FREZELEME İŞLEMİ

3.1. Frezeleme

Frezeleme, çevresinde birden fazla diş bulunan dairesel bir kesici takım ile talaş kaldırarak iş parçasına şekil verme işlemidir (Şekil 3.1).

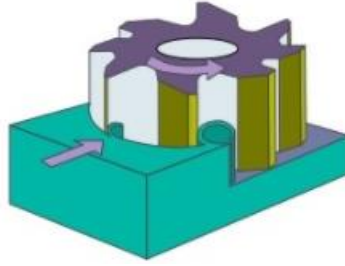


Şekil 3.1. Frezeleme işlemi (Çakır, 2000).

Freze ile düz, eğik, kademeli yüzeyler, kanallar, profilli kanallar, kamalı miller ve dişli çarklar açılabilir. Frezelemede kullanılan kesici takımın birçok kesici kenarı vardır ve her kenar belirli bir miktar talaş kaldırma kapasitesine sahiptir. Frezelemenin avantajları yüksek işleme verimliliği, iyi yüzey kalitesi, hassasiyet ve şeklin oluşturulmasındaki esnekliktir. Frezeleme genellikle düzlem yüzeylerin, dik köşelerin ve kanalların işlenmesi amacıyla kullanılan bir işlemdir (Çakır, 2000). Frezeleme işlemleri genel olarak alın frezeleme ve çevresel frezeleme olmak üzere ikiye ayrılır.

3.1.1. Alın frezeleme

Alın Frezeleme: Alın frezeleme işlemleri yatay ve düşey milli freze tezgahlarında yapılabilir. Frezenin ekseni iş parçasının yüzeyi ile 90° açı yapar. Talaş kaldırma işleminin çoğu dişlerin çevresel kısmı ile yapılır ve alındaki dişler ile tamamlanır. İlerleme gücü çevresel frezelemeye göre nispeten düşüktür. Şekil 3.2'de gösterimdeki gibi geniş ve düz yüzeyler bu teknikle frezelenir (Şekil 3.2).

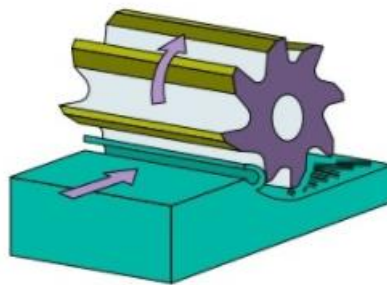


Şekil 3.2. Alın frezeleme (<http://www.hamitarslan.com/frezeleme-islemleri.html>).

3.1.2. Çevresel frezeleme

Çevresel frezeleme işlemleri yatay milli freze tezgâhlarında yapılır. Yüzey, freze etrafındaki çevresel dişler tarafından talaş kaldırılarak oluşturulur. Oluşturulan yüzey dönen frezenin eksenine paraleldir. Düz ve şekilli yüzeyler bu yolla elde edilebilir. Şekilli yüzeyler frezenin form kesiti ile aynıdır. Bazen, kademeli yüzeyler elde etmek için değişik çaplarda birden fazla freze tezgaha bağlanabilir. İlerleme gücü oldukça büyüktür. Çevresel frezeleme, geniş düz yüzeylerin elde edilmesinde nadiren kullanılır.

Bilgisayarların imalata dahil edilmesiyle sadece basit parçalar yapan freze tezgahları oldukça kompleks parçaları çok basit bir şekilde yapar hale gelmiştir. Frezeleme işlemi sadece gerçekleştirilen işlem tipleri açısından değil aynı zamanda kullanılan tezgah, takım ve işlenen iş parçası açısından da büyük farklılıklar göstermektedir.



Şekil 3.3. Çevresel (yüzey) frezeleme (<http://www.hamitarslan.com/frezeleme-islemleri.html>).

3.2. Talaş Kaldırma İşleminin Mekanığı

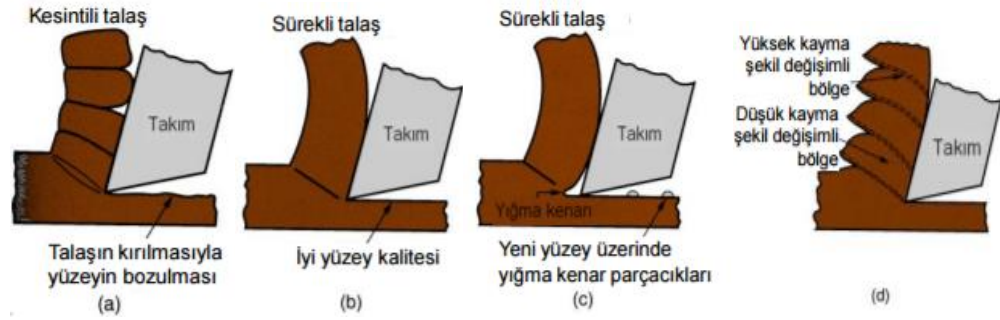
Talaşlı imalat, iş parçası yüzeyinin kesici takımlar yardımıyla parça keserek şekillendirilmesi işlemidir. Metal kesme son zamanlarda kontrollü talaş üretme işlemi olmaya

başlamıştır. Kaldırılan talaş, kesme bölgesinde kontrol edilebilmekte; işlem sırasında doğan ısının önemli bir miktarı çıkan talaş tarafından uzaklaştırılmaktadır. Metal kesmede talaş oluşumunun kontrolü, operasyonun özelliğine göre öncelik arz edebilir. Genel olarak talaşlı imalatın amacı metali belirli bir şekil ve boyuta getirmekse de verimli bir talaşlı imalat için işlemlerin uygun talaş oluşumunu sağlayacak şekilde yapılması gerekir. Bunun için talaşın uygun bir formda çıkarılması, gerekirse talaşın talaş kırma mekanizmaları ile kırılması sağlanmalıdır. Talaş kırma işleminin nedeni, sadece işlem sırasında oluşacak talaşın depolama kolaylığı değil, aynı zamanda kesme bölgesinden uzaklaşan talaşın temasta bulunacağı takım veya iş parçasına verebileceği zararları engellemek ve oluşan ısının büyük bir bölümünün talaşla ortamdaki uzaklaşmasını sağlamaktır (Çakır, 2000; Zaman, 2006).

Modern talaşlı imalat işlemlerinde yapılan işlem ve kaldırılan talaş hacmi ne olursa olsun, kontrollü bir talaş oluşumu şarttır. Talaş kaldırma işleminin anlaşılabilmesi, değişik tipteki metallerin talaşa dönüşmeleri esnasındaki davranışlarının anlaşılmasına bağlıdır. Bu işlemin bir kısmı, talaş kaldırma işleminin kalitesini etkileyen belli baslı faktörler olan deformasyon, sıcaklık ve kuvvetlerin belirlenmesi işlemidir.

Sıcaklık, talaş kaldırma işlemini doğrudan etkilerken, yeterince yüksek olursa, takım malzemesi üzerinde de negatif etkileri bulunur. Kesme kuvvetleri ise işlemin gerçekleştirilmesi için gerekli güç ve momenti doğrudan etkilerler. Kesme kenarlarının tasarımı, belirli işleme şartları altında sıcaklık, kesme kuvvetleri ve talaş teşekkülünün kontrol altında tutulmasını gerektirir. Kesici takım geometrisinin tasarımı sırasında, gerçekleştirilecek talaş kaldırma işleminin, takım ömrü ve uç mukavemeti üzerindeki etkilerinin de dikkate alınması gerekir. Bir kesici kenar ile bir metalden talaş kaldırma sırasında, kesici takım iş parçası malzemesinin bir bölümünü plastik olarak deforme eder ve talaşı keser. Talaş olarak ayrılacak malzeme tabakası üzerindeki gerilmeler, bu tabaka kesici kenara yaklaştıkça artar (Çakır, 2000; Zaman, 2006).

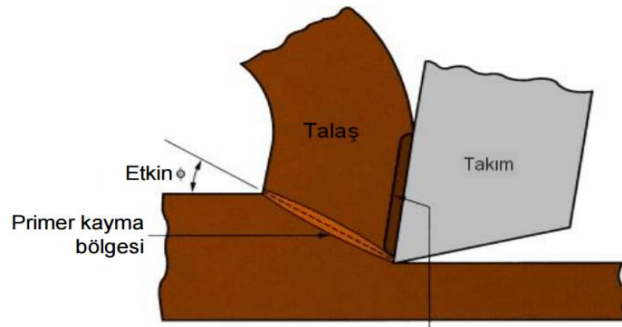
Bu artan gerilmeler malzemenin akma sınırına ulaştığı anda metal içerisinde elastik ve plastik deformasyonlar meydana gelir. İş malzemesinin tipine bağlı olarak değişik talaş tipleri (kesintili (a), sürekli (b-c), yarı kesintili) oluşur (Şekil 3.4) (Groover, 1996).



Şekil 3.4. a) Kesintili, b) Sürekli, c) Yığılma kenarlı sürekli, d) Kayma şekil değişimli talaş tipleri (Groover, 1996).

Talaş kaldırma işlemi için gerekli enerjinin büyük bir kısmı kayma düzlemi civarında harcanır. Oluşan talaşın takım yüzeyi boyunca akışını sağlamak amacıyla kesici kenar iş parçasına doğru bastırılır ve bunun sonucunda kayma meydana gelir. Metalin kayma düzlemi boyunca olan plastik davranışı, talaşın ve talaş kaldırılan yüzeyin şekil değiştirme (deformasyon) sertleşmesi üzerine etkide bulunur. Deformasyon sertleşmesi kesme kuvvetini artırır, kayma açısını azaltarak daha kalın bir talaşın kesici ucun talaş yüzeyi üzerinde akmasına neden olur. Deformasyon miktarı takımın talaş açısının büyüklüğüne bağlıdır.

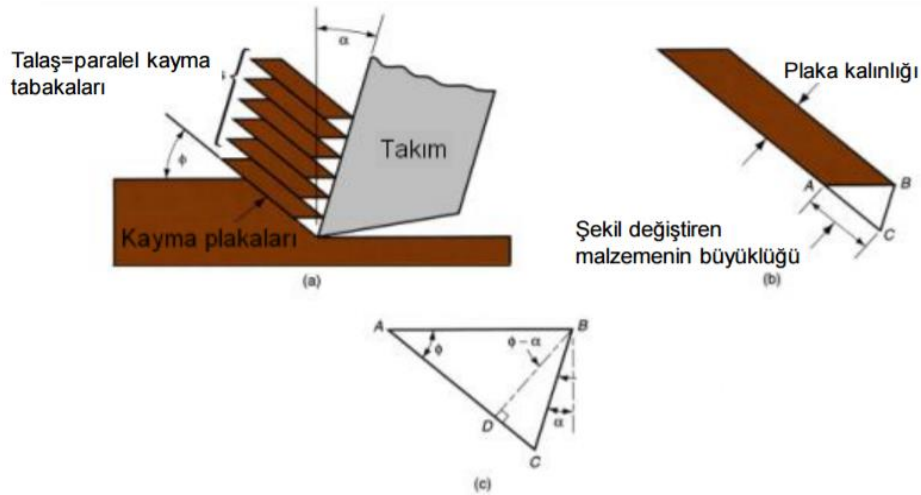
Kayma düzlemi iş parçasından kaldırılacak malzemenin talaşa dönüştüğü düzlemdir (Şekil 3.5.). Ancak bu düzlemde ortaya çıkan kayma gerilmesinin takım yüzeyi boyunca etkilerinin analiz edilmesi gerekir. Talaş kaldırma sırasında takım/talaş ara yüzeyinde bir etkileşim mevcuttur. Talaş oluşumu, temas uzunluğu üzerine etkide bulunan kayma açısından etkilenir. Talaşın temas uzunluğu boyunca takım yüzeyindeki hareketinin niteliği, talaş kaldırma işleminde dikkate alınması gereken bir diğer önemli faktördür. Kayma açısının, bu anlamda, talaş ile takım yüzeyi arasındaki temas uzunluğu üzerine bazı etkileri mevcuttur. Bu bölgede kuvvetler ve sıcaklıklar takımı önemli ölçüde etkiler. Kayma açısı küçük ise kayma kuvveti büyüktür. Büyük talaş açısı talaşın daha büyük bir yarıçap etrafında daha az kırılması ve daha düşük kuvvetlerin oluşması demektir. Birçok talaş kaldırma işleminde kesme yönünün esas kesme kenarına dik olmayıp belirli bir açı yaptığı eğik kesme söz konusudur ki bu durum takım geometrisini ve talaş akış yönünü değiştirir (Groover, 1996).



Şekil 3.5. Talaş oluşumunun gerçeğe yakın gösterimi (Groover, 1996).

Talaş açısının, temas uzunluğu üzerine etkisi söz konusudur (Şekil 3.6.). Temas uzunluğu, büyüyen talaş açısıyla azalır daha büyük pozitif talaş açısı daha küçük temas uzunluğu demektir. Talaş oluşumu deforme olmamış talaş kalınlığına, ilerlemeye, talaş açısına ve iş malzemesinin mukavemetine bağlıdır ve talaş deformasyon bölgesinde oluşur. Talaş, oluşumunu, talaş kaldırma işlemi esnasında ortaya çıkan eğilme kuvveti etkisiyle tamamlanır (Tlustý ve Polacek, 1963).

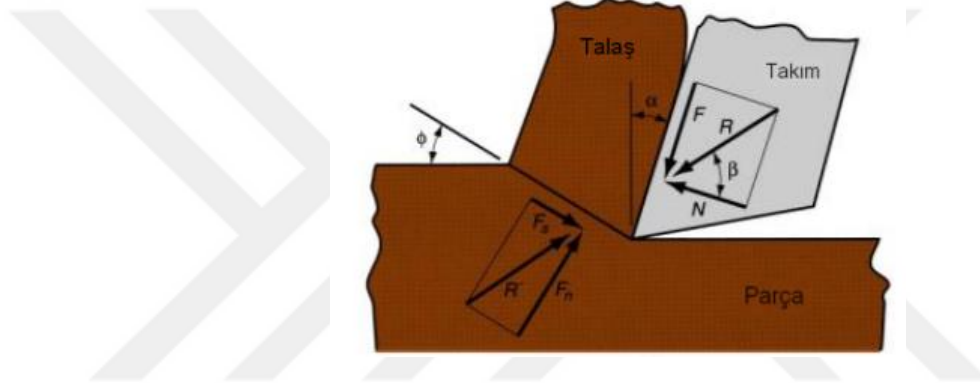
γ = kayma şekil değişimi, ϕ = kayma düzlem açısı, ve α = kesici takımın talaş açısı



Şekil 3.6. a) Birbirinin üzerinden kayan paralel serisi şeklinde talaş oluşumu, **b)** plakalardan biri, kayma şekil değişimini göstermek için ayrılmıştır ve **c)** kayma şekil değiştirme üçgeni (Groover, 1996).

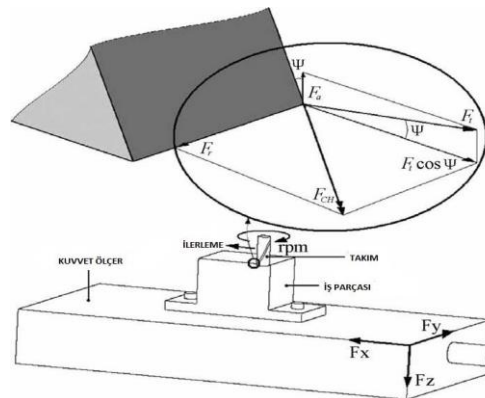
3.3. Talaş Kaldırma İşleminin Dinamiği

Takım tezgahları, fonksiyonları gereği dinamik yüklerin birçok çeşidine aynı anda maruzdurlar. Bu yüklemeler karşısında takım tezgahlarının gösterdiği davranış biçimleri, takım tezgahlarının dinamik davranışlarını belirlerler. Tezgahlarda her konumda bir dinamik davranış olacağı için, tezgahların tasarımı yapılırken o tezgahın en kritik dinamik davranışının etkilerinin incelenmesi gerekir. Talaş kaldırma esnasında takıma ve buna bağlı olarak iş parçasına, üç eksende kesme kuvvetleri etki etmektedir. Kesme kuvvetleri; kesme kuvveti (F_t), radyal kuvvet (F_r) ve ilerleme kuvveti (F_a)'dır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Metal kesmede kuvvetler: Ortogonal kesmede talaş üzerine etkiyen (Groover, 1996).

Kesme kuvvetini bulabilmek için Şekil 3.8'de gösterilen F_x , F_y ve F_z 'nin analitik ifadesini belirlemek gerekmektedir (Çakır, 2000).



Şekil 3.8. Kesme kuvvetleri (Çakır, 2000).

Kesme kuvveti ifadeleri (F_x) ve (F_y) küçük deęişikliklerle Tlustý ve Polacek (Tlustý ve Polacek, 1963) ile Bao ve Tansel (Bao ve Tansel, 2000) alıřmalarında belirtmiřlerdir. Aslında, onlar denklemleri teęetsel kuvvetin yatay bileřenlerine ayırarak göstermiřlerdir. Dolayısıyla, kesme kuvvetleri ařaęıda gösterilen řekilde yazılabilir;

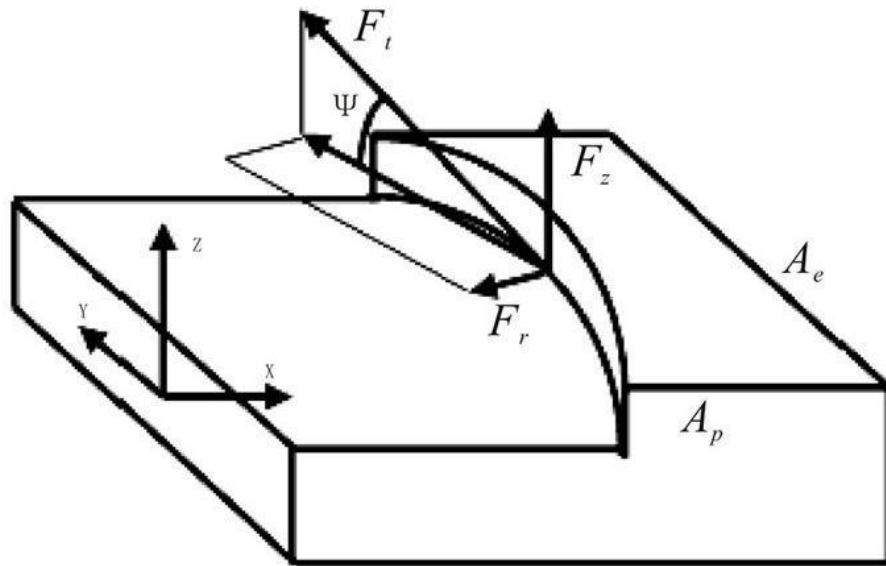
$$F_{xi} = (F_{ti} \cos \Psi) \sin \varphi_i - F_{ri} \cos \varphi_i \quad (3.1)$$

$$F_{yi} = -(F_{ti} \cos \Psi) \cos \varphi_i - F_{ri} \sin \varphi_i \quad (3.2)$$

$$F_{zi} = -F_{ti} \sin \Psi \quad (3.3)$$

$$F_{ci} = \sqrt{(F_{xi}^2 + F_{yi}^2 + F_{zi}^2)} \quad (3.4)$$

Yaptıkları deneysel ve analitik çalışmalardan belirli bir periyotta kesme parametrelerinin artması ile kesme kuvvetlerinin de arttığı görülmüştür. Buna rağmen, bu kesme kuvveti modeli, kesme kuvvetlerinin ortalama %90'ı alınarak kullanılabilir. Genellikle, kesme kuvveti modeli kullanılan en klasik yöntemdir. Kesme kuvvetinin kesme derinliğine bağlı olarak değiştiği genelleşmiştir. Bununla birlikte, dinamik freze kesme derinliği takım, parça konumu ve işlenmiş yüzeyin profiline bağlıdır. Kesme kuvveti şekil 3. 9'da gösterilmiştir.



şekil 3.9. Frezelemede kesme kuvvetleri (akır, 2000).

$$F_{ij} = K_{t,i} \cdot a_p \cdot h(\varphi_j) \quad (3.5)$$

$$F_{rj} = K_r F_{ij} \quad (3.6)$$

h : anlık kesme kalınlığı

$$h(\varphi_j) = g(\varphi_j) [\Delta x \sin(\varphi_j) + \Delta y \cos(\varphi_j)] \quad (3.7)$$

koşul;

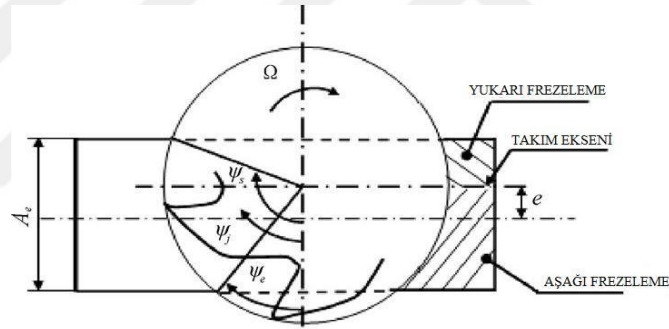
$$\Delta x = x(t) - x(t-\tau)$$

$$\Delta y = y(t) - y(t-\tau) \quad \text{ve;}$$

$$g(\varphi_j) = \begin{cases} 0 & \varphi_e < \varphi_j, \varphi_j < \varphi_s \\ 1 & \varphi_e > \varphi_j > \varphi_s \end{cases} \quad (3.8)$$

φ_j , kesme yönünde kesici kenar üzerindeki bir noktanın açısı

Şekil 3. 10'da kesme anında kesici takımın, iş parçasına göre konumu gösterilmiştir. e takım ile iş parçası eksenleri arasındaki mesafe, φ_e giriş açısı, φ_s 'de çıkış açısıdır.



