



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

Şafak SERTSÖZ

Yüksek Lisans Tezi

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Ağustos - 2018

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

Şafak SERTSÖZ

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

Şafak SERTSÖZ'ün YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “KÜRESEL GRAFİTLİ GGG-70 DÖKME DEMİRİN MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA TEKNİĞİ KULLANILARAK TORNALANMASINDA İŞLENEBİLİRLİĞİNİN DENEYSSEL 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 % 26 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

Doç. Dr. Alaattin KAÇAL

Şafak SERTSÖZ

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

Şafak SERTSÖZ

İleri Teknolojiler, Yüksek Lisans Tezi, 2018

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Alaattin KAÇAL

ÖZET

Bu çalışmada, talaşlı imalatın önemli operasyonlarından olan tornalamada 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 tornalanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve talaş geometrileri incelenmiş ve nano-MoS₂'nin işlenebilirlik üzerine etkileri araştırılmıştır.

Kesme deneyleri 350 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, Dunnet ve Tukey testi gibi bir dizi istatistiksel işlem yapılmıştır.

Kuru tornalama şartlarında en yüksek ortalama Ra değeri elde edilmiştir. Normal püskürtme, MMY ve nano MoS₂ katkılı MMY şartlarında pürüzlülük değeri azalmıştır. Ra değerinde kuru işleme şartlarına göre % 37 değerinde, Rz değerinde ise % 39 oranında bir azalma elde edilmiştir. Takım aşınmaları üzerine nano-MoS₂ katkısının olumlu etkileri olmuştur.

Anahtar kelimeler: MMY, MQL, Tornalama, Takım aşınması, Yüzey pürüzlülüğü

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

Şafak SERTSÖZ

Advanced Technology, Master's Thesis, 2018

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Alaattin KAÇAL

SUMMARY

In this study, the effects of minimum amount of lubrication (MQL) conditions on machinability in turning, which are important operations of machining, have been investigated. In this context, the MQL is mixed with the nano-sized solid lubricant MoS₂ and the GGG-70 spheroidal graphite cast iron is turned. Surface roughness, tool wear and chip geometry were investigated and the effects of nano-MoS₂ on machinability were investigated.

Shear tests were performed at a cutting speed of 350 m/min, a feed rate of 0,2 mm/rev and a cutting depth of 4 mm. Surface roughness (Ra, Rz) values obtained in MQL conditions with dry cutting, conventional cooling, MQL and 3 different nano-MoS₂ additions were investigated for cutting tool wear and chip formation. In MQL system, 3 different pressures and 2 different flow rates were determined. A number of statistical procedures such as variance analysis, Dunnet and Tukey test were performed to determine the relationship between Ra and Rz results and their relation to experimental parameters.

The highest average Ra value was obtained under dry running conditions. In MQL conditions with normal spray, MQL and nano MoS₂ addition, the roughness value is reduced. A reduction of 37 % in R a and 39 % in R z has been achieved according to dry processing conditions. The contribution of nano-MoS₂ on tool wear has been positive.

Keywords: MQL, Turning, Tool wear and surface roughness

TEŐEKKÜR

Bu çalışmada bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren değerli hocam sayın Doç. Dr. Alaattin KAÇAL'a ve benim buğünlere gelmemde desteğini hiç esirgemeyen aileme en içten teőekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. TEMEL KAVRAMLAR.....	10
3.1. Tornalama	10
3.1.1. Tornalama işlemlerinde hesaplamalar	13
3.2. Talaş Kaldırma İşleminin Mekanığı	14
3.3. Yüzey Pürüzlülüğü ve Ölçme	17
3.3.1. Yüzey yapısı	18
3.3.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesinde Kullanılan Parametreler.....	19
3.4. Kesici Takım Aşınma Tipleri ve Mekanizmaları.....	20
3.4.1. Serbest yüzey aşınması	20
3.4.2. Krater aşınması	22
3.4.3. Çentik aşınması.....	23
3.4.4. Burun aşınması	23
3.4.5. Isıl ve mekanik çatlaklar	24
3.4.6. Ağzı birikimi (BUE) oluşumu	24
3.4.7. Plastik deformasyon.....	25
3.4.8. Kenar çentikleme	26
3.4.9. Takım kırılması.....	26
3.5. Küresel Grafitli Dökme Demirler	27
3.5.1. Küresel dökme demirin özellikler.....	28
3.5.2. Dökme demirlerin işlenebilirliği.....	29
3.6. Soğutma Sıvıları ve MMY	30
3.6.1. Minimum miktarda yağlama tekniği (MMY)	31
4. MALZEME VE YÖNTEM	33
4.1. MMY Ekipmanı	33
4.2. Soğutma Sıvısı Ve MoS ₂ Tozu	36

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.2.1. Soğutma sıvısı.....	36
4.2.2. Nano-MoS ₂	36
4.2.3. Kesme sıvısı karışımının hazırlanması ve MoS ₂ 'nin karıştırılması	37
4.3. Deney Numunesi.....	39
4.4. Kullanılan Torna Tezgâhı	41
4.5. Kullanılan Kesici Uç ve Takım Tutucu	42
4.6. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi	43
4.7. Takım Aşınmalarının Belirlenmesi.....	43
4.8. Deney Parametreleri ve Değerlendirme Ölçütleri.....	44
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	46
5.1. Yüzey Pürüzlülüğü	47
5.2. Takım Aşınması Sonuçları.....	51
5.3. Talaşların İncelenmesi	58
5.4. İstatistiksel Analiz.....	61
6. SONUÇLAR	67
7. ÖNERİLER.....	69
KAYNAKLAR DİZİNİ	70
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Tornalama operasyonu.....	10
3.2. Alın tornalama.....	11
3.3. Dış çap tornalama.....	11
3.4. Delik delme	12
3.5. Kanal Açma.....	12
3.6. Kesme.....	13
3.7. Talaş tipleri	15
3.8. Talaş oluşumunun gerçeğe yakın gösterimi	16
3.9. 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
3.10. Dalgalılık.....	18
3.11. Form hatası.....	19
3.12. L örnekleme uzunluğu.....	19
3.13. Serbest yüzey aşınması	21
3.14. Serbest yüzey aşınmasının zamana bağlı değişimi.	21
3.15. Krater aşınması	22
3.16. Çentik aşınması	23
3.17. Burun aşınması	24
3.18. Isıl ve mekanik çatlaklar	24
3.19. Ağız birikimi (BUE) oluşumu.....	25
3.20. Plastik deformasyon	25
3.21. Kenar çentikleme.....	26
3.22. Takım kırılması	26
3.23. Kesme sıvısı çeşitlerinin yıllara göre dağılımı	30
3.24. Talaş Kaldırma Sistemlerinde Maaliyet Şeması	32
4.1. Tornalama deneyinde kullanılan MMY cihazı.....	34
4.2. MMY'nin püskürtme konumu.	35
4.3. Tornalamada MMY'nin konumu.	35
4.4. Nano MoS ₂ tozları.	37
4.5. a) Kesme sıvısının karışım öncesi, b) sonrası görüntüsü	38
4.6. Ultrasonik karıştırma cihazı	38