Şekil 3.10. Kesme anında takım ve iş parçasının konumu (Tlusty ve Polacek, 1963).

Metalin kesilme safhası φ_e ve φ_s açılarıyla tanımlanır. Bu açılar nominal konumuna göre karşılaştırılarak hesaplanır. Bu nedenle, işlemin başlangıç ve bitiş geçiş safhalarındaki geçiş safhaları modellenmez. Ancak, kesme işlemi durduysa, takım metalden ayrılabilir. Bu durumda, kesme derinliği ve kesme kuvvetleri de geçersizdir. Bu doğrusalsızlık titreşim genliğinin yükseltilmesine olanak sağlar.

φ_e ve φ_s açıları aşağıda verilen denklem 3.9 ve 3.10'dan saptanır.

$$\cos \varphi_e = A_e + 2e / D \quad (3.9)$$

$$\cos \varphi_s = A_e - 2e / D \quad (3.10)$$

3.4. Frezeleme Genel Formüller

Frezelemede kullanılan genel formüller ve birimler aşağıda denklemlerle verilmiştir.

$$\text{Kesme hızı (V)} = \frac{\pi \times Dc \times n}{1000} \text{ (m/dk)} \quad (3.11)$$

$$\text{Tabla ilerlemesi (V)} = f \times n \times z \text{ (mm/dak.)} \quad (3.12)$$

$$\text{Diş başına ilerleme (f)} = \frac{Vf}{n \times Zn} \text{ (mm)} \quad (3.13)$$

$$\text{Devir başına ilerleme (f)} = \frac{Vf}{n} \text{ (mm/dev)} \quad (3.14)$$

$$\text{Talaş kaldırma hızı (Q)} = \frac{ap \times af \times Vf}{1000} \text{ (cm}^2\text{)} \quad (3.15)$$

$$\text{Spesifik kesme kuvveti (k)} = k_{c1} \times m_{c1} \text{ (N/mm)} \quad (3.16)$$

$$\text{Ortalama talaş kalınlığı (h)} = \sqrt{ae/Dc} \quad (3.17)$$

$$\text{İşleme zamanı (T)} = \frac{Im}{Vf} \text{ (dak.)} \quad (3.18)$$

$$\text{Net güç (P)} = \frac{ap \times ae \times Vf \times fz}{\pi \times Dc \times \arcsin\left(\frac{ae}{Dc}\right)} \text{ (kW)} \quad (3.19)$$

3.5. Yüzey Pürüzlülüğü ve Ölçme

1930 yıllarında metal yüzeylerinin pürüzlülük değerlendirilmesi, o yüzeye bakarak veya dokunarak yapılırdı. Yüzeyde yüksek yansımaya varsa yüzey pürüzsüz olarak düşünülürdü. Bu tip değerlendirmenin ömrü pek uzun olmadı. Metal yüzeyinin değerlendirilmesi şahsın dikkatinden bağımsız düşünölmeye başladı. Böylece düşünceler bu parametreler üzerinde yoğunlaştı.

Pürüz yüksekliği için ortalama yükseklik, yüzey yapısında başrolü oynar. Fakat yüzey pürüzlülüğünü kontrol etmeye yetmez. Yüzey karakteristiklerinin ölçümü için önce “yüzey yapısı” ve “yüzey pürüzlülüğü” terimiyle ne kastedilmek istendiğini anlamak gereklidir. Yüzey karakteristiklerinin ölçümü için önce “yüzey yapısı” ve “yüzey pürüzlülüğü” terimleri tanımlanmıştır.

Pürüzlülük ölçümünün doğru ve hassas yapılmasının yanında hangi pürüzlülük parametrelerinin kullanılacağına doğru tespiti ve bunların doğru değerlendirilmesi gerekir. Yüzey pürüzlülük parametreleri, genlik, dalgaboyu (yatay) ve hibrid (karma parametreler)

olmak üzere 3'e ayrılır. Yaygın olarak kullanılan pürüzlülük parametreleri ISO 4287, ISO 13565-2 ve Fransız otomotiv endüstrisinde kullanılan CNOMO E 05-0152'dir.

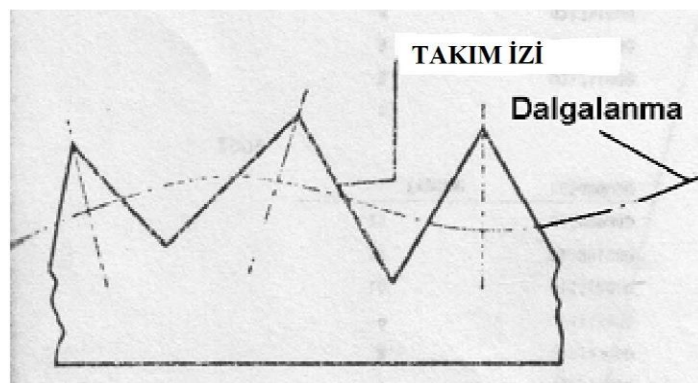
3.5.1. Yüzey yapısı

Pürüzlülük, işleyici bir takımın, yüzeyin bir ucundan diğer ucuna gitmesiyle oluşan pek çok çizikli, düzensiz kısa dalga boyu uzunluklarıdır. Yüzeydeki çizik izlerini normal yönde ölçme ile çapraz yönde (açılı kesik çizgi) ölçme arasında dalga boyu uzunluğu açısından fark vardır.

Yüzey düzensizliği veya pürüzlülüğü kesme kenar kalitesine de bağlıdır, yani talaş yığılması veya iş parçasının malzeme kalitesi. Pürüzlülük yüzeyin mikro yapısıdır. Profilometre denilen bir cihazla ölçülür. Rt değerlendirilen uzunluk boyunca maksimum tepe-çukur değeridir, yani Rmax bir L örnekleme uzunluğundaki yüksekliktir.

Yüzey düzensizlikleri dalgalılık üzerinde yüzey pürüzlülüğü olarak uygulanır ve W + Rmax grafiği gerçek yüzey kalitesini gösterir.

Dalgalanma, yüzey pürüzlülüğü düzensiz dalga boyu uzunlukları olarak dağılmışsa, yüzey aşırı yüklenmiş demektir. Bu tür bir oluşum dalgalanma olarak adlandırılır (Şekil 3. 11.) Dalgalanma, yüzeyin taşlanması esnasında, taşlama taşının eksik kısımlarından, işlemeyi yapan takımın bağlantı katerinin titreşiminden ve ısı işlemlerden meydana gelebilir (Tlustý ve Polacek, 1963).



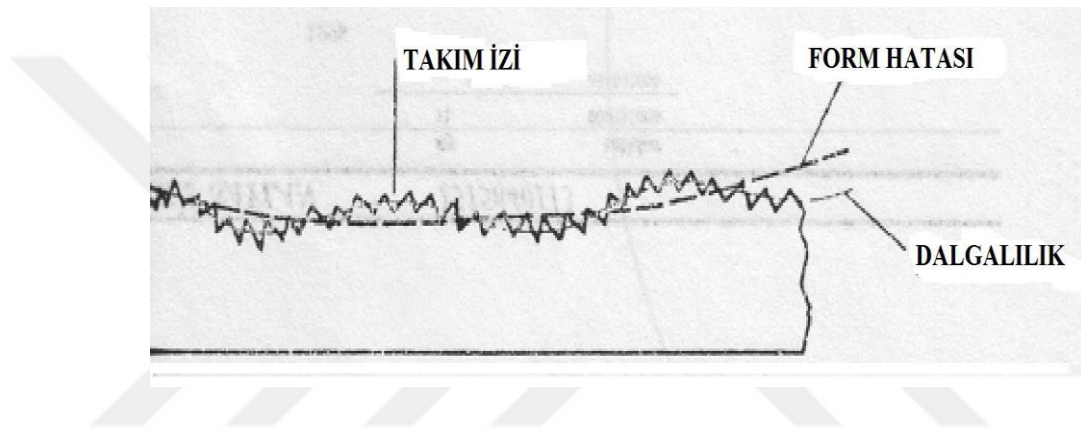
Şekil 3.11. Dalgalılık (Tlustý ve Polacek, 1963).

Başka bir tabirle dalgalılık veya biim titreşimi yüzeyin makro yapısıdır. Kabul edilemez dalgalılık;

- hassas olmayan freze veya fener mili,
- kesici uçların aksenal hareketinden oluşur.

Dalga tepesi arasındaki mesafe genellikle devir başına ilerleme ile çakışır.

Genel form hataları, yüzeyin yapısında, kızak aşınmalarından, tornalama işleminde işleyici takımın merkezinin aşağıda veya yukarıda olmasından, iş parçası işlenirken iş parçasının eğilip bükülmesinden form hataları meydana gelebilir. Şekil 3.12’de yüzeydeki form hatası gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Form hatası (Tlustý ve Polacek, 1963).

3.6. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesinde Kullanılan Parametreler

Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesinde kullanılan parametreler aşağıda olduğu gibi gösterilir ve adlandırılırlar.

R_a : Aritmetik ortalama sapma

R_z (JIS): 5 tane en yüksek- 5 tane en alçak noktanın ortalaması

R_q : Aritmetik ortalama sapmaların karekökü anlamında bir parametredir.

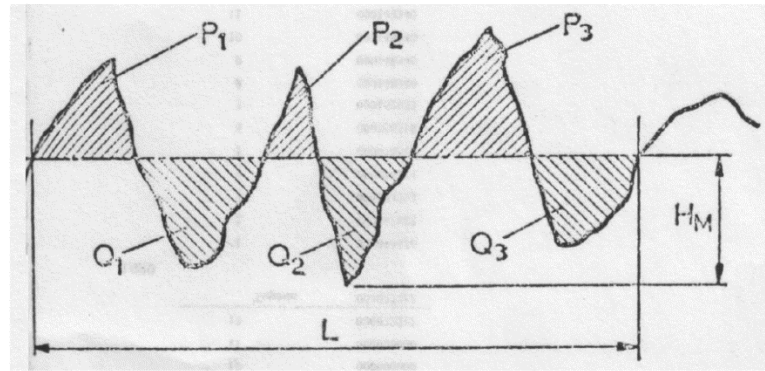
Standartlarda açıklanan parametrelerden en önemli sayılan R_a ve R_z tanımlanmıştır. Ölçüm mesafesi belirlenirken standartlardan yararlanılır. Standartlara göre ölçüm mesafesi 5 eşit parçaya bölünür ve bu parçalardaki ölçüm değerlerinin ortalaması alınır. Parçaların boyutu ölçüm değerine göre belirlenir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. L örnekleme uzunluğu (Tlustý ve Polacek, 1963).

R_a , bir pürüzlülük parametresidir. Profilin orta çizgiden ayrılmalarının aritmetik ortalamasıdır ve birbiri ardına gelen birkaç L örnekleme uzunluk ortalamasının sonucu olarak belirlenir. Grafiklerdeki R_a değerleri yüzey kalitesinin yetersiz göstergeleridir, yalnızca ortalama sapmayı gösterir ve dalgalılığı içermez. Yüzey pürüzlülüğünü ölçen cihazlardan direkt olarak okunabilir (Şekil 3.14). Bir yüzeyin R_a değeri grafik olarak okunabilir. Bir yüzeyin R_a değeri grafik olarak şu yollar takip edilerek belirtilebilir;

- Önce yüzeyin en alt (dip) tarafına degecek şekilde düz bir (x-x) eksenı çekilir.
- Tam sayıda dalga boyu uzunluğuna sahip olacak şekilde bir (L) uzunluğuna seçilir.
- Planimetri kullanılarak eğri altındaki çizili (A) alanı bulunur. Daha sonra $H_m = A/L$ hesaplanır ve (C-C) eksenı çizilir.



Şekil 3.14. R_a 'nın grafiksel gösterimi (Tlustý ve Polacek, 1963).

- (H_m) yüksekliğindeki eksen çizildikten sonra eksen üzerinde ($P_1 + P_2 + P_3 + \dots$) vs) ve eksen altında ($Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots$) vs) ki alanların toplamı (L) uzunluğuna bölünüp

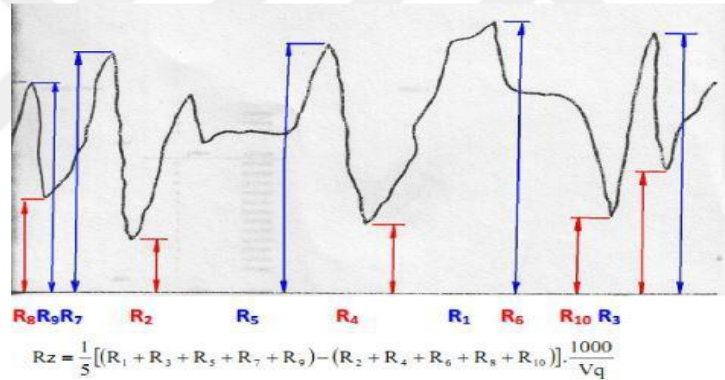
(1000/Vq) ile çarpılırsa Denklem 2.21 ve aynı işlemin integral olarak ifadesinden (Denklem 2.22) yüzeyin ortalama pürüzlülük değeri okunabilir.

$$R_a (\mu\text{m}) = \left(\frac{P_{\text{alanı}} + Q_{\text{alanı}}}{L} \right) \times \frac{1000}{V_q} \quad 3.20$$

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx \quad 3.21$$

Burada, (L) örnekleme uzunluğu, (y) profil ortalama çizgisinden bağımsız dikeydeki yer değiştirmeler, (y₀,...,y_n) profil ortalama çizgisi için pürüz yükseklikleri ve numune uzunluğuna tekabül eden pürüz sayısıdır.

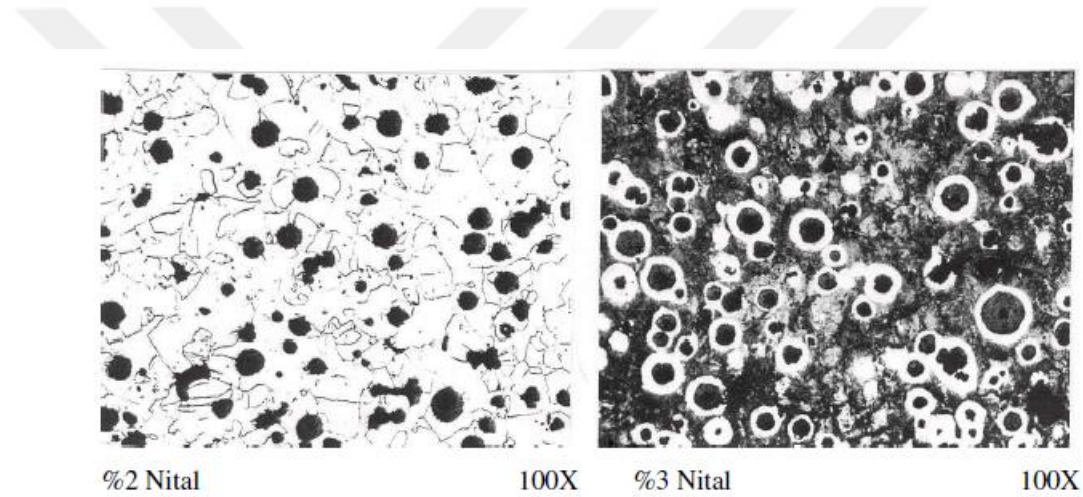
R_z, aynı örnekleme uzunluğunda beş en yüksek tepe ve beş en derin çukur arasındaki ortalama mesafedir (Şekil 3. 15).



Şekil 3.15. Rz'nin grafikten hesabı (Tlustý ve Polacek, 1963).

4. KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLER

Küresel dökme demir kimyasal kompozisyonu gri dökme demirinkinin aynısı olmasına rağmen mukavemet ve süneklikte çeliklere benzerler, fakat üretim şekli farklıdır. Gri dökme demirlerde grafit yapraklarının şekli çatlak oluşturma özelliğinden dolayı gri dökme demirin mukavemetini, tokluğunu ve sünekliğini düşüren ana etkindir. Grafitin yapraksı değilde küresel olması daha yüksek mukavemet ve süneklik sağlar. Böylece dökme çeliklerin mukavemet ve süneklik özellikleriyle, dökme demirlerin düşük maliyet, aşınma direnci ve üzerlerine uygulanan kuvvetleri emme karakteristikleri birleşir. Küresel dökme demirin mikroyapısı Şekil 4.1’de verilmiştir (Rahman, 2002).



Şekil 4.1. Küresel Dökme demirlerin mikroyapı fotoğrafları, a) Ferrit Yapılı, b) Perlit yapılıdır (Rahman, 2002).

4.1. Küresel Dökme Demirin Özellikler

1948 yılında dünyada kullanımı başlanan küresel grafitli dökme demirler, bu tarihten yaklaşık 20 yıl sonra ülkemizde üretilmiştir. 1970’den itibaren üretimi artan küresel grafitli dökme demirler, mühendislik açısından çeliğin birçok avantajını ve dökme demirlerin ekonomik talaşlı işlenebilme özelliğini bir araya getirmektedir. Bu üstün özellikleri sayesinde, kır dökme demir, temper dökme demir ve çelik döküm yerine kullanılır. Yüksek mukavemet ve iyi aşınma direnci istenilen birçok yerde geniş kullanım alanına sahiptir. Örneğin otomobillerde kam ve krank milleri, dişliler ve fren disk kampanaları küresel grafitli dökme demirden üretildiğinde daha iyi sonuç vermektedir. Burada küresel grafitli dökme demir ile üretilmesinin sebebi üstün

işlenebilirlik özelliği ve elastisite modülünün yüksek olmasıdır. Ayrıca çeliğe göre kıyaslandığında daha yüksek aşınma direnci görülmüştür (Gül,1989). Küresel grafitli dökme demirlerin korozyon direnci, farklı koroziyon ortamlarda kır dökme demirin özelliklerine benzerdir. Yüksek sıcaklıklarda ise oksidasyon direnci bakımından, kır dökme demire göre üstünlük sağlar. Bu dökme demirlerin aşınma dirençleri de en iyi gri dökme demirinkine eşdeğer, aynı sertlikteki çeliğe göre önemli derecede üstündür. KGDD'in dayanımı grafit dışındaki matriks yapısına bağlıdır. Farklı cins KGDD'ler, normal gri dökme demirlere kıyasla 3-5 kez daha fazla dayanıma sahiptirler (Gül,1989).

Küresel grafitli dökme demirlerin kullanım alanını genişleten bir başka sebep ise çeliğe uygulanan ısı işlemlere benzer işlemlerle istenilen mekanik özelliklere sahip olabilmesidir (MMO, 1985).

KGDD'lerin genel olarak kullanım alanları şöyledir:

- Otomotiv endüstrisi
- Makine yapımı (Tarım ve hafriyat makinaları)
- Karayolu köprü konstrüksiyon elemanları
- Su boru hatları, pompa, armatür parçaları, merdaneler
- Kimya, petrokimya, deniz suyu tuzsuzlaştırma tesisleri ve gıda makinaları endüstrisinde
- Çelik dökümünde ingotlar (kokil) olarak

4.2. Dökme Demirlerin İşlenebilirliği

Dökme demir kalitelerine ait işlenebilirlik karakteristiklerinin belirlenmesi için yapının ve analiz sonuçlarının dikkate alınmasında yarar vardır.

- Karbon oranı azaldıkça işlenebilirlik düşer.
- Silisyum oranı arttırılmış ferritik dökme demir yapısı daha güçlü ve daha az sünekler.
- Matris içerisinde perlitik oranın arttırılması mukavemeti ve sertliği artırır, işlenebilirliği azaltır.
- Perlit ne kadar ince lamelli ve ince taneli ise işlenebilirliği o kadar düşüktür.
- Matris içindeki yaklaşık % 5 oranındaki serbest karbür işlenebilirliği hızla düşürür.
- İşlenebilirlik açısından serbest karbürlerin etkisi perlitik bir matrise sahip dökme demirler için çok daha olumsuzdur; çünkü perlit matris içerisindeki karbür

parçacıklarını bağlar. Bu ise kesici kenarın en sert parçacıkları ferritik yapıda olduğu gibi yerinden çıkarması veya yumuşak ferrite gömmesi yerine kesmesini gerektirir.

- Döküm üst yüzeyinin sahip olduğu cürufklar veya kum kalıntıları nedeniyle işlenebilirliği düşürür.
- Genellikle bir tip dökme demirin sertliği ve mukavemeti ne kadar artarsa, işlenebilirliği ve kesici takım ömrü o kadar azalır.