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.7. a) Topaklar halindeki MoS ₂ , b) Karıştırmadan sonra MoS ₂	39
4.8. Deney parçasının ölçüleri.....	40
4.9. Dökümden çıkan deney parçaları.....	40
4.10. Deneylerde kullanılan CNC torna tezgâhı.	41
4.11. Takım tutucu.	42
4.12. a) Elektronik mikroskop, b) Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	44
5.1. 160 ml/saat'te Ra'nın SYİ ne göre değişimi.	48
5.2. 310 ml/saat'te Ra'nın SYİ ne göre değişimi.	48
5.3. 160 ml/saat'te Rz'nin SYİ ne göre değişimi 49	49
5.4. 310 ml/saat'te Rz'nin SYİ ne göre değişimi 49	49
5.5. Ra pürüzlülüğüne genel bakış.	50
5.6. Rz pürüzlülüğüne genel bakış.	51
5.7. Kuru tornalama kesici takım SEM fotoğrafları.....	52
5.8. Şekil 5.7'deki "A" noktasına ait EDX sonuçları.....	53
5.9. Şekil 5.7'deki "B" noktasına ait EDX sonuçları.....	53
5.10. Normal püskürtmede kesici takım SEM fotoğrafları.....	54
5.11. Şekil 5.10'da yer alan "C" noktasına ait EDX analizi.	55
5.12. MMY + % 1,5 MoS ₂ parametresinde kesici takımın SEM fotoğrafları.....	56
5.13. Şekil 5.12'deki "D" noktasına ait EDX analizi.....	57
5.14. Şekil 5.12'deki "E" noktasına ait EDX analizi 57	57
5.15. Şekil 5.12'deki "F" noktasına ait EDX analizi 58	58
5.16. Kuru tornalamada toplanan talaş a) takım-talaş yüzeyi, b) dış yüzey, c) dış yüzey yakınlaştırma.	59
5.17. Normal püskürtmede toplanan talaş a) takım-talaş yüzeyi, b) dış yüzey, c) dış yüzey yakınlaştırma.	60
5.18. Normal dağılım grafikleri a) Ra, b) Rz.	61
5.19. Ana etki grafikleri a) Ra, b) Rz.....	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Kesici takım aşınma yüzey karakteristikleri ve alınabilecek önlemler	22
4.1. Bielomatik B1-210 cihazının özellikleri	34
4.2. ERALUBETM BIO CF 350'nin özellikleri	36
4.3. Nano-MoS ₂ 'nin özellikleri.	37
4.4. GGG-70'in kimyasal ve mekanik özellikleri	41
4.5. HYUNDAI WIA L300A CNC torna'nın özellikleri.....	41
4.6. Kesici uç ve takım tutucunun özellikleri.....	43
4.7. TIME TR200 cihazının özellikleri	43
4.8. Deney parametreleri.	45
5.1. Ölçülen deney sonuçları.....	46
5.2. Soğtma biçimleri numaraları.....	47
5.3. SYİ biçimleri numaraları.....	50
5.4. Ra'nın akışkan hızına göre Dunnet testi	62
5.5. Rz'nin akışkan hızına göre Dunnet testi	62
5.6. Ra'nın basınca göre Dunnet testi	63
5.7. Rz'nin basınca göre Dunnet testi.	63
5.8. Ra'nın % MoS ₂ katkısına göre Dunnet testi.	63
5.9. Rz'nin % MoS ₂ katkısına göre Dunnet testi.....	63
5.10. Ra'nın SYİ ANOVA sonuçları.	64
5.11. Rz'nin SYİ ANOVA sonuçları.	64
5.12. Ra'nın SYİ'e göre Tukey testi	64
5.13. Rz'nin SYİ Tukey testi.....	65

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Fr:	Radyal kuvvet
Fx	x eksenindeki kesme kuvveti bileşeni
Fz:	z eksenindeki kesme kuvveti bileşeni
Fc:	Kesme kuvveti büyüklüğü
h:	Anlık kesme kalınlığı
l:	İşleme uzunluğu
ae:	Takım işleme genişliği
Vc:	Kesme hızı
Q:	Metal kaldırma oranı
Tc:	Çalışma süresi
hm:	Ortalama talaş kalınlığı
mL:	Mililitre
Ra:	Kesme Derinliği
Rz:	Profilin ortalama maksimum uzunluğu
µm:	mikrometre
m/dk:	metre/dakika

Kısaltmalar

Açıklama

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
PVD:	Fiziksel Buhar Biriktirme

1. GİRİŞ

Küresel grafitli dökme demirler (KGDD) dişli, kam ve krank mili gibi pek çok makine ve otomotiv parçalarının üretilmesinde geniş kullanım alanına sahip malzemelerdir. KGDD malzemelerin son şeklinin verilmesinde, genellikle talaşlı imalat yöntemleri kullanılmaktadır (Ghani ve Choudhury, 2002). Bütün talaşlı imalat işlemlerinde iş parçasının plastik deformasyonu, takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünme ve kesici takım boşluk yüzeyi ile iş parçası arasındaki sürtünmeden dolayı önemli derecede ısı oluşmaktadır. Bu ısı oluşumu 350 °C ile 1000°C sıcaklık değerlerine ulaşabilmekte hatta daha yüksek değerler arasında değişmektedir. Talaşlı imalat işleminde oluşan ısı yapılan iş parçalarının kalitesini (ölçü hassasiyeti ve yüzey kalitesini) olumsuz olarak etkiler. Aynı zamanda oluşan ısı iş parçasında çarpımalara, kesici takımın hızlı aşınmasına ve plastik deformasyonlara neden olur. Bu nedenle talaşlı imalat işleminde oluşan ısının hızlı bir şekilde kesme bölgesinden uzaklaştırılması esastır (Reddy vd., 2007). Bu sorunu ortadan kaldırmak için yapılacak operasyon türüne (tornalama, frezeleme, taşlama vb) uygun özelliklere sahip soğutma sıvıları kullanılır. Böylelikle hem takım ömrü hem de işlenen parça kalitesi önemli ölçüde iyileştirilmiş olur.

Kesme sıvılarının kullanımından kaynaklanan olumsuz etkilerden dolayı sunmuş olduğu faydalar da tartışılır vaziyete gelmiştir. Uygun olmayan bir biçimde ortadan kaldırıldıkların da çevre ve ekeolojik denge üzerinde çok ciddi zararlar oluşturabilir. Bu önemli durumlar göz önüne alındığında kesme sıvılarını kullanırken ve kullanım sonun da bertaraf edileceği zaman talimatlara ve kurallara uyarak yapılmalı. Fabrika ortamında çalışan personellerin de kesme sıvılarının zararlı yönlerinde etkilenebileceği öngörülmelidir (Sokovic, 2001).

Kesme sıvıları yağlama, soğutma ve işlem sırasında oluşan talaşları operasyon bölgesinden uzaklaştırabilme fonksiyonları neticesinde talaş kaldırma işlemlerinde işlem performansını etkilerler. Soğutma sıvılarının kullanımı, bunların yanı sıra takım tezgahlarından, atölyelerden, fabrikalardan ve çevreden uzaklaştırılmaları, tezgah başında çalışan personelin sağlığı açısından da problem teşkil etmektedir. Bu durumda üzerinde hassasiyetle durulması gereken konu; talaş kaldırarak şekillendirmede alternatif yöntemler kullanarak; yüksek mukavemetli malzemeleri ekonomik, istenilen hassasiyette, çevreye zarar vermeden kısa sürede şekillendirmek olmalıdır. Kesme sıvısı kullanımının minimize edilmesi, yağlayıcı masrafından ve iş parçası/takım/makine temizliği çevrim zamanından tasarruf edilmesi aracılığıyla da ekonomik faydalar sağlar.