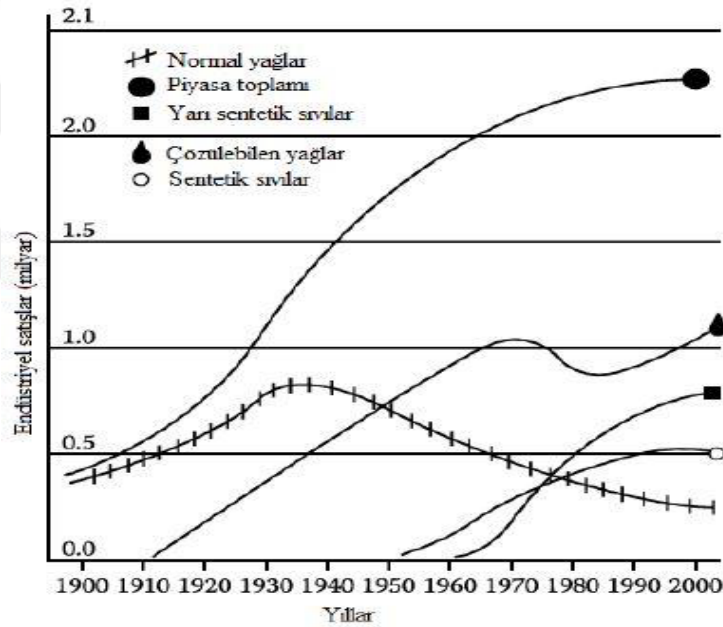
Talaşlı imalat alanında kullanılan dökme demir tiplerinin birçoğunun işlenebilirliği iyidir. İşlenebilirlik katsayısı yapıya bağlıdır. Sert perlitik dökme demirin işlenmesi zordur. Gri dökme demir kısa talaş, temper ve sfero dökme demir prensipte uzun talaş oluşturur. Grafit lamelli dökme demirin ve temper dökme demirin mükemmel işleme özellikleri vardır. Sfero dökme demirin yani küresel grafitlinin işleme özellikleri daha kötüdür (I.Otomotiv ve Yan sanayi Sempozyumu,1985).

Dökme demir işlemede karşılaşılan aşınma tipleri abreziv, adeziv ve difüzyon aşınmalarıdır. Abraziv aşınma genellikle karbürler, kum kalıntıları ve daha sert çil yüzeyler nedeniyle oluşur. Dökme demirin kesici uç üzerine en kolay kaynak olan kısmı ferritik olan kısımdır. Bu durum kesme hızının ve sıcaklığın artırılması ile önlenir. Öte yandan difüzyon aşınması da sıcaklığa bağlıdır ve özellikle yüksek mukavemetli dökme demir kalitelerinde yüksek sıcaklıklarda meydana gelir. Bu kaliteler daha yüksek deformasyon direncine, dolayısıyla daha yüksek çalışma sıcaklıklarına bağlıdır. Bu tip aşınma dökme demirler ile kesici takım arasındaki reaksiyona bağlıdır. Dökme demirlerle ilgili daha iyi yüzey kalitelerinin sağlanması amacıyla bazı işlemler yüksek kesme hızlarında seramik kesici takımlarla gerçekleştirilir.

Dökme demir işlemede aranan tipik kesici takım özellikleri yüksek kızıl sertlik ve kimyasal kararlılıktır. Ancak iş parçası ve işleme koşullarına bağlı olarak tokluk, ısıl darbelere karşı direnç ve mukavemet de kesici kenarın sahip olması gereken özelliklerdir. Sinterlenmiş karbürlerin yanı sıra seramik kaliteler de dökme demir işlemede kullanılır. Dökme demir işlenmesinde iyi sonuçların elde edilebilmesi kesici kenarda aşınmanın ne şekilde geliştiğine bağlıdır. Isıl çatlaklar ve kesici uçtan ufak dökülmeler ucun kırılması sonucunda ani körelmeye, bunun sunucunda da iş parçasından parça kopmalarına, kötü yüzey kalitesine ve aşırı dalgalı yüzeylere neden olur. Genellikle keskin bir kenar için düzenli gelişmiş bir serbest yüzey aşınması şarttır (Çakır, 1999).

5. SOĞUTMA SIVILARI ve MMY

20. yy boyunca metal işlemede kullanılan kesme sıvılarında basit yağlardan su bazlı karmaşık sıvılara geçilerek büyük bir gelişme kaydedilmiştir. Bu gelişme Şekil 5.1'de gösterilmiştir. 1910 – 1920 yılları arasında başlangıç olarak çözülebilen yağlar, saf yağların soğutma özelliklerini güçlendirmek ve sıcağa dayanımını artırmak üzere geliştirilmiştir. Kesme sıvısı içinde bulunan su sayesinde aşınma büyük oranda azalmış olup, bu sayede de takım ömrü artmıştır. Fakat su ile seyreltilmiş kesme sıvıları iş parçası üzerinde paslanmaya sebep olduğundan pas oluşumunun önlenmesi ihtiyacı da ortaya çıkmıştır (Cassin ve Boothroyd 1965).



Şekil 5.1. Kesme sıvısı çeşitlerinin yıllara göre dağılımı (Cassin ve Boothroyd 1965).

Sentetik kesme sıvıları taşlama işlemlerinde çözülebilen yağlara kıyasla daha iyi soğutma ve pas önleme özelliği göstermeleri sebebiyle, ilk kez 1950'lerde piyasaya sürülmüştür. 1970'lerin başında ortaya çıkan yağ kıtlığı, kesme sıvısı üreticilerini yağ bazlı sıvıların yerine kullanılabilir sentetik yağsız sıvılar üretmeleri konusunda cesaretlendirdi. Sentetik sıvıların sağlayacağı yararlar çözülebilen yağlarınkine oranla daha fazladır. Bu faydalar; daha iyi soğutma, iyi bir sert-su kararlılığı sayesinde daha uzun tank ömrü ve mikrobiyolojik bozulmaya karşı dayanıklılıktır. Ancak, çözülebilen yağlar da bakteri

çoğalmasına karşı duyarlılık, daha iyi derecede kayganlık ve atık giderimini kolaylaştırması ile sentetik sıvıların önüne geçmektedir. Her iki sıvı türünde de iyi özelliklerin bulunması, bu sefer de üreticileri yarı sentetik sıvıları geliştirmeye yöneltti. Yarı sentetik sıvılar biraz yağ ve sıkı bir mikro emülsiyon sistemi oluşturması için su içine emülsife edilmiş yağ bazlı katkı maddelerinden oluşmaktadır (Dhar, 2006).

1980'lerde sentetik ve yarı sentetik kesme sıvıları, yüksek yağ içerikli sıvı teknolojisinin yerini alarak olgun pazarda iyice büyüyordu. 1985'te endüstri genelinde kullanılan ve çoğu kesme sıvısını ilgilendiren üç ana bileşen ile ilgili değişiklikler yapıldı. Nitrozamin oluşumunu engellemek amacıyla pas önleyici olarak kullanılan sodyum nitrat kaldırıldı, klorlu parafinler bertaraf edildi ve yağ fabrikaları ağır biçimde hidrojen ile işlem görmüş yağlar veya daha iyi toksikolojik özelliklere sahip artırılmış çözücü yağlar üretmek için arıtma işlemlerini değiştirdiler. 1990'ların başında yağ fiyatları düşmeye başladı ve yağ bazlı kesme sıvıları değerini iyice yitirdi, ardından 2000'li yıllarda yerini tamamen su bazlı karmaşık sıvılara bırakmıştır.

Soğutma sıvılarının kullanılmasının amacı, metallerin plastik deformasyonu ve kesici takım ile malzeme arasındaki sürtünme neticesinde oluşan ısıyı ve sürtünmeyi azaltarak işleme şartlarını sabit bir seviyede tutmaktır. Avantajlarının yanında birçok dezavantajı da bulunmaktadır. Talaşlı imalat işlem maliyetlerinin önemli bir miktarını kesme sıvıları oluştur, kesme sıvılarının kullanımının minimize edilmesi ekonomik açıdan ciddi bir kaybı ortadan kaldırır. Çevre ve insan sağlığı açısından olumsuz etkileri de soğutma sıvısı kullanımını sorgulatır haline getirmiştir ve yeni arayışlara neden olmuştur. Kuru kesme çevre dostu imalatla başarılı sonuçlar verdiği için büyük ilgi toplamıştır. Ancak bazı durumlarda örneğin son yüzey kalitesinin daha yüksek olması ya da ağır kesme koşullarının gerektiği durumlarda verimli olamadıkları görülmüştür (Cassin ve Boothroyd, 1965).

5.1. Minimum Miktarda Yağlama Tekniği (MMY)

Minimum miktarda yağlama, isminden de anlaşılacağı gibi, çok küçük yağ damlalarının hava ile karışmasıyla birlikte, kesici takım ve iş parçası arasında ince bir yağ katmanı oluşturarak sürtünmeyi azaltır ve ısınmayı minimum seviyede tutar, böylece takım değiştirmeden daha uzun çalışma süreleri ve işlenmiş parça sayıları elde edilir. Yüksek ısınmaya maruz kalmayan takımın ömründe birkaç kata varan artış sağlanır. İşlem esnasında gerekli olan

minimum seviyede yağ kullanımı olduğundan gözle görülür bir yağ atığı oluşmaz. Bu sayede atık bertaraf ve işgücü konularında tasarruf edilmesini sağlar.

Yakın geçmişte, kuru ve kuruya yakın talaşlı imalat işlemlerinde önemli ilerlemeler kaydedildi, Minimum miktarda yağlama tekniği özellikle çevre dostu karakteristiği sayesinde başarılı bir kuruya yakın kesme uygulaması olarak kabul görüldü. Eski sistemlerde, yağlama soğutma işlemini gerçekleştirmek için %95 su, %5 yağ kullanılmaktaydı. Bu işlemlerin işlem üzerinde ki etkisi büyük oranda soğutma üzerine olmakta, yağlama anlamında gerekli verim alınamamakta ve bununla beraber oluşan ortam kirliliği, işgücü, verimlilik çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktaydı. MMY sisteminin uygulanmasıyla birlikte, yağlayıcı miktarı ve performansında büyük oranda avantaj sağladığı görülmüştür. Bununla birlikte, takımların bakım, değiştirme ve işlem sonrası oluşan atık bertaraf maliyetlerinde çok önemli ölçülerde de tasarruf sağladığı görülmüştür. MMY sistemi ile kesme yapmanın bir diğer avantajı ise talaş ve iş parçası neredeyse kuru bir şekilde kalır bu talaşın geri dönüşüm maliyetlerini düşürür MMY sistemlerinin üretim kalitesine katkısı, çalışma prensibinin basınçlı hava ve yağ karışımıyla madde üzerine etki etmesidir. Basınçlı havanın görevi burada yağ püskürtmek değildir. Uygulama esnasında, madde üzerinde oluşan talaş da uzaklaştırmakta, dolayısı ile çok daha temiz bir yüzey elde edilmesini sağlamaktadır (Dhar, 2006).

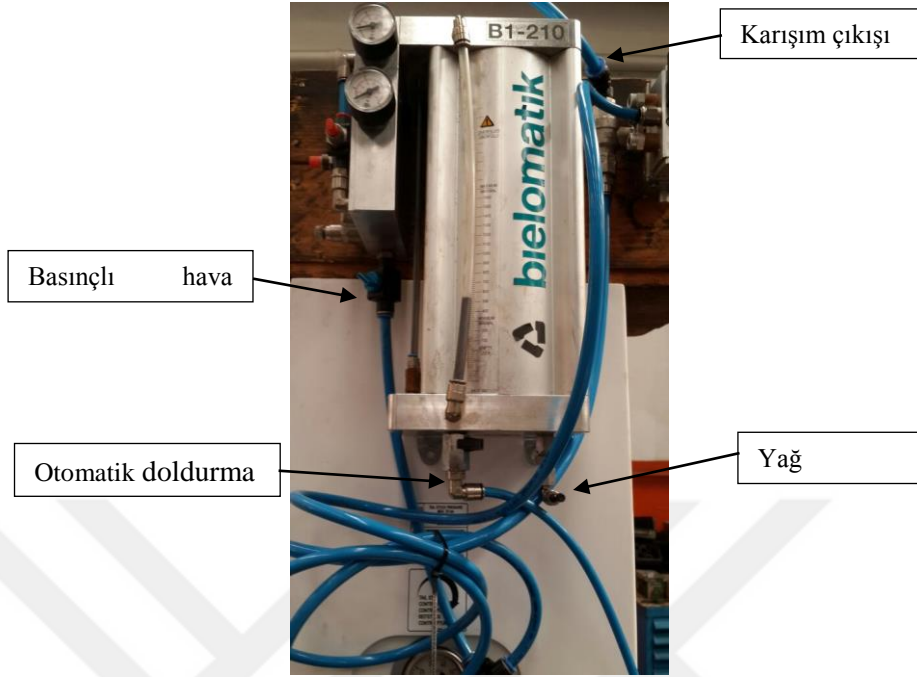
6. MALZEME VE YÖNTEM

Tez çalışması kapsamında, talaşlı imalat operasyonları içerisinde önemli yer tutan frezeleme operasyonlarında minimum miktarda yağlama (MMY) şartlarının işlenebilirlik üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda, MMY içine nano boyutlu katı yağlayıcı MoS₂ karıştırılmış ve GGG70 küresel grafitli dökme demir frezelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve talaş geometrileri incelenmiş ve özellikle nano-MoS₂'nin etkileri araştırılmıştır.

Bu bölümde çalışmada kullanılan, MMY sistemi, soğutma sıvısı, nano MoS₂, deney malzemesi, takım tezgâhı, kesici takım ve tucusu açıklanmıştır. Ayrıca deney parametreleri ve elde edilen sonuçlara uygulanacak değerlendirme ölçütleri açıklanmıştır.

6.1. MMY Sistemi

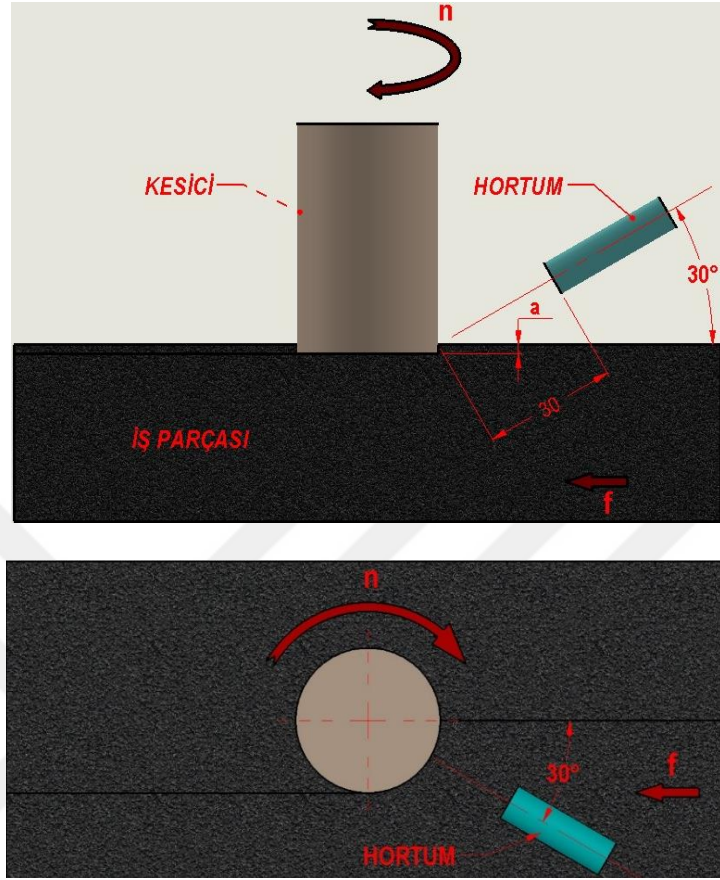
Frezeleme deneylerinde ticari olarak satışı olan Bielomatik marka B1-210 serisi MMY sistemi kullanılmıştır (Şekil 6.1). Temin edilen sistem ile minimum miktardaki yağ basınçlı hava ile karıştırılarak kesme bölgesine gönderilmektedir. Çizelge 6.1'de MMY sisteminin bazı özellikleri verilmiştir. Deneylerde değişken olarak kullanılan basınç ve gönderilen akışkan miktarı sistem üzerindeki valfler aracılığı ile elle ayarlanmıştır. Sistemde mineral, sentetik ester, bitkisel esaslı yağlar kullanılabilir. Ayrıca çözelti yağlar (su ile karıştırılan) da kullanılabilir. Deneysel çalışmalarda yağlayıcının kesme bölgesine ulaştırılmasında 6 mm çaplı esnek polimer hortum kullanılmıştır. Hortum ucuna herhangi bir uç takılmadan direkt yağ-hava karışımı gönderilmiştir. Kesme bölgesine etkili püskürtme yapabilmek için hortumun doğru konumlandırılması önemlidir. Uygun konumun bulunmasına yönelik yapılan çalışmalarda, ilerleme yönünün, aynı ya da zıt yönlü frezeleme oluşunun ilk değerlendirilecek unsurlar olduğu görülmektedir. Ayrıca püskürtme ucunun kesme bölgesine olan mesafesi, yatay ile yaptığı açı ve kesici takımın karşısındaki yeri de araştırılmıştır. Buna göre mesafenin yaklaşık 30 mm, yatay ile yapılan açının 30-45° ve kesici konumunun da etkili soğutmayı ve talaş akışını sağlayacak biçimde olması önerilmektedir (Wang vd., 2015; Yan vd., 2012; Liu vd., 2015). Bu çalışmada püskürtme için konumlandırma koşulları Şekil 6.2'de verildiği gibi belirlenmiştir. Ayrıca, Şekil 6.3'de püskürtme konumunu gösteren deney sırasında çekilmiş fotoğraf görülmektedir.



Şekil 6.1. Deneylerde kullanılan MMY sistemi.

Çizelge 6.1. Bielomatik B1-210'un teknik özellikleri ve uygulama alanları.

Özellikler	
Kapasite	1,8 litre
Basınçlı hava giriş basıncı	5-10 bar
Yağlama miktarı ayarı	Elle (3 farklı ayar)
Basınç seviye ayarı	Mekanik
Doldurma	Otomatik
Boyut	460x290x170 mm
Uygulama alanları	
Transfer tezgâhları, Freze tezgâhları, Delik işleme tezgâhları, İşleme merkezleri, Çok millî işleme merkezleri.	



Şekil 6.2. MMY püskürtme konumunun şematik önden ve üstten görüntüsü.



Şekil 6.3. Frezeleme deneyi sırasında MMY püskürtme konumu.

6.2. Soğutma Sıvısı ve Nano Toz

6.2.1. Soğutma sıvısı

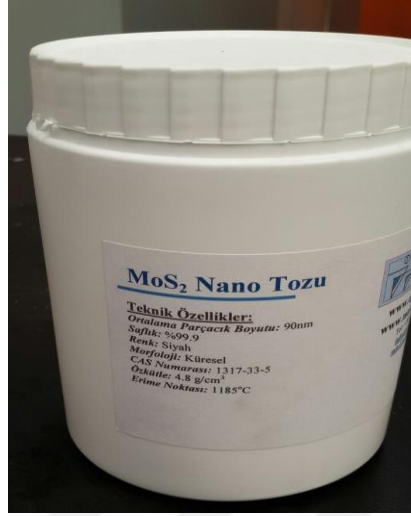
Çalışmanın ana unsurlarından olan soğutma sıvısı imalat endüstrisinin ilk tecih olan emülsifiye yağlardan seçilmiştir. Bunun için belirli oranlarda su ile karıştırılabilen ERALUBE™ BIO CF 350 ticari ismiyle satılan yağ seçilmiştir. Bu yağ, her türlü alaşımlı ve alaşımsız tüm metallerin orta ve ağır işleme operasyonları için geliştirilmiş yüksek performanslı, yarı sentetik kesme sıvısıdır. Tavsiye edilen karışım oranı % 5 ile % 6 arasındadır. Operasyonun zorluğuna göre örneğin broş operasyonlarında %10'a kadar çıkılabilir (www.eralube.com). Bu yağın bazı özellikleri Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2. ERALUBETM BIO CF 350'nin özellikleri (www.eralube.com, 2017).

Yoğunluk 20°C	0,99 g/cm ³
Min. Konsantrasyon %	5
PH değeri %5	9,2
Ref. Katsayısı	1,2
Emülsiyon görünüşü	Opak beyaz
Yüksek basınç dayanımı	Var

6.2.2. Nano-MoS₂ tozu

Çalışmada, GGG 70 malzemenin frezelenmesinde MMY sisteminde kesme sıvısına nano MoS₂ tozları karıştırarak işleme performansı araştırılmıştır. MoS₂ katı yağlayıcı özelliğinden dolayı yüksek sıcaklık, basınç ve yüklerde kullanılan gres yağlarının içerisine katılmaktadır (<http://www.eralube.com/index.php?op=urunler>). Nano MoS₂ tozları Ege-Nanotek firması aracılığı ile Almanya'dan temin edilmiştir. Nano MoS₂ tozlarının teknik özellikleri Çizelge 6.3'te verilmiştir.



Şekil 6.4. Çalışmada kullanılan nano MoS₂ tozları.

Çizelge 6.3. Nano MoS₂ tozlarının teknik özellikleri.

Morfoloji	Saflık (%)	Ortalama Çap (nm)	Erime Noktası (°C)	Özkütle (gr/cm ³)	Renk
Küresel	% 99,9	90	1185	4,8	Siyah

6.2.3. Kesme sıvısı karışımının hazırlanması ve nano-MoS₂ tozlarının karıştırılması

İlk olarak tavsiye edilen % 5 (1:20) karışım oranında su ve ERALUBE™ BIO CF 350 karıştırılmıştır. Cam beher kullanılarak aynı karışım oranına sahip 1'er litre hacimlerde 5 adet karışım elde edilmiştir. Kesme sıvısının karışım öncesi Şekil 6.5.a'da ve sonrası görünüm örneği Şekil 6.5.b'de verilmiştir.