Basınçlı havanın içine minimum miktarda yağ karıştırılarak kesme bölgesine ideal açı ve uzaklıkta püskürtülerek istenilen soğutma ve yağlama işlemine kısaca minimum miktarda yağlama olarak tanımlayabiliriz. Talaşlı imalat operasyonlarında MMY işlemi tercih edildiğinde kullanılan yağlayıcı oranında ve performansında kayda değer kazanımlar sağlandığı görülmektedir. MMY ile takım tezgâhlarındaki parça üretim süreleri % 30 a kadar düşürülebilmektedir. MMY ile kesici takım ömürlerinde artışlar elde edilmektedir. (Mafa, 2018). Ayrıca, talaşlı imalat operasyonları akabinde meydana gelen atık ve geri-dönüşüm giderleri büyük oranda azalır. Çalışanların sağlıkları için daha güvenli ve temiz bir çalışma ortamı oluşur. Tornalama, frezeleme, raybalama ve delme gibi kesme işlemlerinde MMY'nin etkin kullanıldığı görülmektedir. Kesme kenarına kesme sıvısının erişilebilirliği dikkate alındığında, MMY sistemleri harici ve dahili olarak iki tip uygulama göze çarpmaktadır. Harici durumda, yağlayıcının kesici takımın etrafına püskürtülmesi nozul aracılığıyla tatbik edilir. Bu yöntemin standart talaşlı imalat operasyonlarında kullanılması önerilir. Dahili besleme durumunda; yağ talaşlı imalat tezgahının iş mili düzeneği ve operasyon noktasındaki kanallar vasıtası ile aktarılır. Dahili besleme durumu çoğunlukla kompleks işleme merkezlerinde ve yüksek hızla kesme operasyonlarında tercih edilir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Padmini vd., AISI 1040 çeliğinin tornalama işleminde minimum miktarda yağlama yönteminde, bitkisel yağlara odaklanmışlar. Nano molibden disülfid ($n\text{MoS}_2$) bütün nano sıvılarda kullanılmak üzere, hindistan cevizi (CC), kanola (CAN) ve susam (SS) yağlarıyla farklı çözeltiler hazırlamışlar. Talaşlı imalat parametreleri deneyler esnasında ölçmüşler ve temel özelliklerin arttığı gözlemlenmişler. Diğer yağlanma koşulları ile karşılaştırıldığı zaman 0,5 % CC + $n\text{MoS}_2$ 'nin daha iyi performans sergilediğini görmüşler. Kuru yöntemle yapılan imalata göre karşılaştırıldığı da kesme kuvveti % 37, sıcaklık % 21, kesici uç aşınması % 44 ve yüzey pürüzlülüğünün % 39 oranında azaldığını gözlemlenmiştir (Padmini vd., 2015).

Settineri çalışmasında Minimum Miktar Yağlamada (MMY) veya kuru koşullarda nikel bazlı süper alaşımlar üretmek için, nano yapıli kaplamalar geliştirmiş. 3 ayrı kaplama $\text{TiN}+\text{AlTiN}$, $\text{TiN}+\text{AlTiN}+\text{MoS}_2$ ve $\text{CrN}+\text{CrN}:\text{C}+\text{C}$ PVD ve WC-CO ile uygulanabilen nano yapıli katmanlar geliştirmiş. Bu geliştirmeler laboratuvar testleri ve talaşlı imalat uzmanları tarafından onaylanmış. EDS analiziyle SEM gözlemi, nano iz ve kazıma testleri, ball-on-disk kurulumuyla klasik tribolojik değerlendirme ve yüzeysel analiz, kuru ve MMY araştırmaları tribolojik ve yapışma/tokluk testleri arasında önemli uyuşmaların olduğunu göstermiştir (Settineri, 2005).

Attanasio vd., Endüstriler ve araştırmacıların güvenlik, çevresel ve ekonomik yararlar sağlamak için metal kesimindeki soğutma sıvıları ve yağlarının kullanımını azaltmaya çalıştığını belirtmişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada minimum miktardaki yağlamanın kesici uç aşımının azaltılmasının vereceği yararları tespit etmeye çalışmışlar. Yapılan testler ve SEM analizleri neticesinde Takım yanına uygulanan MMY'nin takım ömrünü arttırdığını görmüşler (Attanasio vd., 2006).

Priarone vd. Ti-48Al-2Cr-2Nb (at.%) alaşımının, düşük kesme sıvısı (su ve emülsiyon) hassa ölçülü damlacıklar halinde kesim alanına aktararak talaşlı imalatta işlenebilirliğini araştırmayı amaçlamışlardır. Islak ve kuru kesimdeki alet aşınması, ömrü, yüzey niteliği, yağ tüketimi ve çevresel etkisi tartışılmış. Deneysel kanıtlar, takım ömrü ile ilgili olarak, MMY ve kuru kesme kullanımının bir emülsiyon buharının kullanılmasıyla karşılaştırıldığında avantajlı bir strateji olduğunu göstermiş. Üstelik akış hızı ve kesici sıvı türü, işlem performansından önemli ölçüde etkilendiğini belirtmişlerdir (Priarone vd., 2014).

Chinchanikar vd., HiPIMS (Yüksek Güç Darbeli Magnetron Püskürtme) ile kaplamalı karbür kesicilerin sert tornalama işleminde (55 HRC) soğutma maddelerinin kullanımı hakkında geniş olarak tartışılan bir konuyu ele almışlar. Yapılan gözlem ve deneyler neticesinde AltıCrN kaplı karbür kesicilerin ömründe %20-%25'lik bir iyileşme görülmüş. Bu payda MMY'nın faydasından da söz edilmektedir. Özellikle 150 mt/dk hızlarda bu faydanın daha belirgin olduğu ifade edilmiştir (Chinchanikar ve Choudhury, 2013).

Carou vd., UNS M11917 magnezyum alaşımının kesintili tornalamasını farklı talaşlı üretim şartlarında deneysel olarak araştırmışlar. Farklı işleme şartları olarak; kesme hızı, kesme derinliği, ilerleme hızı ayrıca kuru işleme ve minimum miktarda yağlama metodu koşullarını belirlemişler. Aralıklı torna işleminde, sürekli çubuklar ve oluklu çubuklar kullanılmış. Yüzey pürüzlüğü tepki değişkeni olarak alınmış ve Varyans analizi (ANOVA) kullanılarak deney analiz edilmiş. Deney neticesinde MMY kullanımında yüksek besleme oranlarında biraz daha kötü yüzey pürüzlüğüne neden olabileceği belirtilmiştir (Carou vd., 2014).

Bruni vd., İş parçasında yüzey bitirme ve takım aşınımı üzerine kesme işlemlerinde oluşan etkilere odaklanmışlar. AISI 420B paslanmaz çeliğine ıslak, minimum miktarda yağlama metodu ve kuru olarak tornalama işlemi yapmışlar. Sonuçların da yağlama tekniğinin takım aşınmasını önemli derecede etkilemediği ifade edilmiştir (Bruni vd., 2006).

Sharma vd., Minimum miktarda yağlama (MQL), kuru talaşlı imalat, yüksek basınçlı soğutma sıvısı (HPC), kriyojonik soğutma, sıkıştırılmış hava soğutması ve katı yağların kullanım teknikleri ile ilgili büyük ilerlemeler hakkında genel değerlendirme yapmışlardır (Sharma vd., 2008).