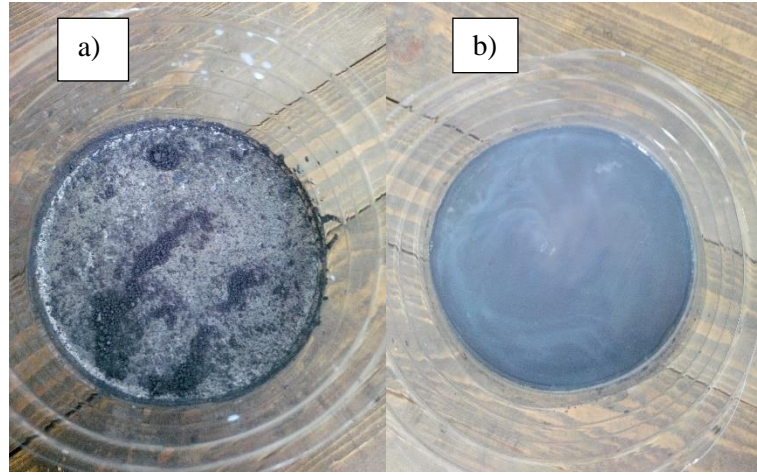


Şekil 6.5. a) Kesme sıvısının karışım öncesi, b) sonrası görünüm örneği.

Nano MoS₂ tozları deney parametreleri doğrultusunda ağırlıkça % 0,5-1 ve 1,5 oranına uygun olacak miktarlarda hassas terazide tartıldıktan sonra ultrasonik karıştırıcı kullanılarak emülsiyon kesme sıvısının içine karıştırılmıştır. Bu tip nano tozların bir sıvı içerisinde maksimum homojenlikte dağıtılabilmesi için en uygun karıştırma yönteminin ultrasonik karıştırma olduğu bilinmektedir (Yıldırım, 2016). Nano MoS₂ tozlarının kesme sıvısına karıştırılması için Şekil 6.6 'da verilen Sonics Vibracell VCX-750 marka ultrasonik karıştırıcı kullanılmıştır. Homojen dağılım için 40 dakika ultrasonik karıştırma işlem süresi uygulanmıştır. Başlangıçta topaklar halinde (Şekil 6.7.a) olan nano MoS₂ tozları ultrasonik karıştırma işleminden sonra sıvı içine dağılmıştır (Şekil 6.7.b).



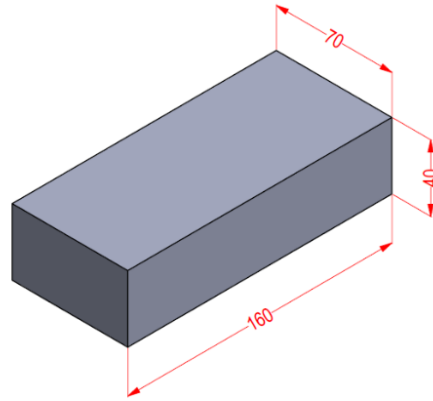
Şekil 6.6. Ultrasonik karıştırıcı.



Şekil 6.7. a) Topaklar halinde olan nano MoS₂, b) Karıştırma işleminden sonra nano MoS₂.

6.3. Deney Malzemesi

Deneyleerde GGG-70 (EN-GJS-700-2) sınıfı küresel grafitli dökme demir kullanılmıştır. Küresel greftitli dökme demirler, dökme demire küçük oranlarda mağnezyum ve/veya seryum ilavesi ile elde edilirler. Ana matris içinde küresel formu grafitler oluşur. Mekanik özellikleri neredeyse çeliğinkine yakındır ve dökülebilirliği iyidir. Bu nedenle yüksek mukavemet ve aşınma direnci istenen yerlerde yaygın kullanım alanı bulurlar (Callister ve Rethwisch, 2013). GGG- 70 iyi işlenebilirlik ve yüzey kalitesinin yanında yüksek mukavemet ve aşınma direncine sahiptir. Bunun yanı sıra ses ve titreşim sönümleme özelliği de iyidir. Yüksek dayanım dişlileri, otomotiv ve makine dişlileri, tavan vinçleri tekerlekleri imalatında tercih edilmektedir (Çakır, 2006). Deney numuneleri, Ahmet Tekeci Döküm isimli firmada 70x160x40 mm ölçülerinde (Şekil 6.8) dökülmüştür. Şekil 6. 9'da döküm sonrası deney numuneleri görülmektedir. Çizelge 6.4'de GGG-70 malzemenin analiz sonrası özelliklerinin bazıları verilmiştir. Detaylı analiz sonuçları da Ek-1'de verilmiştir.



Şekil 6. 8. Deney numunesinin ölçüleri.



Şekil 6.9. Döküm sonrası deney numuneleri.

Çizelge 6.4. GGG-70 malzemenin özellikleri.

Kimyasal Analiz %	C	Si	Mn	S	Mg	P	Denge
	3,8421	2,3013	0,1415	0,0162	0,0506	0,0226	Kalan
Mekanik Özellikler	Çekme Mukavemeti				661,40 N/mm ²		
	Akma Mukavemeti				416,27 N/mm ²		
	Sertlik				271 HB		
	Yoğunluk				7		
	Yüzde Uzama				1.94		
Matris Yapı				Perlitik			

6.4. Kullanılan Takım Tezgâhı

Frezeleme deneyleri Çizelge 6.5’de teknik özellikleri Şekil 6.10’da resmi verilen AWEA BM-850 CNC dik işlem merkezinde gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 6.5. Kullanılan takım tezgahının özellikleri.

X-ekseni hareketi	850 mm
Y-ekseni hareketi	600 mm
Z-ekseni hareketi	600 mm
Tezgah gücü	7,5 kW
Devir sayısı	8000 d/dak.
Kesme ilerlemesi	1-15 m/dak.
Fener mili koniği	BT-40
Tabla yükleme kapasitesi	850 kg
İşletim sistemi	FANUC Oi - MF



Şekil 6.10. Frezeleme deneylerinde kullanılan CNC dik işlem merkezi.

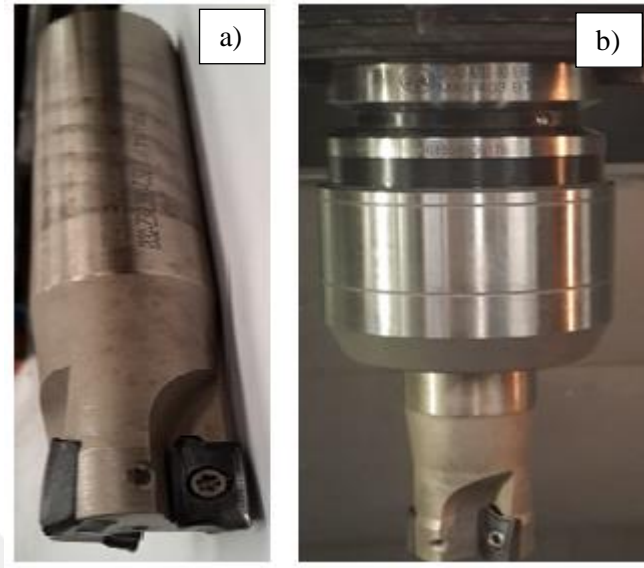
6.5. Kullanılan Kesici Uçlar ve Takım Tutucu

Tüm talaşlı imalat ile işlenen diğer malzemelerde olduğu gibi, küresel grafitli dökme demirlerin (KGDD) işlenmesinde de kesici uç özelliklerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. KGDD için kesici seçiminde rarnacak özellikler genel olarak dökme demirler ile aynıdır. Buna göre, yüksek kızıl sertlik, kimyasal kararlılık, tokluk, ısıl darbelere karşı direnç ve mukavemet aranacak özellikler arasındadır. Genellikle sinterlenmiş karbürler ve uygun seramik kaliteleri tercih edilmektedir (Çakır, 2006). Frezeleme deneylerinde Lamina Technologies firması

tarafından üretilen APKT 1705 PETR LT 30 kodlu PVD yöntemi ile Al_2O_3 kaplanmış karbür kesici uçlar (Şekil 6.11) kullanılmıştır. Bu uçlar başta yüzey ve kanal frezeleme olmak üzere hemen hemen tüm frezeleme işlemlerinde kullanılabilen çok amaçlı uçlardır. Uç yarıçapı 0,8 mm'dir. Mekanik sıkımalı değiştirilebilir bu uçlar için MBC marka ve Ø 32- Z3-L200-C32 kodlu takım tutucu ve Eroğlu marka SK 40-6/32-90-ERP kodlu bilyalı pens (Şekil 6.12) seçilmiştir. Kullanılacak kesici ucun kalitesinin (grade), seçiminde dökme demirlerin işlenmesinde uygunluğu dikkate alınmıştır. Çizelge 6.6'da kullanılan kesici takımın ve takım tutucuya ait bilgiler verilmiştir.



Şekil 6.11. Kullanılan kesici uçlar.



Şekil 6.12. a) Takım tutucu, b) Bilyalı pens bağlantısı.

Çizelge 6.6. Kesici uç ve takım tutucu teknik özellikleri.

Kesici Uç	APKT 1705 PETR LT 30
	
Uç Yarıçapı	0,8 mm
Boşluk Açısı	11°
Kenar uzunluğu	17 mm
Uç kalınlığı	5,56 mm
Kenar geometrisi	Pahlı
Kalite	Çok amaçlı
Takım tutucu	Ø 32- Z3-L200-C32
Yaklaşma açısı	90°

6.6. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Her frezeleme deneyinden sonra yüzey pürüzlülükleri, işleme kalitesinin ve etkilendiği parametrelerin tespiti için ölçülmüştür. İşlenmiş yüzeyin üç farklı bölgesinden R_a ve R_z ölçümleri yapılmış ve bunların ortalamaları alınarak değerlendirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri için TIME TR200 taşınabilir izleyici uç tip pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu

cihazın teknik özellikleri Çizelge 6.7’de verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde örnekleme ve değerlendirme uzunlukları ilerleme değerleri dikkate alınarak sırasıyla 0,25 mm ve 1,25 mm alınmıştır. Kesme deneyi sonrasında pürüzlülük ölçümü sırasında çekilen fotoğraf Şekil 6.13’de verilmiştir.

Çizelge 6.7. Kullanılan yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri.

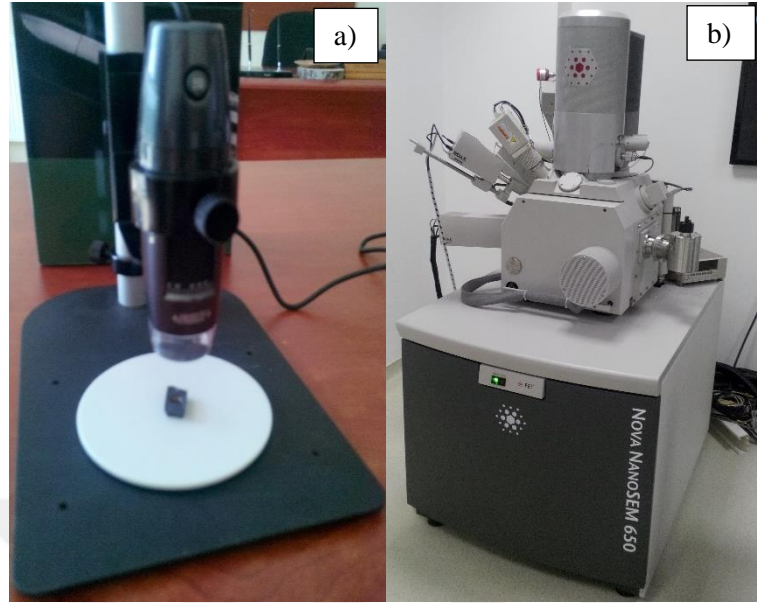
Model	TIME TR200
Tarama hızı	0,5 mm/s
Ölçme kuvveti	4 mN
Standartlar	ISO/DIN/JIS
İğne uç yarıçapı	5 μ m
Değerlendirme uzunluğu	1-5 mm
Örnekleme uzunluğu (cut-off length)	0,25-0,8-2,5 (mm)
Hassasiyet	\pm % 10’den daha az



Şekil 6.13. Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi.

6.7. Takım Aşınmalarının Tespiti

Çalışma kapsamında, nano MoS₂ katkılı ve katkısız MMY’nin kullanılan kesici uçlar üzerindeki takım aşınmasına etkileri işlenebilirlik değerlendirmesini daha detaylandırmak için Bu amaçla deneylerden sonra kesici uçların görüntüleri INSIZE elektronik mikroskop (Şekil 6.14.a) kullanılarak çekilmiştir. Bu görüntülerin ışığında gerekli görülen kesici uçların taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri Dumlupınar Üniversitesi İLTEM’de bulunan SEM cihazı (Şekil 6.14.b) kullanılarak alınmıştır. Tüm bu görüntüler aracılığı ile meydana gelen aşınma tipleri ve mekanizmaları değerlendirilmiştir.



Şekil 6.14. a) Elektronik mikroskop, b) Taramalı elektron mikroskobu (SEM).

6.8. Deney Parametreleri ve Değerlendirme Ölçütleri

Çalışma kapsamında yapılan literatür araştırması ve kesici takımlara ait tavsiye bilgilerinin ışığında frezeleme deneylerinde kullanılacak parametreler ve seviyeleri belirlenmiştir. Özellikle kesme parametrelerin belirlenmesi aşamasında öncelikli olarak bir dizi deneme deneyi yapılarak uygun olabilecek değerler belirlenmeye çalışılmıştır. Kesme parametreleri deneylerde sabit tutulmuştur. Herbir deneyde takım tutucuya bir adet kesici uç takılmıştır. Çizelge 6.8’de deney parametreleri ayrıntılı olarak verilmiştir. Her bir frezeleme deneyi, Şekil 6.8’de ölçüleri verilen deney numunesi üzerinde kesici takım çapının yaklaşık % 60 oranında olan 20 mm kesme genişlikte ve boydan boya 4 mm kesme derinliğinde yapılmıştır. Böylece bir parça üzerinde 3 farklı deney yapılmıştır. Frezeleme operasyonları için genellikle ilk tercih olarak tavsiye edilen aynı yönlü frezeleme yöntemi kullanılmıştır. Her bir deneyden sonra ölçülen pürüzlülük değerlerinin ortalamaları alındıktan sonra bu sonuçların deney parametreleri ile olan ilişkilerini belirlemek için ilişki grafikleri hazırlanmıştır. Takım aşınmasının tipi ve mekanizmalarının tespit edilebilmesi için elektronik mikroskop ve SEM görüntüleri ile EDX analizleri değerlendirilmiştir. Aynı görüntüleme yöntemleri kullanılarak talaş formları da incelenmiştir. Yapılan bu değerlendirmelerden sonra elde edilen sayısal sonuçların deney parametreleri ile olan ilişkilerinin istatistiksel olarak anlamlılıklarını belirlemek

için Minitab 17 yazılımı kullanılarak varyans analizi (ANOVA), Tukey ve Dunnet testleri yapılmıştır.

Çizelge 6.8. Deney parametreleri.

Değişken parametreler				
Deney Parametreleri	Seviyeler			
	1	2	3	4
Kuru	----	----	----	----
Geleneksel yağlama	----	----	----	----
Minimum miktarda yağlama (MMY)	MMY	MMY + % 0,5 MoS ₂	MMY + % 1 MoS ₂	MMY + % 1,5 MoS ₂
Basınç (bar)	3	5	7	----
Akışkan miktarı (ml/saat)	160	310	----	----
Sabit parametreler				
Kesme Hızı	300 m/dak			
İlerleme	0.2 mm/devir			
Kesme derinliği	4 mm			
Kesme genişliği	20 mm			
Frezeleme yöntemi	Aynı yönlü alın (yüzey) frezeleme			

7. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Deneylemlerden elde edilen sonuçlar hem grafiksel hem de istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Bu amaçla varyans analizleri ve Tukey testleri yapılmıştır. Ayrıca kesici takım aşınma eğilimlerini belirlemek için kesici uçların tarama elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri alınmıştır. Çıkan talaşların SEM görüntüleride incelenmiştir.

Çizelge 7.1. Deneysel sonuçlar.

Deneysel No	Soğutma	% MoS ₂	Basınç Bar	Akış Hızı ml/min	Ra1	Ra2	Ra3	Ra ort	Rz1	Rz2	Rz3	Rz ort
1	Kuru	.....	.....	.....	0,88	0,81	0,83	0,84	5,63	5,10	5,34	5,36
2	Norm.Püs.	.....	.....	.....	0,67	0,68	0,68	0,68	4,04	3,98	4,02	4,01
3	MQL	0	3	160	0,64	0,63	0,67	0,65	4,05	3,90	4,55	4,17
4	MQL	0	3	310	0,82	0,67	0,88	0,79	5,11	3,71	4,59	4,47
5	MQL	0	5	160	0,78	0,51	0,50	0,60	4,25	3,42	3,06	3,57
6	MQL	0	5	310	0,79	0,86	0,51	0,72	3,92	5,70	3,34	4,32
7	MQL	0	7	160	0,56	0,61	0,70	0,62	3,11	3,46	4,56	3,71
8	MQL	0	7	310	0,67	0,88	0,60	0,72	3,91	4,50	3,31	3,91
9	MQL	0,5	3	160	0,55	0,58	0,85	0,66	3,53	3,73	4,11	3,79
10	MQL	0,5	3	310	0,68	0,51	0,35	0,51	3,62	3,03	2,41	3,02
11	MQL	0,5	5	160	0,47	0,55	0,39	0,47	2,95	3,54	2,75	3,08
12	MQL	0,5	5	310	0,52	0,84	0,53	0,63	2,81	4,82	2,71	3,45
13	MQL	0,5	7	160	0,59	0,72	0,51	0,61	3,68	4,15	2,47	3,43
14	MQL	0,5	7	310	0,73	0,64	0,55	0,64	4,48	4,11	3,38	3,99
15	MQL	1	3	160	0,56	0,54	0,42	0,51	3,57	3,19	2,38	3,05
16	MQL	1	3	310	0,68	0,54	0,65	0,62	3,80	2,90	3,66	3,45
17	MQL	1	5	160	0,41	0,55	0,54	0,50	2,78	4,17	3,60	3,52
18	MQL	1	5	310	0,63	0,55	0,63	0,60	2,99	2,72	2,87	2,86
19	MQL	1	7	160	0,54	0,59	0,46	0,53	2,83	3,42	3,45	3,23
20	MQL	1	7	310	0,76	0,50	0,44	0,57	5,47	2,74	2,84	3,68
21	MQL	1,5	3	160	0,66	0,50	0,49	0,55	4,00	3,27	2,69	3,32
22	MQL	1,5	3	310	0,79	0,69	0,74	0,74	4,31	3,75	4,10	4,05
23	MQL	1,5	5	160	0,57	0,38	0,54	0,50	3,27	2,65	3,79	3,24
24	MQL	1,5	5	310	0,66	0,50	0,67	0,61	3,98	3,07	4,46	3,84
25	MQL	1,5	7	160	0,71	0,75	0,78	0,75	3,79	4,50	4,53	4,27
26	MQL	1,5	7	310	0,65	0,61	0,58	0,61	4,15	3,46	3,72	3,78

Deneyler sonrasında ölçülen değerler Çizelge 7.1’de ayrıntılı olarak verilmiştir. Çizelge analitik olarak değerlendirildiğinde, en düşük Ra değerinin 5 bar basınç, 160 ml/dak akış hızı ve MMY +% 0,5 MoS₂ püskürtme şartlarında 0,47 µm olarak ölçülmüştür. Rz için 5 bar basınç, 310 ml/dak akış hızı ve MMY +% 1 MoS₂ püskürtme şartlarında 2,86 µm olarak ölçülmüştür. En yüksek Ra değeri kuru işlemede 0,86 µm, ve Rz değeri de 5,36 µm ölçülmüştür. Burada, Ra değerinde % 45 değerinde bir azalma elde edilmiştir ki oldukça iyi bir sonuç olduğu söylenebilir. Rz için ise azalma oranı % 55 düzeyinde olmuştur.