Leppert çalışmasında; soğutucular ve boru üretiminde kesim bölgesindeki soğutma ve pürüzlü yüzeydeki yağlamaların etkisi araştırılmıştır. Kuru kesim ve minimum miktardaki yağlama sonuçlarını karşılaştırılmıştır (Leppert, 2012).

Metal sanayilerinde kesme sıvısının kullanımı hem çalışan sağlığı hem de çevre kirliliği açısından daha sorunlu hale gelmiştir. Ancak kesme sıvısının kullanımı genellikle aletlerin ekonomik olmasına neden olur ve sıkı toleransları korumak ve iş parçasını korumak daha kolay hale gelir. Onlardan dolayı, İşleme operasyonlarında kesme sıvılarının sarfiyatını minimum seviyelere düşürmek hatta hiç kullanmadan operasyon yapabilmek için yollar aramıştır. . Bu yollardan bazıları minimum yağlama ile kuru işleme yöntemidir. Bu araştırma kesim ısısındaki MMY'nın rolünü parça şekillendirmesi AISI 1040 çeliğinin farklı endüstriyel ilerleme hız

değerlerinde deneysel araştırmasında kuru talaşlı imalat ve talaşlı imalatın bir soğutucu olarak yağ çözünürlükleri karşılaştırılmıştır (Dhar vd., 2006).

Tüm işleme işlemlerinde, takım aşınma doğal bir olaydır. Yüksek verimlilik için artan talepler talaşlı imalat yüksek kesme hızı ve besleme oranına ihtiyaç duyar. Bu işleme doğal olarak yüksek kesme sıcaklığı üretir; bu da sadece takım ömrünü uzatır, aynı zamanda ürün kalitesini de etkiler. Metal kesme sıvıları, yağlama-soğutma ve yonga yıkama işlevlerini yerine getirir ancak kesici sıvı kullanımı hem çalışan sağlığı hem de çevre kirliliği açısından daha sorunlu hale geldi. Fabrika atölyelerinde havada bulunan kesme sıvısı parçacıkları ile ilgili çevreye zararlı müdahaleler ve mesleki tehlikeler Asgari miktar yağlama kavramı (MMY) konularını ele alarak on yıldan bu yana ileri sürülmüştür. Bu araştırma MMY'nin takım aşınımı ve yüzey pürüzlülüğünün AISI 4340 çeliğinin kaplanmamış karbür girişindeki ileri hız kombinasyonu üzerine deneysel araştırma yapar (Dhar vd., 2006).

Khan vd., bitkisel yağ bazlı kesim ile minimum miktar yağlamanın etkilerini ortaya koymaktadır. Minimum miktarda yağlama, hava ve bitkisel yağ spreyi ile sağlandı. MMS Talaşlı imalat, kuru ve ıslak işlemeye kıyasla çok daha üstün yapıldı. Uygun çip oluşumunu ve talaş-aracın etkileşimini mümkün kılan kesme bölgesi sıcaklığında azalma oluştu. Bu araştırma minimum miktardaki yağlamanın bitkisel yağ temelli sıvıların AISI 9310 düşük alaşımlı çeliğin performansı tamamen kuru ve ıslak talaşlı imalatın ısı, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü açısından karşılaştırılır (Khan ve Dhar., 2006).

Stephenson vd., Inconel 750 yanma gövdesi üzerindeki harici bir tornalama operasyonunda su bazlı (sulu) taşkın soğutma sıvısının süper kritik CO₂ bazlı asgari miktar yağlama yöntemiyle (scCO₂ MMY) değiştirilmesinin ön sonuçlarını anlatmaktadır. İki seri test gerçekleştirildi. Birinci işleme serisi, aynı işleme şartlarında sulu taşkın soğutma sıvısı ve scCO₂ MMY ile gözlemlenen takım aşınma performansını karşılaştırmak için kullanılan ilk seri ve SCR₂ MMY ile takım aşınma performansını MRR'den yüksek metal giderme hızlarında (MRR) araştırmak için ikinci seridir Sulu sele soğutucu ile üretim uygulamalarında kullanılır. Tüm testler, kaplanmış karbür takımlı inconel ve bitkisel yağ yağlayıcı ile kaba kesme kullanılarak gerçekleştirildi. Anahtar sağlayıcı olarak yağlayıcı akışının yonga blokajını ortadan kaldırmak için özel yan jet aracı tutucuları kullanılmıştır (Stephenson vd., 2014).

Bir takım çalışmaları kuru işleme ile karşılaştırılmasının MMY tekniği önemli ölçüde arttırdığını takım ömrünü uzatma ve işlenmiş kaliteyi artırma açısından kesme performansını

yükselttiğini göstermiştir. Ancak, süreç parametrelerinin sonuçlar üzerindeki etkisi hakkında birkaç araştırma yapılmıştır. MMY nozul konumu ve kesme parametreleri (kesme hızı, kesme derinliği ve besleme gibi). Deney, yukarıdaki parametrelerin dönme performansına etkilerini göstermeyi amaçlamaktadır. Öneğin talaş kaldırma kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve sıcaklık. Ayrıca, bu bildiride ortalama sıcaklıklar ve alet, iş parçası ve çip arasındaki ısı bölüşümü hesaplamak için kullanılan yöntem MMY'dır. Bu model aynı zamanda kuru ve geleneksel ıslak gibi diğer torna işlemleri için de kullanılabilir. Torna işlemleri. Başka bir deyişle, işleme sıcaklıklarını ve ısı akışlarını daha doğru tahmin etmek için aletin rake ve yan yüzlerinde MMY / sıvı akışının konveksiyon ısı transfer katsayısı yapılmıştır. Bu araştırma MMY tornalama esnasındaki ortalama ısıları, ısı bölümleri, işlenen parçaları ortaya koyar. Bu model diğer tornalama işlemlerinde de kullanılabilir (Hadad ve Sadeghi, 2013).

İmalat sanayisinde, kesme sıvılarının sağlık, çevre ve talaşlı imalat operasyonlarının verimliliğine etkisi, örneğin tornalama, frezeleme ve delik delme vb etkisi bilinmektedir. Talaşlı imalat için yüzey kalitesi, kalite özelliklerinin herkesçe bilinen bir göstergesidir. Tüm torna işlemlerinde, yüzey pürüzlülüğü bir işleme süreçleri için kalite özelliklerinin ortak göstergesidir. İşleme süreci daha fazladır. Kompleksidir ve bu nedenle, işlem parametrelerinin yüzey kalitesi üzerindeki etkilerini belirlemek çok zordur. Bu çalışmada deney tasarımları tüm tornalama işlemlerinde, soğutma şartları, kesme hızı, ilerleme oranı, kesme derinliği, Ra ve Rz değerlerinin ölçümü, AISI 1050 çeliğinin tornalamasında kullanılmıştır (Sarıkaya ve Güllü, 2014).

Sertleştirilmiş çelik AISI 4140 malzeme, mil, dişli gibi otomotiv parçaları üretmek için yaygın olarak kullanılır. Bu malzemenin işlenmesi kesme bölgesindeki sıcaklığı önemli ölçüde artırır ve İş parçası kalitesini belirlemede kritik rol oynar. Isı dağıtmak için kesme sıvısı yaygın olarak kullanılmaktadır. İşçilik, işçilerin ekolojisini ve sağlığını tehdit ediyor. Ve geleneksel kesme sıvılarında kullanıcı dostu alternatifler ortaya çıkarır. Modern triboloji, Nano yağlama sistemi kullanır. Bu amaçla, nano-yağlayıcıların minimum miktarda yeni bir kullanımında yağlama sistemi incelendi. Bu çalışmada AISI4140 sertleşmiş çeliğinin tornalamasındaki hava basıncı nano yağlamada SiO₂ buğu kullanıldı. Sonuç olarak gelişmeleri optimize eden onaylama testleri yapılmıştır (Sayuti vd., 2011).

Tornalama torna sanayide metal kesiminin en temel süreçlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Sıcaklık Tornalama esnasında kesme bölgelerinde üretilen malzeme, son parça kalitesinde ve güç tüketiminde önemli rol oynar. Mevcut çalışma, yeni bir soğutma tekniğinin

performansını, yani, minimum miktarda uygulanan gelişmiş bir kesme sıvısı ile entegre iş parçasının ön soğutması Soğutma yağlama yöntemi. Bunu yapmak için, arzu edilen çevre dostu ve kullanıcı dostu Sıvı, suda karışık bitkisel yağ, az miktarda anti-bakteriyel madde ve bir kokulu öz kullanılır. Söz konusu işleme parametrelerini değerlendirmek için, yani yüzey pürüzlülüğü, tüketilen işleme güç ve çip oluşumunun yanı sıra işleme tehlikeleri ile ilgili bazı testler sertleştirilmiş ve temperli AISI 1045 çeliğinde çalışmanın bulgularına dayanarak, 2006'da büyük bir iyileşme görülmüştür. Bu çalışma yeni soğutma tekniklerinin üzerinde durur, soğutmadan önceki yağlama metotlarını geliştirmiş sıvı kesim metotlarıyla bütünleştirir. Böylece çevreye dost sıvı kesim elde edilir (Shokoohi vd., 2015).

Yazid vd., kesme parametrelerinin ve talaşlı imalatın etkisini araştırmak için deneysel çalışmaların sonuçlarını bildirmektedir. Sonlandırma işlemi sırasında yüzey bütünlüğüne ilişkin koşullar Aşırı korozyona dayanıklı, nikel bazlı süper alaşım olan Inconel 718, Üç kurutma şartlarında (Kuru, MMY 50 mL / saat ve MMY 100 mL / saat) kullanılır. Birkaç ila birkaç mikron kalınlıkta yüzey seviyesi ölçümü SEM kullanılarak mikro yapı analizi İşlenmiş yüzey üzerinde şiddetli bir deformasyonun meydana geldiğini, bunun da alttaki mikroyapı değişikliklerine yol açtığını düşündürmektedir. İşlenmiş yüzey altında sertleştirme yapıldı. Daha yüksek sertlik okumasının yüzey yakınında ölçüldüğü mikro sertlik ölçümlerinden anlaşılacağı gibi Bu çalışmanın sonuçları, MMY'nin yüzey bütünlüğü özelliklerini muhtemelen iyileştirebileceğini göstermektedir. Bu araştırma kesimin yarıçapını ve talaşlı imalat koşulları gibi deneysel işlemleri üç kesim şartı altında inceler (Yazid vd., 2010).

Sürdürülebilirlik kavramlarının imalatta uygulanmasına yönelik mevcut sürüş, sürdürülebilir işleme uygulamalarını kabul etti. Araştırmanın kilit alanı, çevresel olarak iyi huylu soğutma stratejileri araştırılmasıdır. Bitkisel yağlar sıklıkla şu şekilde önerilmektedir. Geleneksel sentetik emülsiyon soğutucularına sürdürülebilir alternatifler kuru ve kriyojenik işleme, minimum miktar Yağlama (MMY) ve minimum miktar soğutmalı yağlama (MMSY) de önerilmiştir. Bu çalışmada altı Ti-6Al-4V titanyumunun kaplamasız olarak döndürülmesi sırasında kenar takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve enerji tüketimi üzerindeki farklı stratejiler incelenmiştir. Karbür takımı belirli hızda ve ilerlemede, ve MMSY yapılandırmasında kolza tohumu bitkisel yağı kullanımı genel olarak sürdürülebilir bir durum olarak ortaya çıkmaktadır (Deiab vd., 2014).

İmalat sanayi, bir ülkenin ekonomisinde çok önemlidir. Bununla birlikte, büyük miktarda kaynak tüketimi ve Atık atılımıdır. Bu çalışmanın amacı, Hintli bir ülkede dönme

süreci ile ilgili sürdürülebilirlik konularını araştırmaktır. İşleme endüstrisi. Yüzey pürüzlülüğü, malzeme kaldırma hızı ve enerji tüketimi gibi parametrelerin etkisindedirler (Dambhare vd., 2015).

Sürdürülebilirlik faktörleri. Süreç parametrelerinin etkisi (hız / besleme / kesme derinliği), işleme ortamı (kuru / MMY / ıslak) ve tepki üzerinde kesme aleti türü gözlemlendi. Verilerin test edilmesi için Varyant Analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Süreç tepki yüzeyi metodolojisi (RSM) kullanılarak analiz edildi. Çalışmanın sonuçları, kesme işleminin etkisini anlamaya yardımcı oldu. Yüzey kalitesi parametreleri, enerji tüketimi ve malzeme kaldırma oranı hesaplandı. İşlem güçten optimize edildi. Çevreye duyarlılığı geleneksel işleme sürecine getirecektir. Bu araştırmanın amacı Hindistan'daki tornalama süreçleriyle ilgili sürdürülebilir konuları araştırmaktır. Yüzey pürüzlülüğü, maddenin kaldırma oranı ve enerji tüketimi sürdürülebilir konular olarak göz önünde tutulur (Dambhare vd., 2015).

Hwang vd., AISI 1045 çalışma malzemesinin MMY (minimum miktar yağlama) ve ıslak tornalama prosesleri üzerine bir incelemeyi sunmaktadır. Kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü öngörmek için deneysel modeli önermek, optimum kesme parametrelerini incelemek ve kesme parametrelerinin işlenebilirlik üzerindeki etkilerini analiz etmek. Kesirli faktöryel tasarım ve merkezi bileşik tasarım deneme planı için kullanılmıştır. Kesme parametrelerine göre kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Ölçülen veriler, regresyon analizi ve doğrulama sonuçları teyit etmek için deneyler gerçekleştirildi. Deneysel sonuçlar ve regresyon analizinden, bu araştırma projesi deneysel denklemleri önerdi, optimum kesme parametrelerini önerdi ve kesme parametrelerinin yüzey üzerindeki etkilerini inceledi. Bu çalışma MMY ve ıslak tornalama süreçlerinin (AISI 1045) kesim kuvvetini ve yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek ve talaşlı işlenebilirlikteki kesme katsayısının etkilerini inceler (Hwang ve Lee, 2010).

Tüm işleme süreçlerinde, takım aşınması doğal bir fenomendir ve takım başarısızlığına neden olur. Artan talepler yüksek işleme verimliliği için yüksek kesme hızı ve ilerleme oranının kullanılması gerekir. Bu işleme doğal olarak sadece takım ömrünü kısaltır aynı zamanda ürün kalitesini de düşüren yüksek kesme sıcaklığı üretir (Dhar vd., 2007).