7.1. Yüzey Pürüzlülüğü

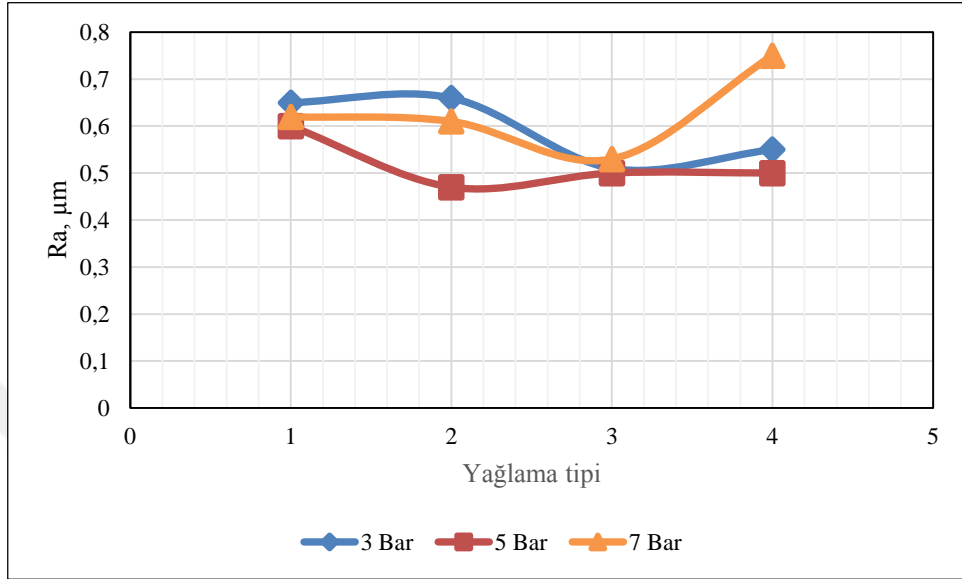
Deney parametreleri doğrultusunda yapılan her bir kesme deneyinden sonra, işlenen yüzeyler üzerinden ortalama pürüzlülük değerleri (R_a ve R_z) ölçülmüştür. Ölçülen değerler ile kesme parametreleri arasındaki ilişkileri gösteren grafikler Şekil 7.1 ve 7.4’te verilmiştir. Grafiklerde eğriler akış hızı, basınç ve genel bakışa göre hazırlanmıştır. Eğrilerde soğutma-yağlama işlem tipine (SYİ) göre oluşturulmuştur. Bu işlem tipleri için kodlama aşağıdaki çizelgede verildiği gibidir. Bu kodlamalar sadece Şekil 7.1-7.4’te verilen grafiklerde kullanılmıştır. Her bir kod değerinde ölçülen değerlerin ortalaması grafiğe aktarılmıştır.

Çizelge 7.2. MMY (MQL) için SYİ tipi kodları.

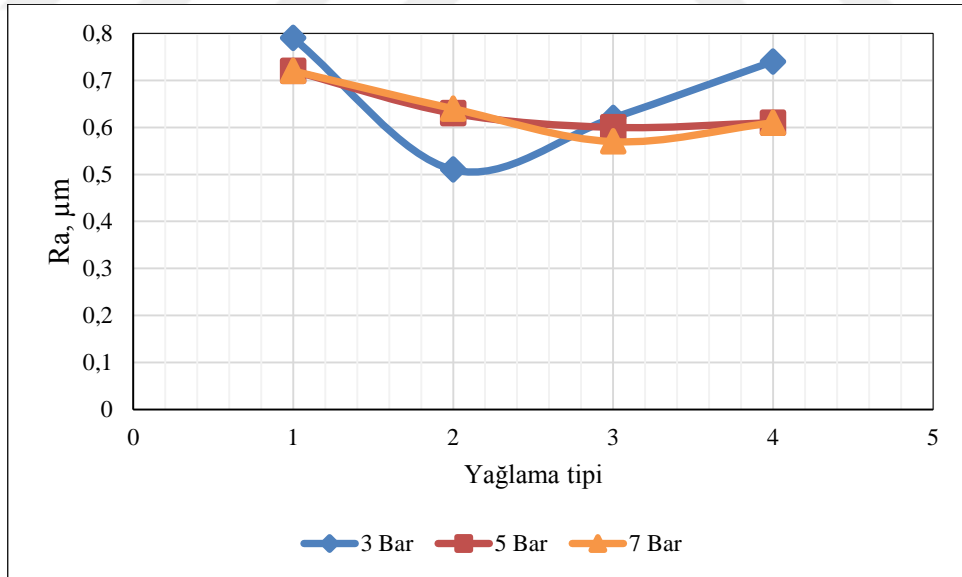
SYİ tipi	Kod
MMY püskürtme	1
MMY + % 0,5 MoS ₂ püskürtme	2
MMY + % 1 MoS ₂ püskürtme	3
MMY + % 1,5 MoS ₂ püskürtme	4

Şekil 7.1’de 160 ml/saat için Ra değerlerinin SYİ tipine göre değişimi gösterilmiştir. Burada, 3 bar püskürtme basıncında nano MoS₂ katkısının Ra değerini düzenli olarak azalttığı görülmektedir. % 1 MoS₂ katkısına kadar tüm basınç değerlerinde pürüzlülük değeri azalma eğilimindedir. Bu noktadan sonra % 1,5 MoS₂ katkısına doğru Ra tekrar bir artış göstermiştir (Jiang vd., 2010). Ra için ortalama en yüksek pürüzlülük 7 bar basınç değerinde, en düşük pürüzlülük ise 5 bar değerinde MMY +%1 MoS₂ püskürtme şartlarında görülmüştür. Şekil 7.2’de 310 ml/saat akış hızında Ra değerlerinin SYİ tipine göre değişimi verilmiştir. Burada 3 bar basınç değerinde düzensiz bir değişim görülmektedir. Ayrıca en yüksek ve en düşük Ra değerleri de bu basınç değerinde çıkmıştır. Genel olarak diğer basınç şartlarında nano MoS₂

katkısının Ra değerini düzenli olarak azalttığı görülmektedir. Şekil 7.1. ve 7.2. karşılaştırıldığında artan akış hızı Ra değerini bir miktara arttırmıştır.



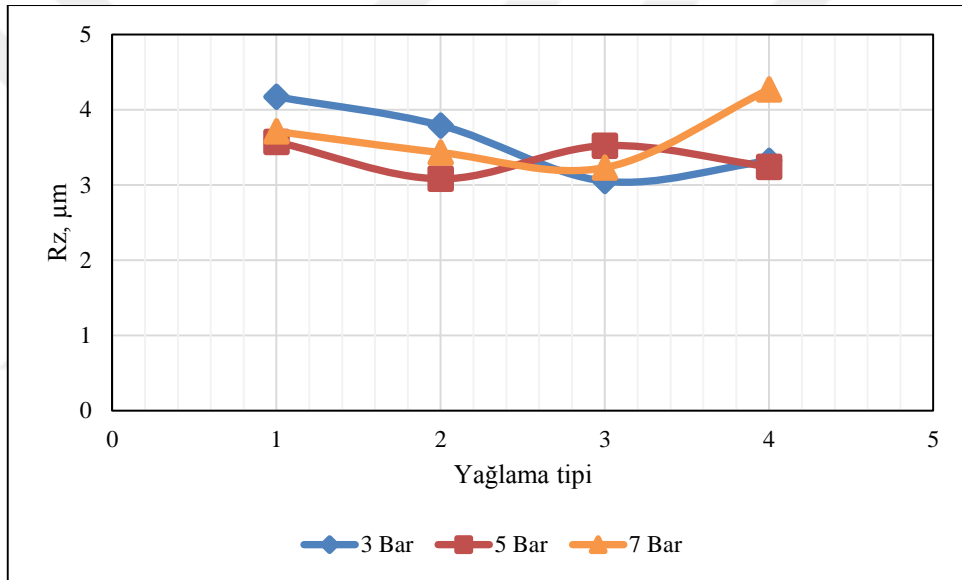
Şekil 7.1. 160 ml/saat için Ra değerlerinin SYİ tipine göre değişimi.



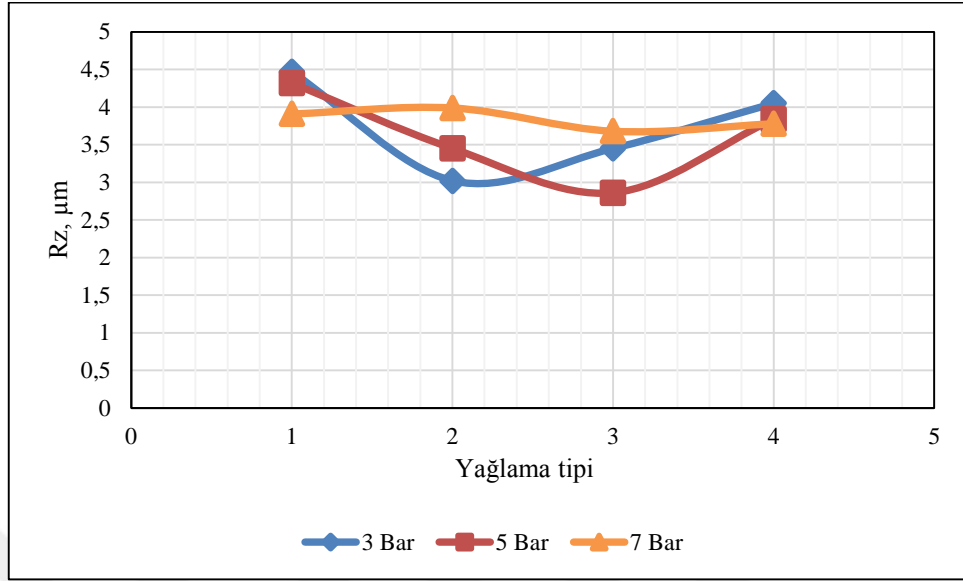
Şekil 7.2. 310 ml/saat için Ra değerlerinin SYİ tipine göre değişimi.

Şekil 7.3'te 160 ml/saat akış hızı için Rz değerlerinin SYİ tipine göre değişimi gösterilmiştir. Burada da % 1 MoS₂ katkısına kadar tüm basınç değerlerinde pürüzlülük değeri

azalma eğilimindedir. Bu noktadan sonra % 1,5 MoS₂ katkısına doğru Rz tekrar bir artış göstermiştir (Jiang vd., 2010). En yüksek pürüzlülük 7 bar basınç değerinde, en düşük pürüzlülük ise 3 bar değerinde MMY + % 1 MoS₂ püskürtme şartlarında görülmüştür. Buna çok yakın olarak 5 bar basınç ve MMY + %0,5 MoS₂ püskürtme şartlarında elde edilmiştir. Şekil 7.4'de 310 ml/saat akış hızında Rz değerlerinin SYİ tipine göre değişimi verilmiştir. Burada 7 bar basınç değerinde belirgin bir değişim görülmemektedir. Ayrıca en düşük Rz değerleri 5 bar basınç ve MMY + % 0,5 MoS₂ püskürtme şartlarında elde edilmiştir. 3 bar basınç ve MMY püskürtme şartlarında en yüksek pürüzlülük değerinin çıktığı görülmektedir. Şekil 7.3. ve 7.4. karşılaştırıldığında artan akış hızı birçok parametre seviyesi için artış göstermiştir.



Şekil 7.3. 160 ml/saat için Rz değerlerinin SYİ tipine göre değişimi.

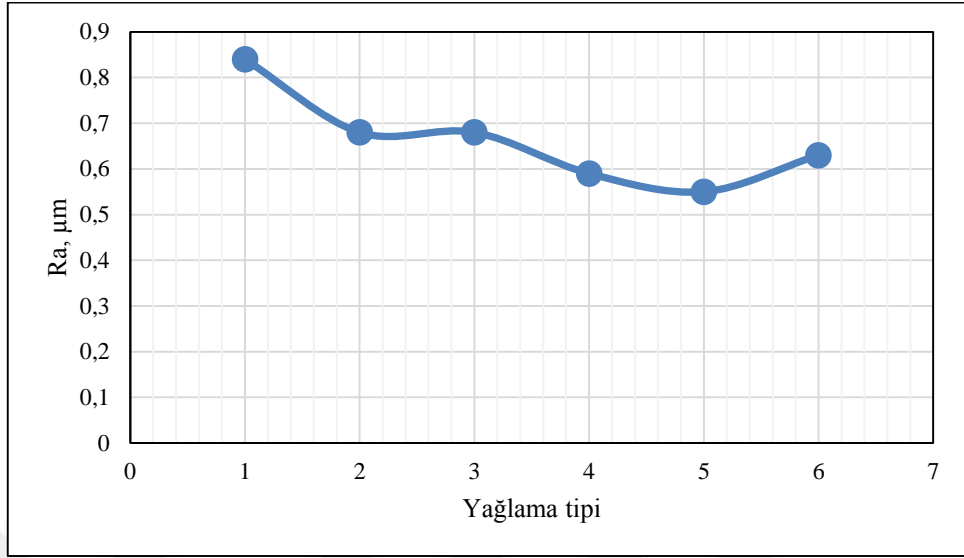


Şekil 7.4. 310 ml/saat için Rz değerlerinin SYİ tipine göre değişimi.

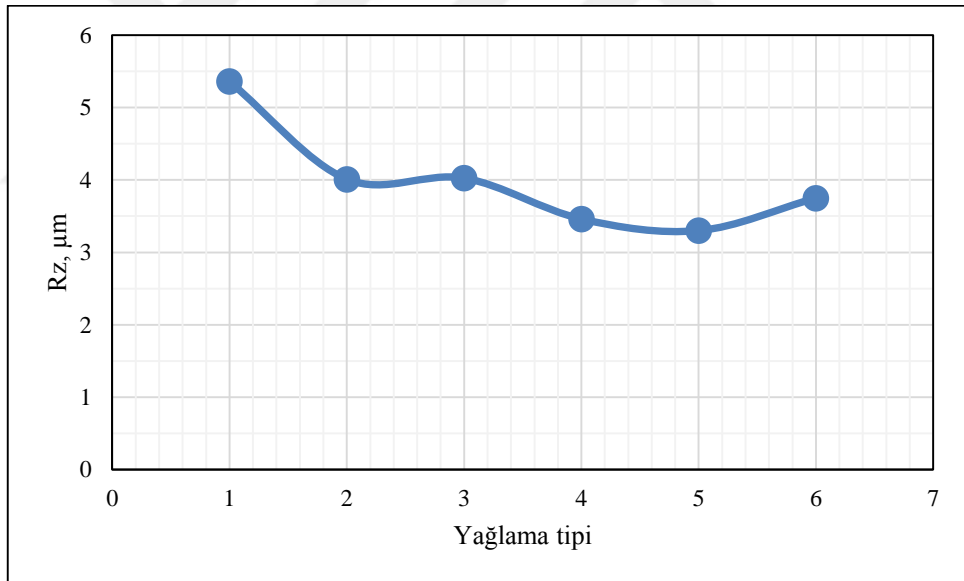
Tüm sonuçların değerlendirilmesini yapabilmek için Şekil 7.5. ve 7.6. hazırlanmıştır. Buradaki kodlamalar Çizelge 7.3’de verildiği şekliyle kullanılmıştır. Grafikteki her bir nokta o parametrede yapılan deneylerin ortalama değerini temsil etmektedir. Ra değerleri için Şekil 7.5’e bakıldığında, kuru frezeleme işleminde en yüksek ortalama Ra değerinin elde edildiği görülmektedir. Normal püskürtme ve MMY şartlarına pürüzlülük değerinin azaldığı görülmektedir. MMY+% 1,5 MoS₂ püskürtme şartları dışında nano MoS₂ katkısının pürüzlülüğü iyileştirdiği görülmektedir. MoS₂’nin katı yağlayıcılık özelliğinin MMY püskürtmenin frezeleme işlemi üzerindeki olumlu etkisini güçlendirdiği ortaya çıkmıştır.

Çizelge 7.3. Tüm işlemler için SYİ tipi kodları.

SYİ tipi	Kod
Kuru geleneksel işlem	1
Normal püskürtme	2
MMY püskürtme	3
MMY + % 0,5 MoS ₂ püskürtme	4
MMY + % 1 MoS ₂ püskürtme	5
MMY + % 1,5 MoS ₂ püskürtme	6



Şekil 7.5. Ra için genel bakış.



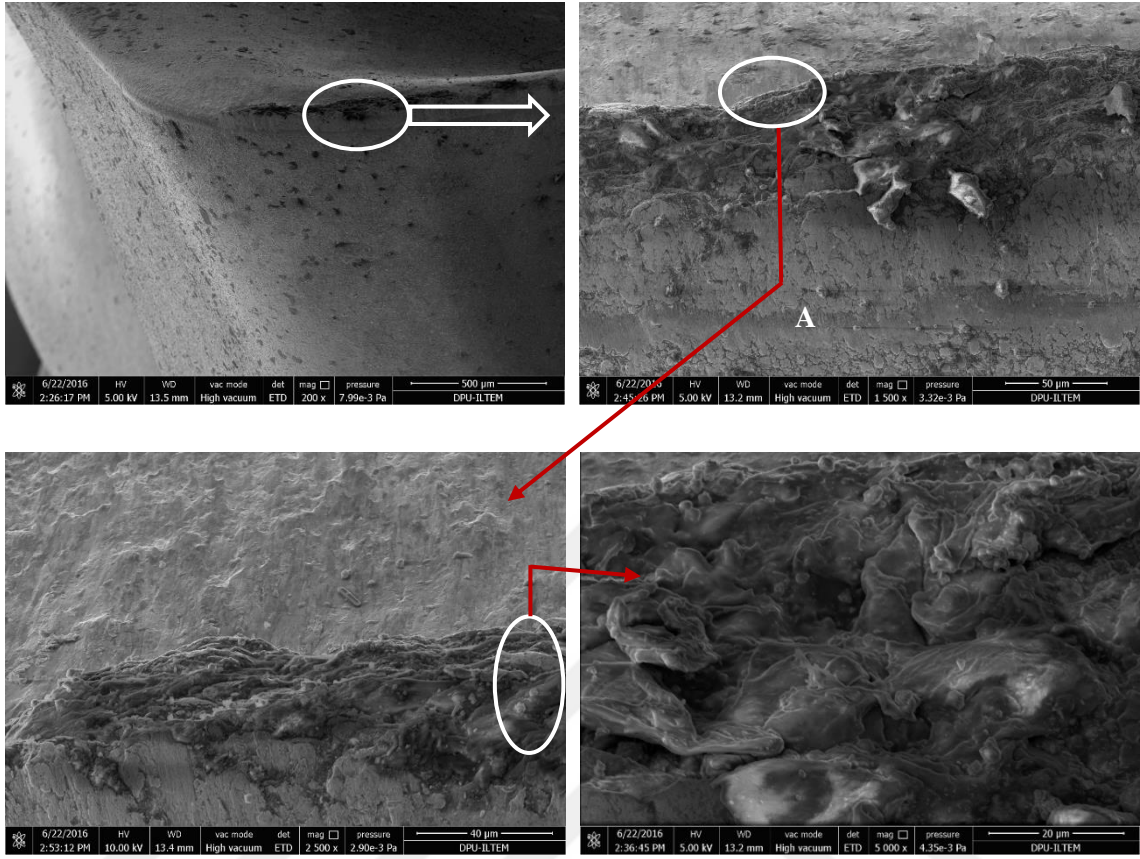
Şekil 7.6. Rz için genel bakış.

7.2. Takım Aşınmaları

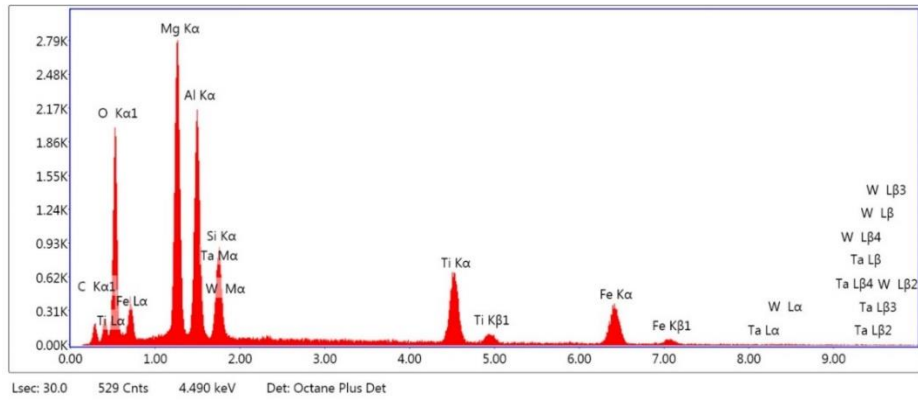
Frezeleme deneylerinden sonra deney parametrelerinin kesici uçlar üzerinde oluşturduğu aşınma tiplerinin ve mekanizmalarının tespit edilmesi için kesici uçların tarama elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri alınmıştır. Ayrıca gerekli olan yerlerden EDAX

örnekleri alınarak ilgili yerdeki element dağılımı belirlemeleri yapılmıştır. Tüm deneyler aynı talaş miktarına göre yapıldığından karşılaştırmalar açısından bir sorun oluşmayacaktır.