Metal kesme sıvıları, yağlama, soğutma ve talaş nedeniyle işleme işlemlerinin Performansını değiştirir. Yıkama işlevleri kullanıyor ancak kesici sıvı kullanımı hem çalışan sağlığı açısından hem de çevre kirliliğine neden olması açısından zararlıdır. Kesme sıvısının

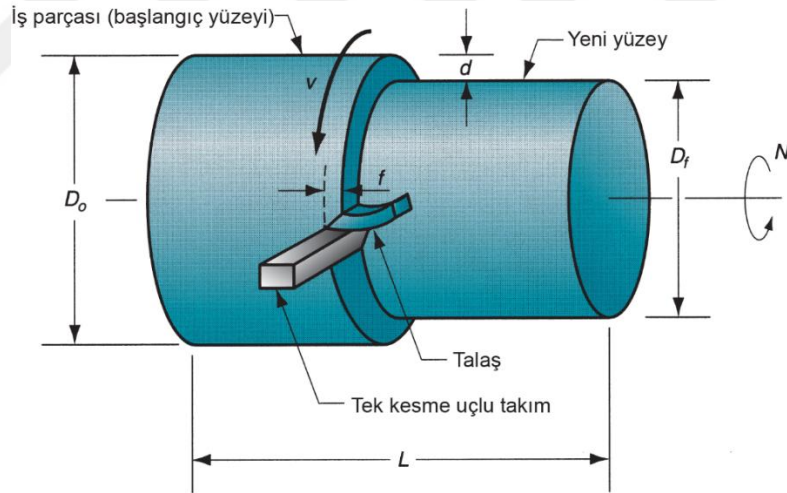
kullanımı genellikle aletlerin ekonomik olmasına neden olur ve tutmak daha kolaydır. Dar toleranslara ve iş parçası yüzey özelliklerini hasar görmeden korumak için tasarlanmıştır. Bu sorunlardan dolayı, bazıları talaşlı imalat işlemlerinde kesme sıvısının kullanımını en aza indirmek veya hatta önlemek için alternatifler aranmıştır. Bazı bu alternatifler kuru parça işleme ve minimum miktar yağlama (MMY) ile işlemdir. Bu araştırma MMY'nin kesme ısısı alet aşınması yüzey pürüzlülüğünün AISI -4340 çeliğinin endüstriyel hız ilerleme kombinasyonlarına etkisini araştırır. Sonuçlar alet aşınma oranı gibi etkenleri içine alır (Dhar vd., 2007).

Yukarıda bahsi geçen çalışmalarda genel itibari ile değerlendirildiğinde, minimum miktarda yağlama ve soğutma işlemleri ile alakalı çok sayıda deney ve çalışmaların yapıldığı görülebilir. Yapılan deney ve kazanımlar genel itibari ile yağlayıcının tipi, akışkan hızı, nozulun tipi, nozulun konumlandırılması, basınç faktörü, işlenen malzeme tipi, işlenen malzeme süreçleri, kesme parametreleri, soğutucu sıvıların içine katılan katkıları gibi birçok başlık altında toplanmıştır. Deney planında ve deney sürecinde reel imalat koşulları baz alındı. Katı yağlama özelliği ile MoS₂ ortaya konan varsayımı destekleyecek bir etkidir. Deney malzemeleri ve gereçlerini belirlerken reel imalat koşullarında kullanılabilmesi ve elde edilebilirliği öncelik olarak belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülük değerleri, talaş oluşumları, kesici uç aşınımları ölçümleri baz alınarak GGG 70 küresel grafitli dökme demirin işlenebilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

3. TEMEL KAVRAMLAR

3.1. Tornalama

Tornalama temel olarak Şekil 3.1’ de görüldüğü gibi tek nokta temaslı kesici takım ile silindirik şekiller oluşturmasını sağlar ve genellikle iş parçası dönerken kesici takım sabittir. Bu nedenden dolayı tornalama işlemi; iş parçasının ve takımın birbirine göre durumu yani genel olarak işlenebilirliğe etki eden faktörlerin son derece detaylı irdelenmesi ve değerlendirilmesini gerektiren bir işlemdir. Tornalama; iş parçasına istenilen şekil verilirken bunun yanında da oluşan talaşın ortadan kaldırılmaya çalışılmakla kalmamış operasyonu oluşturan parametreler, parça kalitesi ve özellikle günümüzde maliyet unsurları da kontrol edilme zorunluluğunu içeren ve bunları optimize etmeye çalışan bir bilim dalı olmuştur. Yani tornalama işlemi sadece kesme kenarı işlemi gibi görülmesine karşın iş parçasının ve kesici takım malzemesinin şeklinin, işleme tiplerinin ortamın ve daha birçok faktörün etkisinin olduğu bir işlemdir. Bu faktörlerde genel olarak işlenebilirliği etkilemektedir (Apakhan, 2006).



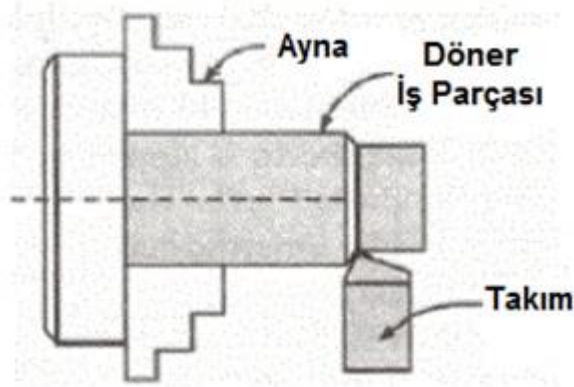
Şekil 3.1. Tornalama operasyonu (Groover, 2011/2015, 501).

Tornalama operasyonlarının çeşitlerine bakıldığında başı çeken tornalama tipi alın tornalamadır. Aşağıda yer alan şekile (Şekil 3.2) bakıldığında kesici takımın işlenen parçanın dönme merkez eksenine doğru ilerlemesiyle yapılan tornalama türüdür. Bu tip tornalama operasyonlarında takım tutucunun ve kesici ucun ters tarafının işlenen parçanın alın yüzüne sürmemesine önem verilmelidir (Ergunkeskin, 2015).



Şekil 3.2. Alın tornalama (Hamitarıslan, 2017).

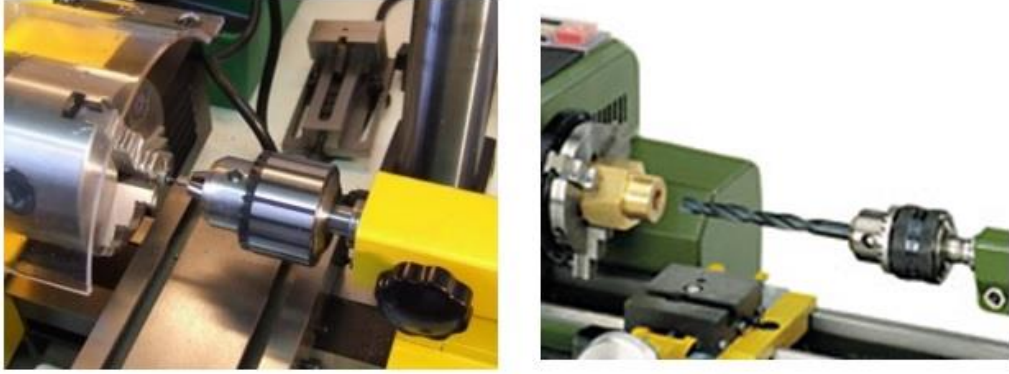
Boyuna tornalama, işlenen parçanın dış çapının silindirik biçiminde işlenmesidir (Şekil 3.3). Sol yan veya sağ yan torna kalemı vasıtası ile dış çap tornalanır. Karşılık puntasından ayna istikametine doğru sağ yan, Ayna istikametinden karşılık puntasına doğru sol yan tornalama işlemi yapılır. İşlenecek olan parça ayna ve punta arasına ya da firdöndü vasıtası ile iki adet punta arasına bağlanması akabinde işlenecek malzemenin türüne göre kesme hızı belirlenir. Belirlenen kesme hızı ile orantılı olarak devir sayısı belirlenerek tezgah ayarlı konuma getirilir. (Ergunkeskin, 2015).



Şekil 3.3. Dış çap tornalama (Ergunkeskin, 2015).

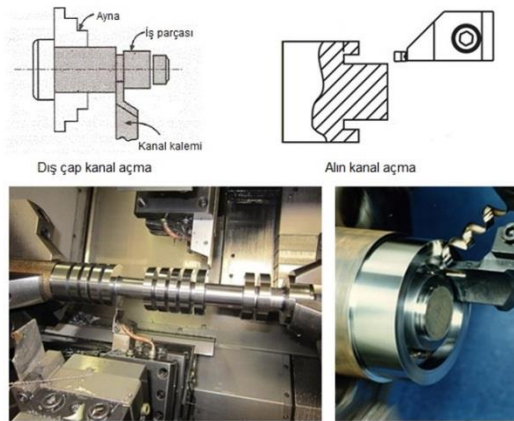
İşlenecek olan parçanın üzerinde bulunan konik yüzeylerin tornalama işlemine konik tornalama denilir. Üç farklı tipte bu işlem yapılabilir. Bunlara değindiğimizde; Sportun çevrilmesi ile tornalama, gezer puntanın kaydırılması ile tornalama ve sevk kızıağı vasıtası ile tornalama.

Delik operasyonları helisel matkap vasıtası ile yapılır. Matkap, gezer puntanın üzerine takılabilen mandren ile bağlanır. Devir başlaması ile gezer punta ayna istikametine doğru hareket ettirilerek delik delme operasyonu yapılır (Şekil 3.4).



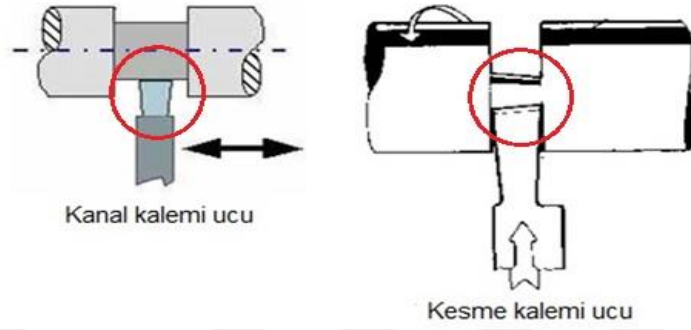
Şekil 3.4. Delik delme (Hamitarıslan, 2017).

Kanal açma işlemleri işlenen parçanın alın yüzeyine, dış yüzeyine ve delik içine uygulanır (Şekil 3.5). Açılması istenen kanal formatı kalemin profil yapısına göre değişiklik arz eder. Yapılan kanal uygulamaları; Düz kanal, Yuvarlak kanal, Trapez kanal.



Şekil 3.5. Kanal açma (Ergunkeskin, 2015).

Tornada kesme operasyonu kanal açma operasyonu ile benzerdir. Farkı oluşturan unsur kesici kalem ucuyla alakalıdır. Kanal açma operasyonunda kesici kalem ucu düz, kesme işleminde ise açılı uç kullanılır (Şekil 3.6) (Hamitarıslan, 2017).



Şekil 3.6. Kesme (Hamitarıslan, 2017).

3.1.1. Tornalama işlemlerinde hesaplamalar

Torna tezgâhlarında sağlıklı ve doğru bir hesabın yapılması için; devir sayısı, kesme hızı ve ilerleme gibi kavramların iyi derecede kavranmış olması gereklilik arz eder. İdeal tornalama operasyonlarının yapılabilmesi için bu parametreler çok önem göstermektedir. Bu parametreler iyi ayarlanmadığında işlenen parçanın yüzey kalitesine, operasyon süresine, kesici uç ve takımlarının ömürlerine ve tezgâhın verimli ve sağlıklı çalışmasına olumsuz olarak etki etmektedir. Bu önemli sebeplerden dolayı parametrelerin iyi hesaplanması gerekmektedir.

Tornalama operasyonlarında, torna kaleminin işlenen parçanın çevresini bir dakika içinde metre cinsinden kat ettiği yola kesme hızı denir. Başka bir tanımlamayla ifade edilirse; işlenen parçanın üzerinde bir dakika zamanda çıkan talaşın doğrusal uzunluğuna denir. Kesme hızı hesabı imalatçı firma katalog verilerine göre belirlenir. HSS kesicilerde 25-50 m/dakika aralığında. Sert maden uçlarda 250-500 m/dakika aralığında. Kesme hızını etkileyen faktörler;

- İş parçasının malzeme tipi
- Kesici takım malzeme tipi
- İşlenen parçanın bağlantı metodu
- Tezgâhın güç unsuru
- Talaşın derinliği
- İşleme metodu

- Kesici ucun ilerleme oranı

Kesici takımın işlenen parçanın eksenini doğrultusunda bir dakika içinde mm cinsinde kat ettiği yol uzunluğuna ilerleme denir. İlerlemeyi etkileyen unsurlar;

- Talaşın derinliği
- Talaşın kaldırılma türü
- İstenilen yüzey kalitesi
- Kullanılacak olan kesme sıvısının tipi

İlerleme mm/devir veya mm/dakika biçiminde iki tipte ayarlanabilir. İlerleme hızı CNC tezgâhlarda mm/devir cinsinden, konvansiyonel tezgâhlar da mm/dakika cinsinden verilir. CNC tezgâhlarında mm/devir cinsinden verilmesinin sebebi iş parçasının çapı devamlı değiştiğinden dolayı devir sayısının da değiştirilmesi gerekmektedir. Buna bağlı olarak ilerleme oranlarının da değiştirilmesi gerekmektedir. Bundan dolayı ilerleme miktarı mm/devir cinsinden verilir (Hamitarıslan, 2017).

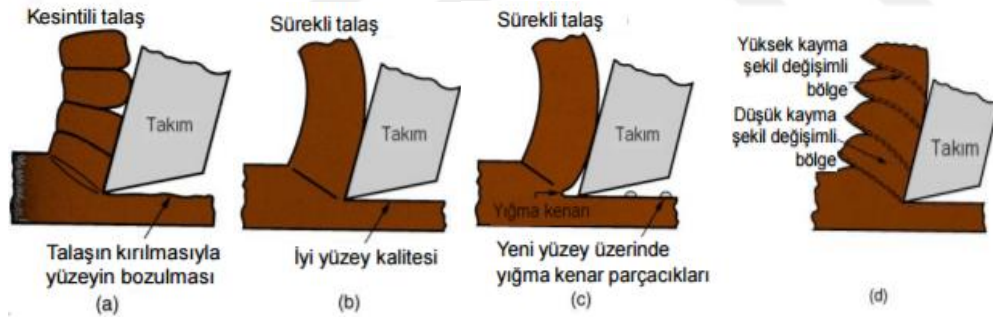
3.2. Talaş Kaldırma İşleminin Mekanığı

İş parçasının yüzeyinden kesici takımlar vasıtasıyla parçanın kesilerek şekil verme işlemine talaşlı imalat denir. Metal kesimi son dönemlerde denetimli talaş üretme işlemi olmaya başlamıştır. İş parçasından çıkan talaşlar kesim bölgesinde gözlemlenebilmekte; operasyon anında meydana gelen ısının birçoğu talaşla birlikte bertaraf edilir. Talaş kontrolü, yapılan operasyon niteliğine göre öncelik isteyebilir. Talaşlı imalata amaç iş parçasının istenen forma getirmektir. Bun verimli hale getirmenin yollarından biri de ideal talaş oluşumunu sağlamakla olur. İdeal talaş oluşumunu sağlayabilmek içinde talaş kırma mekanizmalarından faydalanarak talaş oluşumu elde edilmelidir. Çıkan talaşın istenen formda olmasının sebebi yalnızca depolana bilirlik değil, kesici takım ve işlenen parçanın üzerinde oluşabilecek zararları engellemek ve meydana gelen ısınının önemli bir kısmını bertaraf etmektir (Çakır, 2000; Zaman, 2006).