Şekil 7.7’de kuru frezeleme şartlarında kullanılan kesici ucun SEM görüntüleri verilmiştir. Genel olarak deney şartları açısından kesme kenarında fazla bir aşınma oluşmamıştır. Kesicikenar talaş yüzeyinde ve serbest yüzeyde abrasiv aşınma mekanizmasının etkisiyle oluşan talaş akış yönlü küçük oyuklar belirmeye başlamıştır. Kesici kenarın talaş yüzeyine doğru olan bölgesinde bir miktar malzemenin yapıştığı ve bir miktarında koptuğu görülmektedir. Sağ altta yer alan resme bakıldığında difüzyon ve adhesiv aşınma mekanizmalarının etkisi ortaya çıkmaktadır. Kuru şartlarda 4 mm gibi bir kesme derinliğinde kesme yapıldığından oluşan ısının difüzyon aşınma mekanizmasına oyol çıkması beklenen bir durumdur (Çakır, 2006). Difüzyon etkisinde kalan bölgede takım yüzeyinden küçük parçacıkların kopmaları görülmektedir. Talaş kaldırma işleminin devam ettiği sürece bu bölgenin formu zulduğundan takım üzerinden kayan biçimlendirilmiş talaşların bozuk formu yüzeylere tutunmaları kolaylaşır. Bu durumda parçacık kopmaları hız kazanır (Bingül, 2014). Frezeleme işleminin doğasından gelen mekanik yüklere ve kesintili kesmeye bağlı olarak zamanla plastik deformasyon ve/veya kırılma ortaya çıkabilecektir. Resimlerde “A” harfiyle işaretlenen bölgeye bakıldığında, ince bir katman yapışması görüntüsü göze çarpmaktadır. Bu görüntünün tam olarak tanımlamasını yapabilmek için “A” noktasının Şekil 7. 8’de verilen EDAX sonuçları alınmıştır. Bu sonuçlara bakıldığında serbest kenar yüzeyinde katmanın ağırlıklı olarak deney malzemesi GGG-70’in içinde bulunan Fe (% 42,83) ve Mg (% 12,43) elementi içerdiği görülmektedir. Aynı bölgede yer alan Ti ve Al elementleri ise kesici takım kaplama malzemesi ve ana yapısı içinde yer almaktadır. Bunlara bakarak bu ince katmanın deney numunesi malzemesi yapışması olduğu söylenebilir. Bu duruma adhesiv aşınma mekanizması, takım-talaş arayüzeyindeki yüksek basınç ve kimyasal yakınlık gibi nedenler sebep olabilir. Adhesiv aşınma mekanizmasının yoğun olarak çelik, alüminyum ve dökme demir gibi malzemelerde görülür (Çakır, 2006). Bu yapışma miktarının çok sınırlı olması üst kaplamanın Al_2O_3 olması ile ilişkilendirilebilir. Çünkü Al_2O_3 kaplama malzemesi olarak hemen hemen hiçbir iş parçası malzemesi ile reaksiyona girmez (Çakır, 2006).

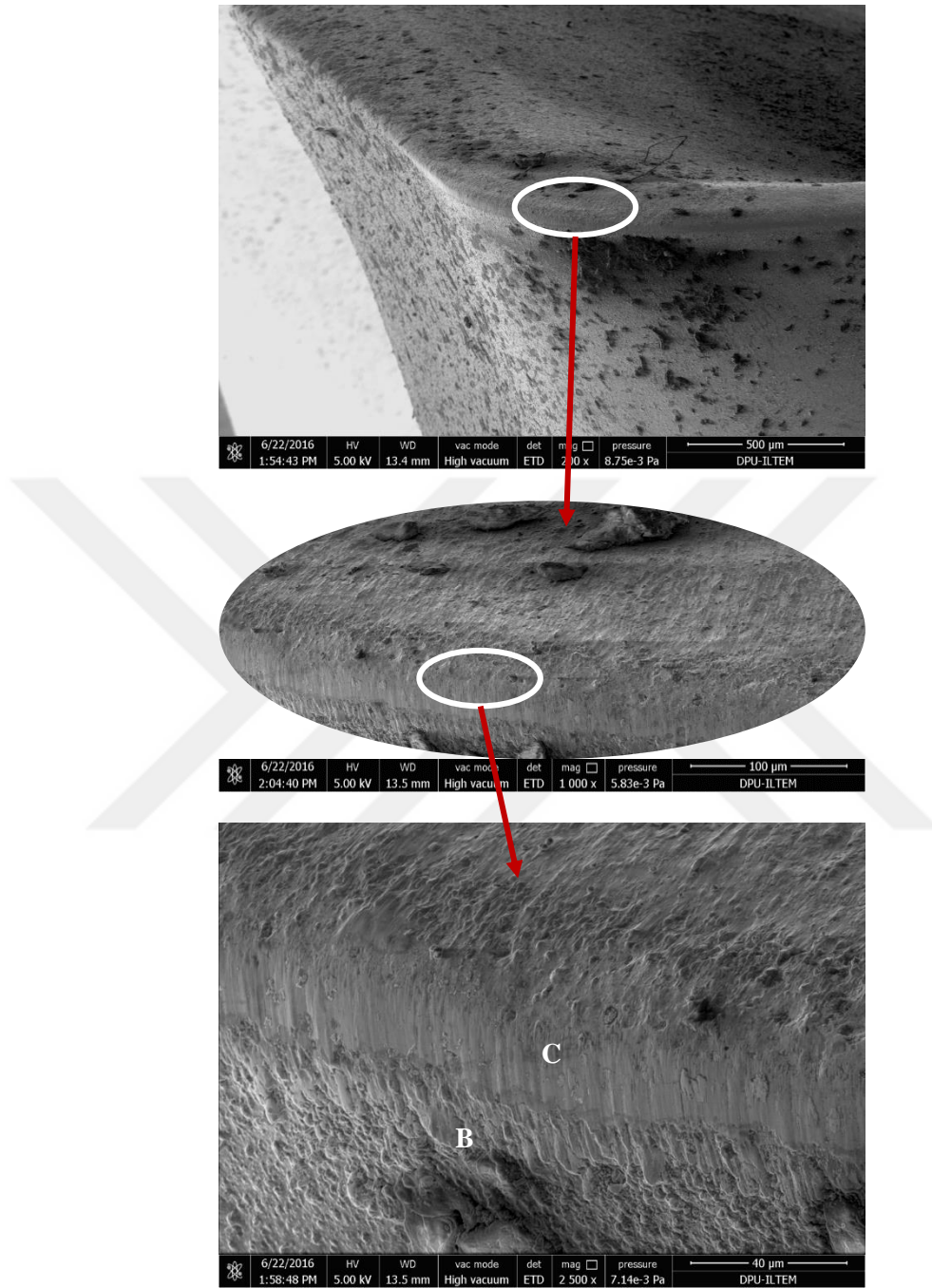


Şekil 7.7. Kuru frezeleme şartlarında kullanılan kesici ucun SEM görüntüsü.



Element	C	O	Mg	Al	Si	W	Ti	Fe
Ağırlık%	1,22	11,83	12,43	12,78	4,76	0,56	13,53	42,83
Atomik %	3,33	24,26	16,77	15,54	5,57	0,1	9,27	25,16

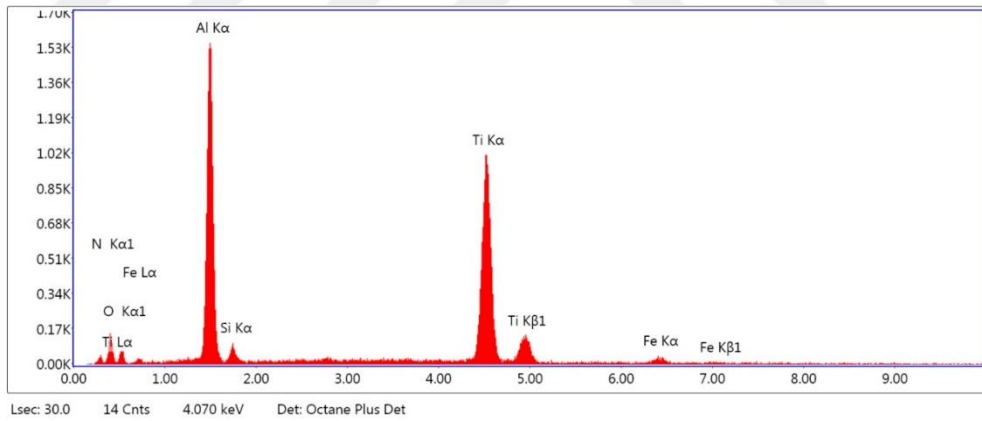
Şekil 7.8. Şekil 7.7'deki "A" noktasının EDAX sonuçları.



Şekil 7.9. Normal püskürtme şartlarında kullanılan kesici ucun SEM görüntüsü.

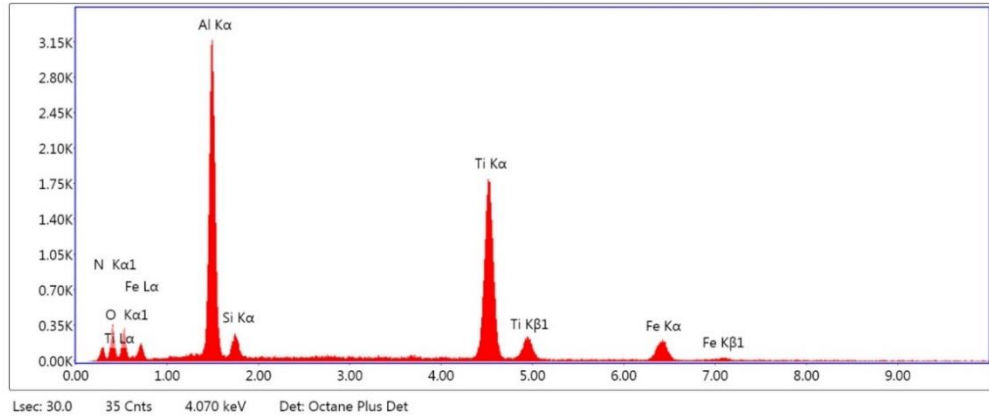
Şekil 7.9'da normal soğutma sıvısı püskürtme şartlarında kullanılan kesici ucun SEM görüntüleri verilmiştir. Bir önceki kesici uç ile karşılaştırıldığında parçacık kopmaları, adhesiv ve difüzyon aşınma mekanizmalarının belirgin bir etkisi görülmemektedir. Kesicikener talaş

yüzeyinde ve serbest yüzeyde abrasiv aşınma mekanizmasının etkisiyle oluşan talaş akış yönlü küçük oyuklar belirmeye başlamıştır. Özellikle düzenli bir serbest yüzey aşınmasının başladığı görülmektedir. Dökme demirlerde düzenli serbest yüzey aşınması diğer aşınma tiplerine karşı tercih edilir (Çakır, 2006). İkinci resimden anlaşıldığı üzere talaş yüzeyinde talaş akışına bağlı olarak başlangıç aşamasında bir krater aşınması formu görülmektedir. Bu biçimlenmenin abrasiv aşınma mekanizmasının etkisiyle oluşması muhtemeldir. Son resme bakıldığında kesme kenarı civarında talaş yapışması/veya sıvanması benzeri bir yapı görülmektedir. Bunun tam bir yapışma ve/veya sıvanma olup olmadığını açıklayabilmek için resimde “B ve C” harfleriyle işaretlenen bölgelerin Şekil 7.10. ve 7.11’de verilen EDAX sonuçları alınmıştır. EDAX sonuçlarında bileşik miktarlarına bakılmıştır. Bu sonuçlara bakıldığında bu bölgelerdeki dağılımın kesici takım malzemesinde veya kaplamasında yer alan bileşikler olduğu ortaya çıkmıştır. Al_2O_3 ve TiO_2 öne çıkan bileşiklerdir. Buna göre bu bölgede herhangi bir iş parçası malzemesinin yapışmasının veya sıvanmasının olmadığı söylenebilir. Aynı frezeleme şartlarında soğutma sıvısının etkisiyle bu kesici uçta görülen aşınma bir önceki kesici uçtan daha az görülmüştür.



Element	N_2O_5	TiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2
Ağırlık%	12,94	0,76	0,33	81,39	4,58
Atomik %	11,91	0,95	0,20	79,35	7,59

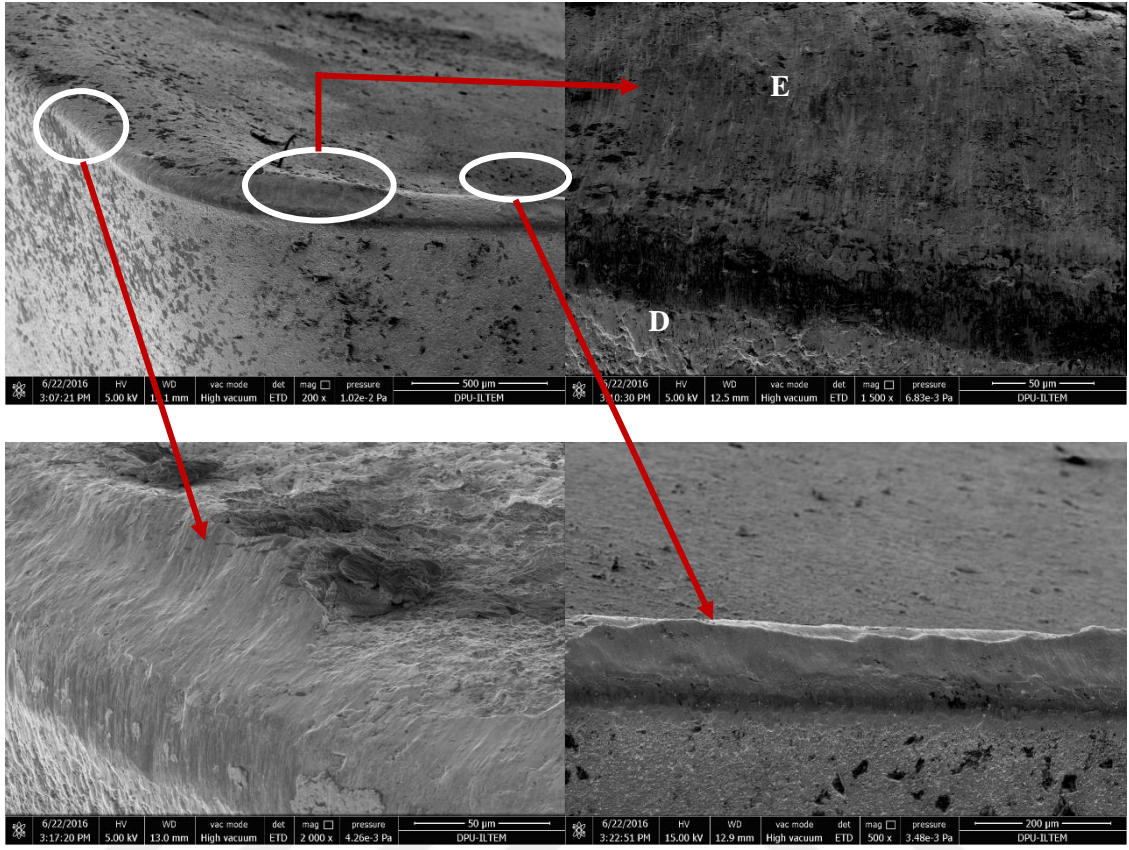
Şekil 7.10. Şekil 7.9’deki “B” noktasının EDAX sonuçları.



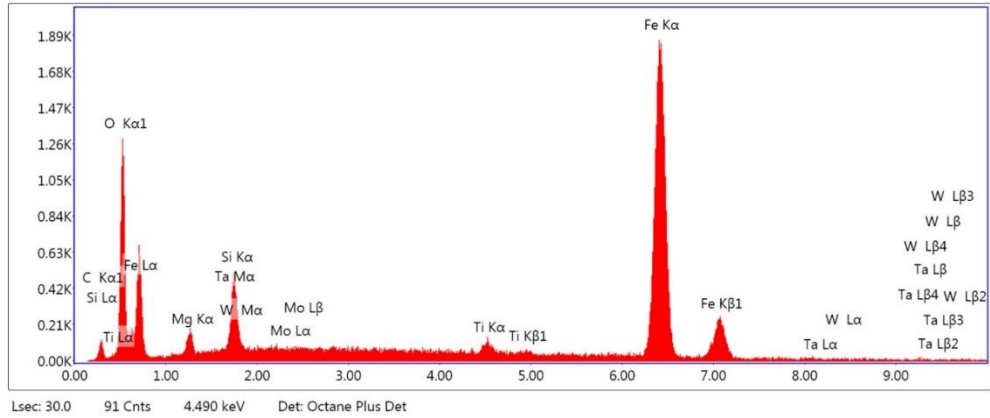
Element	N ₂ O ₅	Ti O ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂
Ağırlık%	13,25	46,47	10,24	27,56	2,47
Atomik %	11,36	53,86	5,94	25,03	3,81

Şekil 7.11. Şekil 7.9'daki "C" noktasının EDAX sonuçları.

Şekil 7.12'de MMY +% 0,5 MoS₂ püskürtme şartlarında kullanılan kesici ucun SEM görüntüleri verilmiştir. Kesici uca genel olarak bakıldığında, parçacık kopması ve plastik deformasyon etkisi görülmemiştir. Difüzyon etkileri de fazla görülmemiştir. Bu durum nano Kesme kenarına bakıldığında küçük ölçekli yığıntı talaş oluşumu başlangıçları görülmektedir. Düşük kesme sıcaklıklarında yığıntı talaş oluşumu gözlenebilir. Kesme bölgesinde artan ısıyla yığıntı talaş azalma eğilimi gösterir (Çakır, 2006). Buna göre kullanılan soğutma ve yağlama şartları ısı artışını sınırlamış ve beraberinde yapışma için bir zemin ortaya çıkmış olabilir. Kesici kenar talaş yüzeyinde ve serbest yüzeyde abrasiv aşınma mekanizmasının etkisiyle oluşan talaş akış yönlü küçük oyuklar belirmeye başlamıştır. Resimlerde "D ve E" harfleriyle işaretlenen bölgeler incelenerek yapışmanın detayları araştırılmıştır. Bunun için Şekil 7.13. ve 7.14'de verilen EDAX sonuçları alınmıştır. Bu sonuçlara bakıldığında her iki bölgede de ağırlıklı olarak deney malzemesi GGG-70'in içinde bulunan Fe elementinin olduğu görülmektedir. Bunlara bakarak belirgin bir deney numunesi malzemesi yapışmasının olduğu söylenebilir. Bu durum öncelikle adhesiv aşınma mekanizması, takım-talaş arayüzündeki yüksek basınca ilave olarak soğutma şartlarından kaynaklanmış olabilir.

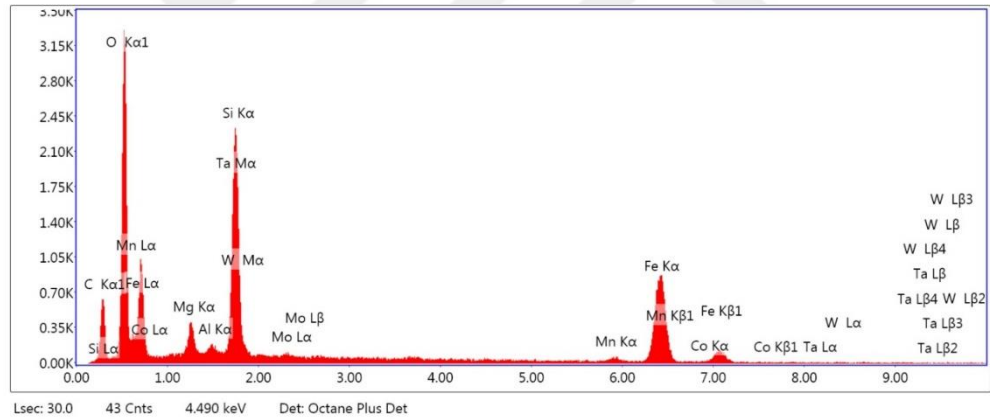


Şekil 7.12. MMY +% 0,5 MoS₂ püskürtme şartlarında kullanılan kesici ucun SEM görüntüsü.



Element	C	O	Mg	Ta	Si	W	Fe	Mo
Ağırlık%	1,06	5,06	0,44	0,48	1,75	0,18	90,41	0,05
Atomik %	4,16	14,92	0,86	0,13	2,93	0,05	76,37	0,03

Şekil 7.13. Şekil 7.12’deki “D” noktasının EDAX sonuçları.



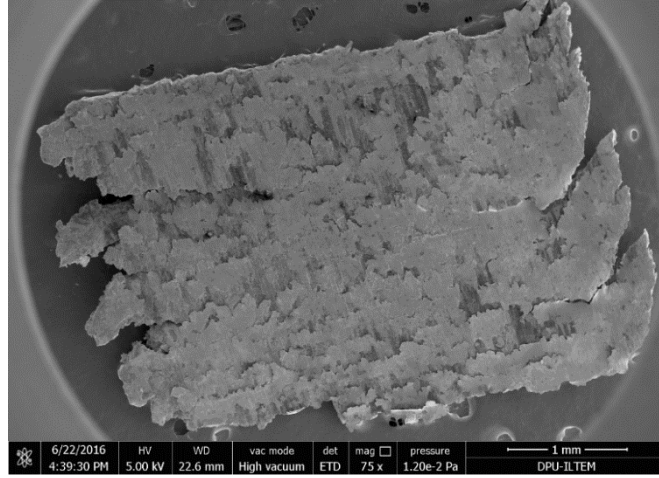
Element	C	O	Mg	Ta	Si	W	Fe	Mo
Ağırlık%	8,46	17,98	1,01	0,00	14,22	0,36	56,03	0,22
Atomik %	20,61	32,89	1,22	0,00	14,81	0,06	29,35	0,07

Şekil 7.14. Şekil 7.12’deki “E” noktasının EDAX sonuçları.

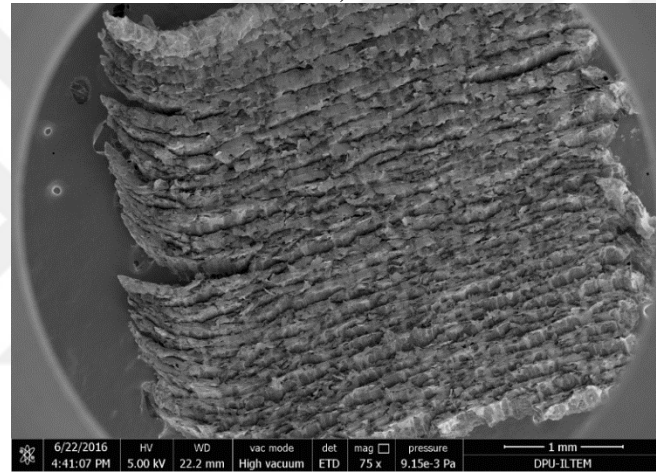
7.3. Talaş Analizleri

Operasyonun frezeleme olması nedeni ile çıkan talaşlar parçalı (eğrisel, yarı salyangoz biçimli) şekilde olmaktadır. Ancak yine de talaş biçimlerini incelemek için SEM görüntüleri alınmıştır. İlk olarak hangi deneylere ait talaşlar seçilecek belirlemek için dijital mikroskopta

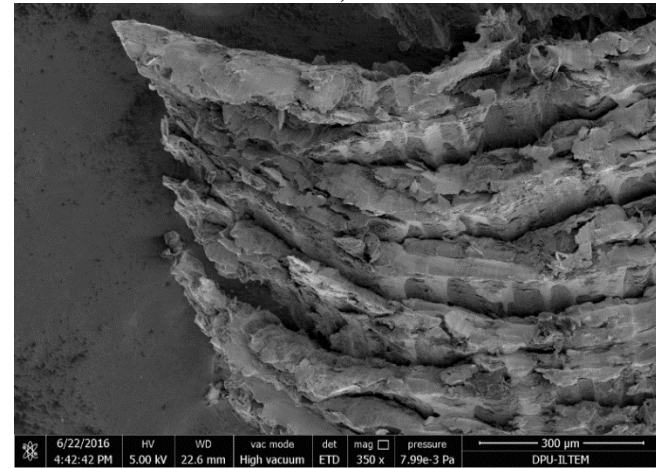
tüm örnekler ön incelemeye alınmıştır. Çıkan talaş boyutları hemen hemen aynı büyüklükte olmuştur. Kıvrılma miktarlarına göre değişmekle birlikte yaklaşık talaş uzunlukları 6-8 mm ölçülmüştür. Kuru frezeleme (Şekil 7.15.) ve normal püskürtme (Şekil 7.16.) işlemleri için SEM görüntüsü alınmıştır. Nano MoS₂ katkılı şartlarda çıkan talaşlar normal püskürtmeli ile benzer olduğundan bunların SEM'leri alınmamıştır. Kuru frezeleme talaşının takım-talaş ara yüzeyinde belirgin sürtünme-sıvanma izleri varken diğer örnekte (Şekil 7.16-a) nispeten daha azdır. Bu durum soğutma ve yağlamanın olumlu etkisine bağlanabilir. Her iki şekildeki talaşların katmanlı yapıları birbirine yakındır. Ana talaş formu açısından kuru frezeleme talaşının kenarları daha parçalı olmuştur. Kuru frezeleme şartlarında kesme bölgesi kesicinin kesmeye girişi ve çıkışı nedeniyle mekanik ve ısı olarak sürekli değişken yüklemeye maruz kalır. Deneylede kullanılan normal püskürtmeli soğutma şartlarında kesme bölgesinde yoğun soğutma ve yağlama oluşabilmektedir. Böylece kuru frezelemeye göre daha dengeli bir mekanik ve ısı yüklemesi oluşacaktır. Bu sebeple normal püskürtme şartlarında oluşan talaşların kenarları daha az parçalı olabilir.



a)

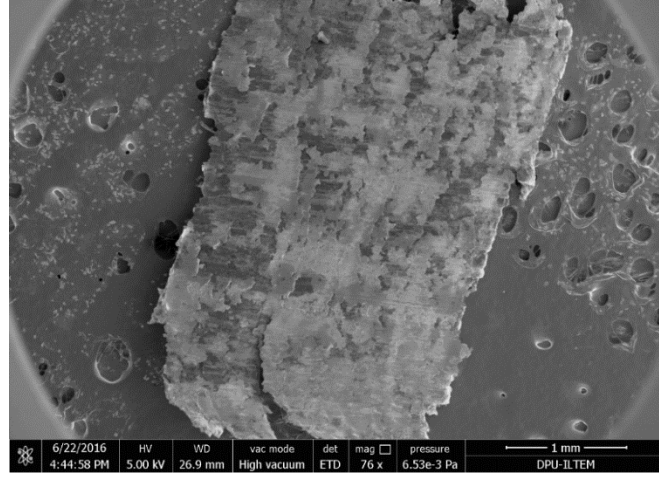


b)

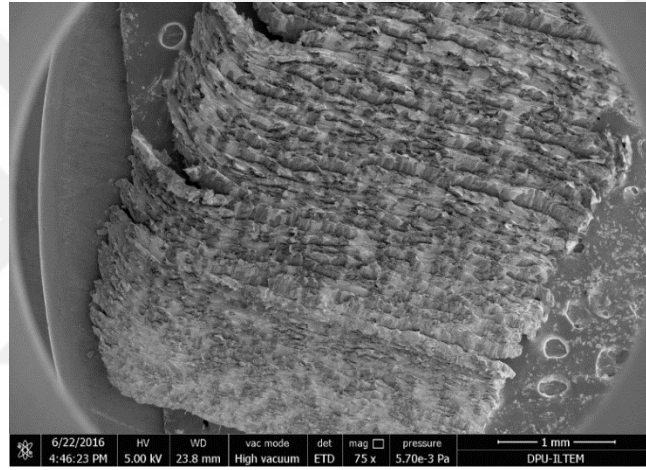


c)

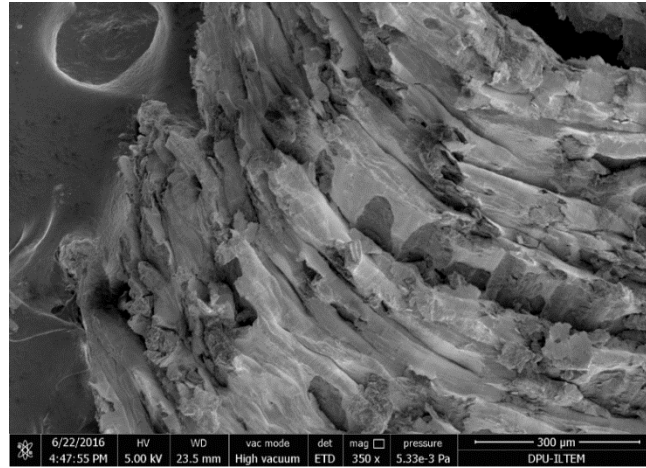
Şekil 7.15. Kuru frezeleme şartlarında çıkan talaş örneği a) takım-talaş yüzeyi, b) dış yüzey, c) dış yüzey yakınlaştırma.



a)



b)

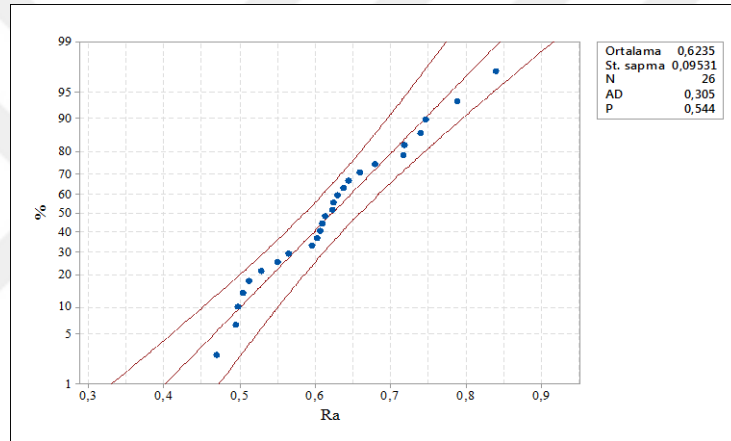


c)

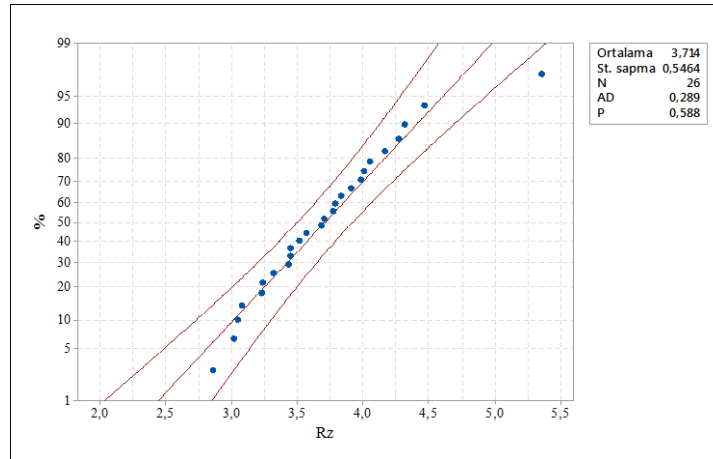
Şekil 7.16. Normal püskürtme şartlarında çıkan talaş örneği a) takım-talaş yüzeyi, b) dış yüzey c) dış yüzey yakınlaştırma.

7.4. İstatistiksel Analiz

Ra ve Rz sonuçlarının ve bunların deney parametreleri ile olan ilişkilerinin belirlenmesi için varyans analizi, Dunnet ve Tukey testi gibi bir dizi istatistiksel işlem yapılmıştır. İlk olarak deney sonuçlarının normal dağılım olasılık grafikleri (Şekil 7.17) hazırlanmıştır. Şekil 7.17-a'daki grafikte Ra sonuçları doğrusal çizgi etrafında toplanarak normal dağılım göstermiştir. Ayrıca tüm değerler güven aralığı çizgileri arasında yer almıştır. Şekil 7.17-b'deki grafikte ise Rz sonuçları görülmektedir. Tek deney hariç (1 numaralı deney) tüm deney sonuçları normal dağılım çizgisi etrafındadır. Yine de Rz sonuçlarının normal dağılım gösterdiği söylenebilir. Rz de güven aralığı içindedir.



a) Ra



b) Rz

Şekil 7.17. Normal dağılım olasılık grafikleri a) Ra, b) Rz.

Akış hızı ve basınç değişkenlerinin Ra ve Rz üzerindeki etkilerini belirlemek için Dunnet testi yapılmıştır. Gruplar arasında seçilen bir grup ile diğer gruplar arasındaki farkın önemli olup olmadığını belirlemek için Dunnet testinden yararlanılmaktadır. Benzer amaçla yaygın kullanılan Tukey testini ise grup sayısının 8'den fazla olduğu karşılaştırmalar için tercih etmenin daha uygun olduğu söylenmektedir (Özdamar, 2002). Bu amaçla; Ra ve Rz için akış hızı karşılaştırmaları Çizelge 7.4. ve 7.5'de, basınç için karşılaştırma Çizelge 7.6. ve 7.7'de nano MoS₂ katkı oranları karşılaştırması da Çizelge 7.8-7.11'de verilmiştir. Çizelge 7.8-7.11'de sadece katkı oranlarına göre sonuçlar üzerinde bir değişim olup olmadığı araştırılmıştır.

Çizelge 7.4. Ra için Akış hızına göre Dunnet çoklu karşılaştırma sonuçları.

Akış Hızı, ml/min	N	Ortalama	Grup
160 (kontrol)	12	0,5773	A
310	12	0,6469	

Çizelgede 7.4'de A harfi ile işaretlenmeyen parametreler istatistiksel olarak A'dan önemli derecede farklılık gösteren parametreyi işaret eder. % 95 güven aralığı esas alınarak yapılan Dunnet çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre akış hızı Ra üzerinde etkilidir. Yapılan testin güven seviyesi % 95 çıkmıştır. Çizelge 7.5' te % 95 güven aralığı esas alınarak yapılan testin sonuçlarına göre akış hızı Rz üzerinde etkili olmamıştır. Her iki akış hızı için aynı gruplanma (A) ortaya çıkmıştır. Yapılan testin güven seviyesi % 95 çıkmıştır.

Çizelge 7.5. Rz için Akış hızına göre Dunnet çoklu karşılaştırma sonuçları.

Akış Hızı, ml/min	N	Ortalama	Grup
160 (kontrol)	12	3,532	A
310	12	3,735	A

Çizelge 7.6'da % 95 güven aralığı esas alınarak yapılan Dunnet çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre basınç Ra üzerinde etkili olmamıştır. Üç basınç değeri için aynı gruplanma (A) ortaya çıkmıştır. Yapılan testin güven seviyesi % 97,26 çıkmıştır. Çizelge 7.7'de verilenlere göre akış hızı Rz üzerinde etkili olmamıştır. Üç farklı basınç için aynı gruplanma (A) ortaya çıkmıştır. Yapılan testin güven seviyesi % 97,26 çıkmıştır.

Çizelge 7.6. Ra için basınca göre Dunnet çoklu karşılaştırma sonuçları.

Basınç, Bar	N	Ortalama	Grup
3 (kontrol)	8	0,6282	A
7	8	0,6303	A
5	8	0,5779	A

Çizelge 7.7. Rz için basınca göre Dunnet çoklu karşılaştırma sonuçları.

Basınç, Bar	N	Ortalama	Grup
3 (kontrol)	8	3,665	A
7	8	3,751	A
5	8	3,484	A

Çizelge 7.8'e göre akış hızı Ra üzerinde etkilidir. Yapılan testin güven seviyesi % 98,05 çıkmıştır. % 1 oranında MoS₂ katkısı ile diğerlerinden farklı bir Ra değeri elde edilmiştir. Ayrıca en düşük ortalama Ra değeri de bu parametrede elde edilmiştir. Farklı bir bakış açısı yakalamak için yapılan Tukey testi ile Çizelge 7.9'da verilen sonuçlar elde edilmektedir. Buna göre % 0,5 ve 1 oranında MoS₂ katkısı yapılan denemelerde benzerlik var iken katkı olmayan ve % 1 katkı olanların farklı gruplar oldukları görülmektedir.

Çizelge 7.8. Ra için % MoS₂ katkı oranına göre Dunnet çoklu karşılaştırma sonuçları.

% MoS ₂	N	Ortalama	Grup
0 (kontrol)	6	0,6819	A
1,5	6	0,6259	A
0,5	6	0,5863	A
1	6	0,5544	

Çizelge 7.9. Ra için % MoS₂ katkı oranına göre Tukey karşılaştırma sonuçları.

% MoS ₂	N	Ortalama	Grup
0 (kontrol)	6	0,6819	A
1,5	6	0,6259	A B
0,5	6	0,5863	A B
1	6	0,5544	B

Çizelge 7.10 ve 7.11. değerlendirildiğinde, % 0,5 ve 1 oranında MoS₂ katkısı ile diğerlerinden farklı bir Rz değeri elde edilmiştir. En düşük ortalama Rz değeri de bu parametrede elde edilmiştir.

Çizelge 7.10. Rz için % MoS₂ katkı oranına göre Dunnet çoklu karşılaştırma sonuçları.

% MoS ₂	N	Ortalama	Grup
0 (kontrol)	6	4,024	A
1,5	6	3,749	A
0,5	6	3,460	
1	6	3,299	

Çizelge 7.11. Rz için % MoS₂ katkı oranına göre Tukey karşılaştırma sonuçları.

% MoS ₂	N	Ortalama	Grup
0 (kontrol)	6	4,024	A
1,5	6	3,749	A B
0,5	6	3,460	A B
1	6	3,299	B

Aşağıdaki çizelgeler Çizelge 7.3’de verilen kodlamalara göre oluşturulmuştur. Burada frezeleme operasyonu için kullanılan tüm soğutma ve yağlama seçenekleri birlikte karşılaştırılmıştır. Çizelge 7.12’de Ra ve Çizelge 7.13’de Rz için yapılan varyans analizi sonuçları verilmiştir. Buna göre 0,018’lik P değeri 0,05’den küçük olduğundan soğutma işlemlerindeki değişimin Ra üzerinde ki etkisi istatistiksel olarak anlamlıdır. Benzer şekilde, 0,001 ‘lik P değeri ile soğutma işlem seçeneklerinin Rz üzerindeki değişimlerdeki etkisi önemlidir. Tüm soğutma ve yağlama işlemlerinin birbirleri arasındaki karşılaştırmayı görmek için hem Ra hem de Rz için Dunnet ve Tukey testleri yapılmıştır. Burada kuru frezeleme işlemi kontrol grubu olarak belirlenmiştir. Böylece uygulanan diğer soğutma ve yağlama işlemlerinin istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık oluşturup oluşturmadıkları araştırılmıştır. Bu sonuçlar Çizelge 7.14-7.17’de verilmiştir.

Çizelge 7.12. Ra ölçümleri için soğutma ve yağlama işlemlerinin ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Varyans	F-değeri	P-değeri
İşlem	5	0,1075	0,021491	3,59	0,018
Hata	20	0,1196	0,005981		
Toplam	25	0,2271			

Çizelge 7.13. Rz ölçümleri için soğutma ve yağlama işlemlerinin ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Varyans	F-değeri	P-değeri
İşlem	5	4,811	0,9622	7,25	0,001
Hata	20	2,653	0,1327		
Toplam	25	7,484			

Çizelge 7.14’de Ra için yapılan Dunnet testi sonuçları verilmiştir. 1, 2, 3 ve 6. gruplar aynı 4 ve 5. Gruplar ise farklılık göstermiştir. Dolayısıyla normal püskürtme, MMY püskürtme ve MMY + % 1,5 MoS₂ püskürtme şartlarında yapılan frezeleme deneylerde edilen Ra sonuçlarının birbirine yakın olduğusöylenebilir. Hatta 2, 3, ve 6. işlem seçenekleri bir alternatif kuru işlemeye alternatif olamamışlardır. Çizelge 7.15’de verilen Tukey testi sonuçlarına bakıldığında ise net ayrışmanın 5 numaralı işlemde olduğu görülmüştür. Buna göre istenen düşük Ra değeri için MMY + % 1 MoS₂ püskürtme işleminin uygulanması önerilebilir.

Çizelge 7.14. Ra için soğutma ve yağlama işlemlerinin Dunnet çoklu karşılaştırma sonuçları.

İşlem	N	Ortalama	Grup
1 (kontrol)	1	0,840	A
3	6	0,682	A
2	1	0,680	A
6	6	0,623	A
4	6	0,586	
5	6	0,554	

Çizelge 7.15. Ra için soğutma ve yağlama işlemlerinin Tukey karşılaştırma sonuçları.

İşlem	N	Ortalama	Grup
1 (kontrol)	1	0,840	A
3	6	0,682	A B
2	1	0,680	A B
6	6	0,623	A B
4	6	0,586	A B
5	6	0,554	B

Çizelge 7.16’da Rz pürüzlülük değerleri için yapılan Dunnet testi sonuçları verilmiştir. Tüm soğutma işlemi seçenekleri kuru frezeleme seçeneğine göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde (% 95) farklılık göstermiştir. Daha ayrıntılı bir araştırma için Çizelge 7.17’de verilen Tukey testi sonuçları incelendiğinde, Ra’da olduğu gibi 5 numaralı işlemde belirgin farklılaşmanın olduğu görülmüştür. Buna göre istenen düşük Rz değeri için de MMY + % 1

MoS₂ püskürtme işleminin uygulanması önerilebilir. Burada 3 farklı gruplaşma olmuştur. Kuru ve normal püskürtme aynı grup (A) olmuştur. Normal püskürtmenin verdiği sonuçlar her üç grupta da yer almasına neden olmuştur. MMY püskürtme, MMY + % 0,5 MoS₂ püskürtme ve MMY + % 1,5 MoS₂ püskürtme şartları aynı gruplarda (B ve C) yer almıştır. Bunun nedeni ölçülen sonuçların birbirlerine yakın olmasıdır.

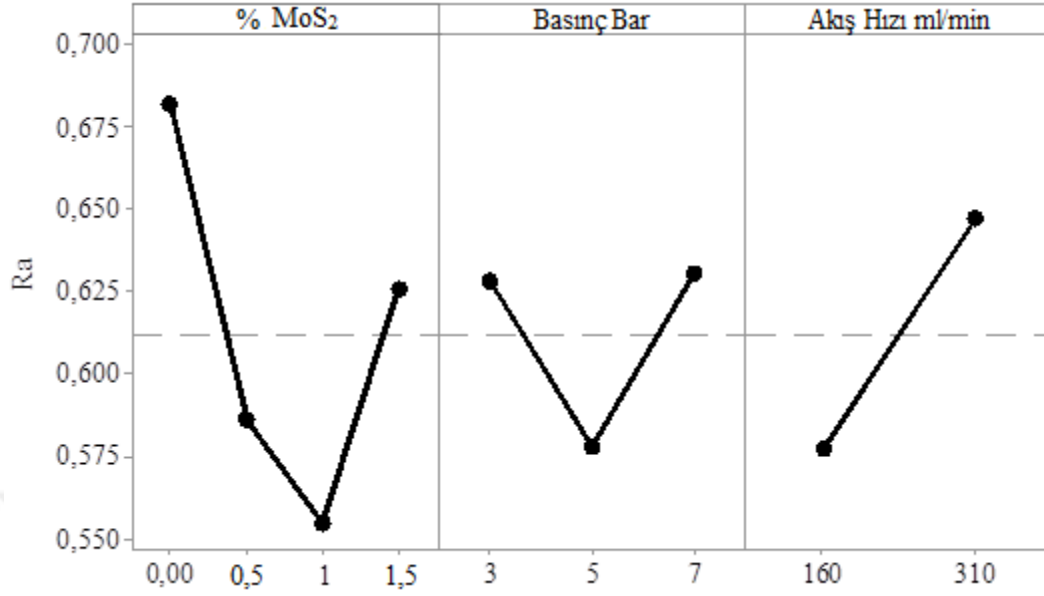
Çizelge 7.16. Rz için soğutma ve yağlama işlemlerinin Dunnet çoklu karşılaştırma sonuçları.

İşlem	N	Ortalama	Grup
1 (kontrol)	1	5,362	A
3	6	4,024	
2	1	4,011	
6	6	3,749	
4	6	3,460	
5	6	3,299	

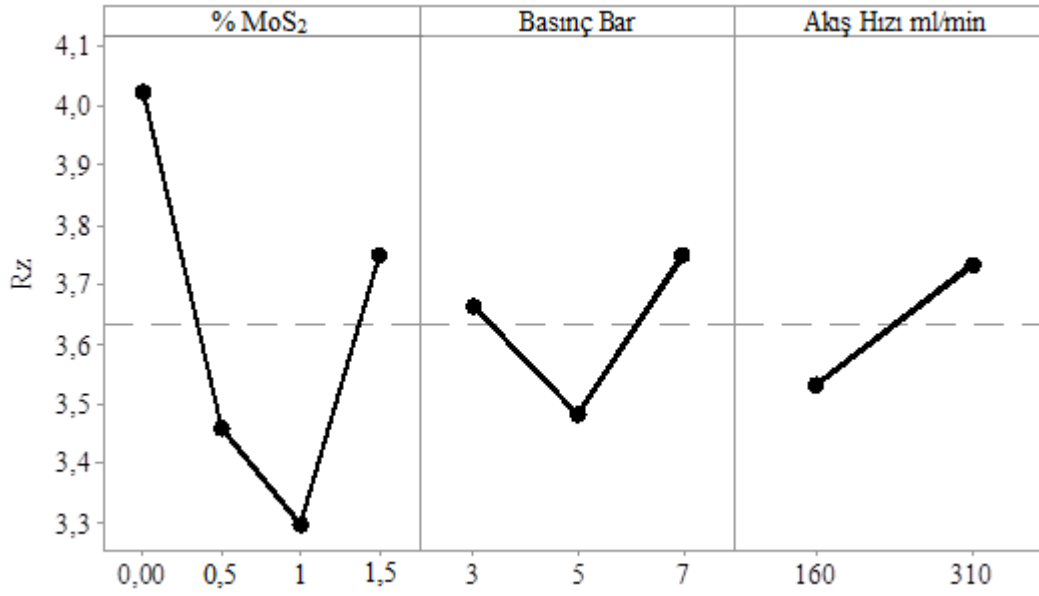
Çizelge 7.17. Rz için soğutma ve yağlama işlemlerinin Tukey karşılaştırma sonuçları.

İşlem	N	Ortalama	Grup
1 (kontrol)	1	5,362	A
3	6	4,024	B C
2	1	4,011	A B C
6	6	3,749	B C
4	6	3,460	B C
5	6	3,299	C

Deney değişkenlerinin Ra ve Rz ile ilişkilerini gözlemlemek için Şekil 7.18'de verilen ana etki grafikleri hazırlanmıştır. Ra için Şekil 7.18-a'da verilen grafiğebakıldığında en düşük Ra pürüzlülük değerinin MMY + % 1 MoS₂ soğutma seçeneğinin 5 bar basınç ve 160 ml/dak. şartlarında uygulanmasıyla elde edileceği görülmektedir. Ayrıca bu grafiklerde eğrilerin yatay ile yaptığı açı ne kadar dik olursa o parametrenin sonuçlar üzerindeki etkinliği de artar. Buna göre MoS₂ ilavesi önemli bir etkiye sahiptir. Rz için (Şekil 7.18-b) ise Ra sonuçlarına benzer bir durum oluşmuştur. Rz içinde en düşük değer Ra ile aynı parametre seviyelerinde olmuştur. Akış hızının Ra üzerindeki etkisinin Rz'den fazla olduğu eğrilerin eğimine bakılarak söylenebilir.



a) Ra



b) Rz

Şekil 7.18. Ana etki grafikleri a) Ra, b) Rz.

8. SONUÇLAR

Bu çalışmada, frzeleme operasyonlarında minimum miktarda yağlama (MMY) şartlarının işleme performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ana yaklaşım olarak, MMY içine nano boyutlu katı yağlayıcı MoS₂ karıştırılmış ve GGG-70 küresel grafitli dökme demir frezelenmiştir. Farklı soğutma-yağlama şartlarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Değerlendirme ölçütü olarak, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve talaş geometrileri incelenmiş ve özellikle de nano-MoS₂'nin işleme performansına etkileri araştırılmıştır. Çalışmanın bütüncül olarak değerlendirilmesinden sonra çıkarılan sonuçlar aşağıda verilmiştir;

- Ölçülen değerler açısından en düşük Ra değerinin 5 bar basınç, 160 ml/dak akış hızı ve MMY + % 0,5 MoS₂ püskürtme şartlarında 0,47 µm olarak ölçülmüştür. Rz için 5 bar basınç, 310 ml/dak akış hızı ve MMY + % 1 MoS₂ püskürtme şartlarında 2,86 µm olarak ölçülmüştür. Ra değerinde % 45 değerinde Rz için ise % 55 azalma elde edilmiştir. Çalışmanın amacına ulaştığı söylenebilir.
- Ra için ortalama en yüksek pürüzlülük 7 bar basınç değerinde ölçüldü. Deney parametrelerine göre Ra ile basınç arasında lineer bir ilişki olmamıştır. Artan akış hızı Ra değerini bir miktara arttırmıştır.
- MMY + % 1 MoS₂ katkısına kadar tüm basınç değerlerinde pürüzlülük değeri azalma eğilimindedir. Genel olarak diğer basınç şartlarında nano MoS₂ katkısının Ra değerini düzenli olarak azalttığı görülmektedir.
- Kuru işlemeye alternatif olarak test edilen soğutma yağlama işlemlerinde sonuçlar kötüden iyiye doğru şu şekildedir; kuru, normal püskürtme, MMY püskürtme, MMY + % 1,5 MoS₂ püskürtme, MMY + % 0,5 MoS₂ püskürtme, MMY +% 1 MoS₂ püskürtme şeklindedir.
- Takım aşınmaları üzerine nano-MoS₂ katkısının olumlu etkileri olmuştur.
- SEM/EDAX analizleri doğrultusunda, abrasif, adhesiv ve difüzyon aşınma mekanizmalarının izlerine rastlanmıştır. Buna bağlı olarak, kuru işlemde küçük parçacık kopmaları, normal püskürtme ve nano MoS₂ katkılı işlemde kullanılan uçlarda ise başlangıç aşamasında olan serbest yan yüzey aşınması, yapışma/sıvanma tipi aşınmalar görülmüştür.
- Çıkan talaş boyutları hemen hemen aynı büyüklükte olmuştur. Kıvrılma miktarlarına göre değişmekle birlikte yaklaşık talaş uzunlukları 6-8 mm ölçülmüştür.

- Kuru frezeleme talaşının takım-talaş ara yüzeyinde belirgin sürtünme-sıvanma izleri varken diğerlerinde nispeten daha azdır. Ana talaş formu açısından kuru frezeleme talaşının kenarları daha parçalı olmuştur. Diğerleri bunun aksi formda biçimlenmiştir.
- Ra ve Rz sonuçlarının ve bunların deney parametreleri ile olan ilişkilerinin belirlenmesi için varyans analizi, Dunnet ve Tukey testi gibi bir dizi istatistiksel işlem yapılmıştır. % 95 güven aralığı esas alınarak yapılan Dunnet çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre akış hızı Ra üzerinde etkili olurken Rz üzerinde etkili olmamıştır. Akışkan basıncı seviyelerindeki değişimin Ra ve Rz üzerinde etkisinin olmadığı % 97,26 güvenirlilik değerinde hesaplanmıştır.
- Sadece katkılı ve katkısız MMY şartları için yapılan Dunnet ve Tukey teslerinden % 1 oranında MoS₂ katkısı ile diğerlerinden farklı bir Ra değeri elde edilmiştir. Ayrıca en düşük ortalama Ra değeri de bu parametrede elde edilmiştir. % 0,5 ve % 1 oranında MoS₂ katkısı ile diğerlerinden farklı bir Rz değeri elde edilmiştir.
- Tüm soğutma yağlama şartları ve kuru frezeleme birlikte karşılaştırıldığında, Ra için yapılan Dunnet testi sonuçları verilmiştir. 1, 2, 3 ve 6. gruplar aynı 4 ve 5. Gruplar ise farklılık göstermiştir. Rz için tüm soğutma işlemi seçenekleri kuru frezeleme seçeneğine göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde (% 95) farklılık göstermiştir.
- İstenen düşük Ra ve Rz değeri için MMY + % 1 MoS₂ püskürtme işleminin uygulanması önerilebilir.
- Varyans analizi ve ana etki grafiklerine göre Ra ve Rz üzerindeki en etkin parametre soğutma yağlama seviyeleri olmuştur. Basınç ve akış hızı birbirine yakın olmuştur. Akış hızının Ra üzerindeki etkisinin Rz'den fazladır.
- Genel olarak bakıldığında frezeleme operasyonları minimum yağlama kullanımı literatürde ve endüstriyel uygulamalarda kendine yer edinmiştir. MMY sistemnde akışkan içerisine yağlama ve soğutma özelliklerini iyileştirmek için katılan nano-MoS₂'den olumlu sonuçlar alınmıştır. Bu alanda nanoparçacık katkısına olan ilginin artma eğilimi olduğu düşünüldüğünde, yapılan çalışma ortaya konan hipotezini başarı ile sonuçlandırmıştır.

9. ÖNERİLER

- Yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlardan sonra, aşağıda verilen bazı çalışmalar önerilebilir;
- Bundan sonra, benzer deneysel kurgu ile farklı malzeme, kesici takım, soğutucu akışkan ve katkı elementleri çalışılabilir.
- Nano MoS₂ katkılı MMY'nin işleme performansı ve maliyet ilişkisi, kesme kuvvetleri araştırılabilir.
- Taguchi ve Gri ilişkisel analiz gibi deney tasarım yöntemi ile çok sayıda deney değişkeniyle sonuçlar iyileştirilebilir.
- Ayrıca çalışmalar yapay zekâ uygulamaları ile desteklenebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Alexander, A., Varadarajan, A.S., Philip, P.K., (1998), Hard turning with minimum cutting fluid: a viable green alternative on the shop floor, in: Proceedings of the 18th AIMTDR, s. 152–155.

Amrita, M, Srikant, R.R., Sitaramaraju, A.V., (2013), Preparation and characterization of properties of anographite-based cutting fluid for machining operations, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part J Journal of Engineering Tribology, 208-210, s.1994-1996.

Bao, W.Y., Tansel, I., (2000) Modeling Micro End Milling Operations, Part I: Analytical Cutting Force Model, International Journal of Machine Tool and Manufacture, 40(15), s. 2155–2173.

Bingül, E., (2014) K390 Soğuk İş Takım Çeliğinin Tornalanmasında Temperleme Sıcaklığının İşlenebilirlik Üzerine Etkisinin, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

Byrne, G., Scholta, E., (1993), Environmentally clean machining processes a strategic approach, Ann. CIRP 42 (1) s. 471–474.

Callister, W.D., Rethwisch, D.G., (2013), Malzeme Bilimi ve Mühendisliği 8. Baskıdan çeviri, Çeviri Editörü Kenan Genel, Nobel Yayıncılık, , Ankara. s.402.

Cassin, C., Boothroyd, G., Lubrication action of cutting fluids, (1965), J. Mech. Eng. Sci. 7 (1) s. 67–81,

Coz, G.L., Marinescu, M., Devillez, A., Dudzinski, D., Velnom, L., (2012), Measuring temperature of rotating cutting tools: Application to MQL drilling and dry milling of aerospace alloys, Applied Thermal Engineering, 36, s. 434–441.

Çakır, M.C., (1999), Modern Talaşlı İmalatın Esasları, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın No:140, Bursa, 155-239.

Çakır, M.C., (2006), Modern Talaşlı İmalatın Esasları 2. Baskı, Çeviri: Mehmet Erdoğan, Nobel Yayıncılık, Ankara. s.203.

Çakır, M.C., (2000), Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri. Vipaş A.Ş., s. 158, 535. Bursa

Da Silva,, R.B., Vieira, J.M., Cardoso, R.N., Carvalho, H.C., Costa, E.S., Machado, A.R., De Ávila, R.F., (2011), Tool wear analysis in milling of medium carbon steel with coated cemented carbide inserts using different machining lubrication/cooling systems, Wear, 271(9):2459-2465.

Dhar, N.R., Islam, M.W., Islam, S., Mithu, M.A.H., (2006), The influence of minimum quantity of lubrication (MQL) on cutting temperature, chip and dimensional accuracy in turning AISI-1040 steel, J. Mater. Process Technol. 171 s. 93–99.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Duchosal, A., Serra R., Leroy, R., (2014), Numerical study of the inner canalization geometry optimization in a milling tool used in micro quantity lubrication, *Mechanics & Industry* Volume 15, Number 5.

Duchosal, A., Serra R., Leroy, R., Hamdia, H., (2015a), Numerical optimization of the Minimum Quantity Lubrication parameters by inner canalizations and cutting conditions for milling finishing process with Taguchi method, *Journal of Cleaner Production*, 108-A, s. 65–71.

Duchosala, A., Werdaa, S., Serra, R., Courbond, C., Leroya, R., (2016), Experimental method to analyze the oil mist impingement over an insert used in MQL milling process, *Measurement*, V.86, s. 283–292.

Duchosal, A., Serra R., Leroy, R., Hamdia, H., (2015b), Numerical modeling and experimental measurement of MQL impingement over an insert in a milling tool with inner channels, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, V. 94, s. 37–47.

Duchosala, A., Leroy, R., Vecellio, L., Louste, N., N. Ranganathan, N., (2013), An experimental investigation on oil mist characterization used in MQL milling process, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 66-5, s. 1003–1014.

Groover, M.P., (1996), *Fundamentals of modern manufacturing - Materials, processes and system*, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 220-639.

Gül, F., (1989), Küresel Grafitli Dökme Demirde Malzeme ve Proses Parametrelerinin Küre Dağılımına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-120.

<http://www.hamitarслан.com/frezeleme-islemleri.html>, 2017

<http://www.eralube.com>, 2017

Iqbal, A., Ning, H., Khan, I., Li Liang, Dar, N.U., (2008), Modeling the effects of cutting parameters in MQL-employed finish hard-milling process using D-optimal method. *Journal of Materials Processing Technology*, 199, 1–3, s. 379–390

Jiang, F., Li, J., Yan, L., Sun J. and Zhang . S., (2010). Optimizing end-milling parameters for surface roughness under different cooling/lubrication conditions, *International Journal, Advanced Manufacturing Technology*, 51, s.841–851.

Kang, M.C., Kim, K. H., Shin, S. H., Jang, S. H., Park, J. H., Kim, C., (2008), Effect of the minimum quantity lubrication in high-speed end-milling of AISI D2 cold-worked die steel (62 HRC) by coated carbide tools, *Surface and Coatings Technology*, 202(22-23), s.5621-5624.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Kasim, M.S., Haron, C.H.C., Ghani, J.A., Azam, M.A., Rizamshah, A., (2017), The influence of cutting parameter on heat generation in high speed milling Inconel 718 under MQL condition, *Journal of scientific and industrial research* , 4-2, s. 1179–1185.

Klocke, F., Eisennblatter, G., (1997), Dry cutting, *Ann. CIRP* 46 (2).

Lee, P., Nam, T., Li, C., Lee, S.W., (2010), Experimental Study on Meso-Scale Milling Process Using Nanofluid Minimum Quantity Lubrication, *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers*, 34(10), s. 1493-1498.

Leskover, P., Grum, J., (1986), The metallurgical aspect of machining, *Ann. CIRP* 35 (1) s. 537–550

Liao, Y.S., Lin, H.M., (2007), Mechanism of minimum quantity lubrication in high-speed milling of hardened steel, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 47(11), s.1660–1666.

Liu, Z.Q., Chen, M., An, Q.L., (2015), Investigation of friction in end-milling of Ti-6Al-4V under different green cutting conditions, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 78 (5-8), s. 1181-1192.

Mazurkiewicz, M., Kubala, Z., Chow, J., (1989), Metal machining with high pressure water-jet cooling assistance—a new possibility, *J. Eng. Ind.* 111, s. 7–12.

Özdamar, K., (2002), Paket Programlar İle İstatistiksel Veri Analizi, Kaan Kitabevi, 4. Baskı, Eskişehir

Pham, M.Q., Yoon, H.S., Varsha Khare, V., Ahm, S.H., (2014), Evaluation of ionic liquids as lubricants in micro milling e process capability and sustainability, *Journal of Cleaner Production*, 76,167–173.

Qin, X., Gui, L., Li, H., Rong, B., Wang, D., Zhang, H., Zuo, G., (2012), Feasibility Study on the Minimum Quantity Lubrication in High-Speed Helical Milling of Ti-6Al-4V, *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, 6(7), s. 1222-1233.

Rahman, M., Kumar, A.S., Salam, M.U., (2002), Experimental evaluation on the effect of minimal quantities of lubricant in milling, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42(5), s. 539–547.

Rotella, G., Dillon, O.W., Umbrello, D., Settineri, L., Jawahir, I.S., (2013), The effects of cooling conditions on surface integrity in machining of Ti6Al4V alloy. *International Journal, Advanced Manufacturing Technology*, 71, s. 47-55.

Sasahara H, Kawasaki M, Tsutsumi M, (2008), Helical Feed Milling with MQL for Boring of Aluminum Alloy. *J Adv Mech Des Sys & Manuf.* 2(6): 1030-1040.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Shahrom, M.S., Yahya, N.M., Yusoff, A.R., (2013), Taguchi Method Approach on Effect of Lubrication Condition on Surface Roughness in Milling Operation, *Procedia Engineering*, 53, s. 594-599.

Shaw, M.C., Piggtt, J.D., Richardson, L.P., (1951), Effect of cutting fluid upon chip-tool interface temperature, *Trans. ASME* 71 s. 45-56.

Sokovic, M., Mijanovic, K., (2001), Ecological aspects of the cutting fluids and its influence on quantifiable parameters of the cutting processes, *JMPT* 109 (1-2) 181-189.

Sreejith, P.S., (2008), Machining of 6061 aluminium alloy with MQL, dry and flooded lubricant conditions, 62(2), 31 s. 276-278

Srikant, R.R., Prasad, M.M.S., Amrita, M., Sitaramaraju, A.V., Krishna, P.V., (2014), Nanofluids as a potential solution for Minimum Quantity Lubrication, *Instituon of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture*, 228(1), s. 1-18.

Tampu, N.C., Brabie, G., Chirita, B.A., Herghelegiu E., Radu, M.C., (2015), Influence of the cooling liquid on surface quality characteristics in milling, *Modern Technologies in Industrial Engineering (ModTech2015)*, Mamaia, Romania.

Thusty, J., Polacek, M., (1963), The Stability of Machine Tools against Self Excited Vibrations in Machining, *International research in production engineering*, ASME, s. 465-474.

Tonshoff, H.K., Brinkomeier, E., (1986), Determination of the mechanical and thermal influences on machined surface by microhardness and residual stress analysis, *Ann. CIRP* 29 (2) s. 519-532.

Tosun, N., Huseyinoglu, M., (2010), Effect of MQL on surface roughness in milling of AA7075- T6 Mater. *Manuf. Process* 25, s.793-798.

Wang, C., Li, K., Chen, M., (2015), Evaluation of minimum quantity lubrication effects by cutting force signals in face milling of Inconel 182 overlays, *Journal of Cleaner Production*, 108, s. 145-157.

Yan, L., Yuan, S., Liu, Q., (2012), Influence of minimum quantity lubrication parameters on tool wear and surface roughness in milling of forged steel, *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 25(3), s. 419-429.

Yıldırım, F., (2016), Karbon Nano Tüp Takviyeli Üç Boyutlu Cam Elyaf Reçine Nano Kompozitin Üretilmesi Ve Karakterizasyonu, Doktora Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Zaman, M.T., Kumar, A.S., Rahman M., Sreeram, S., (2006), A Three-Dimensional Analytical Cutting Force Model for Micro End Milling Operation, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 46(3-4), s. 353-366.

Zhang, S., Li, J.F., Wang, Y.W., (2012), Tool life and cutting forces in end milling Inconel 718 under dry and minimum quantity cooling lubrication cutting conditions. Journal of Cleaner Production, 32, s. 81–87.

I.Otomotiv ve Yan sanayi Sempozyumu, (1985), TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 115-120.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı ve Soyadı : Bülent ÇELİK
Doğum Tarihi ve Yeri : 25.04.1979 - Razgrade
Uyruğu : T.C.
Medeni Durumu : Evli

İletişim Adresleri

Adres : 1. Osb 5. Kuzey Cad. Cesan Vinç A.Ş.
BİLECİK
Gsm : +90 530 418 75 96
E-Posta : bulent.celik@cesan.com

Eğitim Durumu

İlköğretim : Osmangazi İlköğretim Okulu BİLECİK
Lise : EML BİLECİK
Lisans : Dumlupınar Üni. Simav Tek. Eğt. .Fak.
Talaşlı İmalat Öğretmenliği KÜTAHYA
Yabancı Dil : İngilizce