Yapılan talaşlı imalat operasyonlarında, uygulanan işlemin ve çıkan talaş hacmine bakılmaksızın kontrollü talaş oluşumu şarttır. Farklı tipte malzemelerden oluşan talaşların durumlarını anlayabilmek, talaş kaldırma işlemi anlayabilmektir. Talaş kaldırma işleminde, talaş kalitesini etki eden faktörlerden deformasyon miktarı, sıcaklık miktarı ve oluşan kuvvetlerin belirlenmesidir. Sıcaklık faktörü talaş kaldırmayı direkt etki ederken, daha yüksek olduğunda kesici takımın malzemesinde de olumsuz etkilere neden olur. Talaş kaldırma

işleminde oluşan kesme kuvvetleri direkt operasyon için ihtiyaç duyulan güç ve momentleri etkiler. Kesici ucun tasarımında, belirli operasyon koşullarında sıcaklığın, kesme kuvvetlerinin ve istenen talaş oluşumunun kontrol edilebilirliğini gerektirir. Talaş kaldırma esnasında kesici uç işlenen malzemenin bir kısmını plastik deformasyona uğratar ve talaşı kırar. Talaş biçiminde ayrılan malzemenin tabakasında meydana gelen gerilmeler, tabakanın kesici kenara yaklaşmasıyla artar (Çakır, 2000; Zaman, 2006).

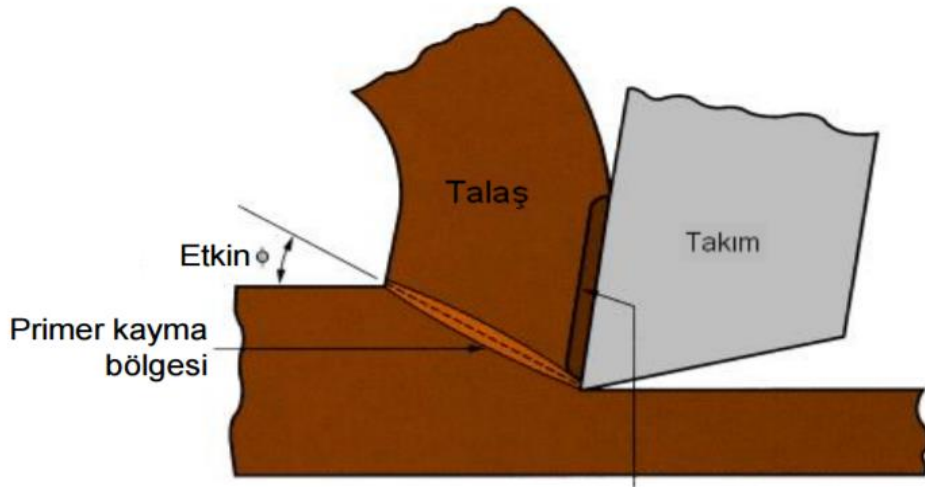
Akma sınırına ulaşan gerilmeler malzeme içinde elastik ve plastik deformasyonlar oluşturur. Malzemenin cinsine göre farklı talaş tipleri meydana gelir. Bunlar; kesintili talaş tipi (a), sürekli talaş tipleri (b-c), yarı kesintili talaş tipleri (Şekil 3.7).Talaş kırma işleminde gereken enerjinin çoğu kayma düzleminde sarf edilir. Meydana gelen talaş takımın yüzeyi boyunca akmasını sağlayabilmek için kesici uç işlenen parçaya doğru bastırılarak talaşın kayması sağlanır. Parçanın kayma düzleminde sergilediği plastik davranış, talaş ve kesici kenar yüzeyinde şekil değiştirme sertleşmesinde etkili olur. Deformasyon sertleşmesi kesme kuvvetinde artışa sebep olur. Buda kayma açısını azaltarak kalın talaşın kesici takımın yüzeyinden akmasına sebep olur. Talaş açısının büyüklüğü deformasyon miktarı ile ilişkilidir. (Groover, 1996).



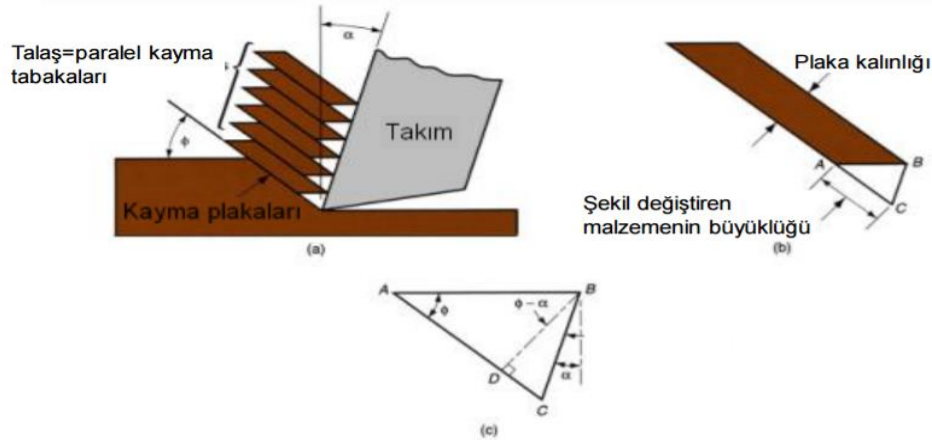
Şekil 3.7. Talaş tipleri (Groover, 1996).

İşlenen parçadan kaldırılan malzemenin talaş oluşturduğu düzleme kayma düzlemi denir (Şekil 3.8.). Talaş oluşumu esnasında takım ile talaş ara yüzeyinde etkileşim meydana gelir. Talaşın meydana gelmesi temas miktarı ile kayma açısından etkilenir. Talaşın oluşumunda dikkat edilmesi gereken hususlardan biride; talaşın temas uzunluğu boyunca takımın yüzeyinde meydana getirdiği hareketin niteliğidir. Takımın yüzeyi ile talaş arasındaki temasın uzunluğu kayma açısını etkili kılar. Bu temas yüzeyindeki oluşan kuvvet ve sıcaklığın kesici takıma etkileri önemli ölçülerdedir. Kayma kuvvetinin büyüklüğü kayma açısının küçük olması ile

alakalıdır. Büyük talaş açısı talaşın daha büyük bir yarıçap etrafında daha az kıvrılması ve daha düşük kuvvetlerin oluşması demektir. Çoğu talaş kaldırma operasyonlarında kesme istikametinin temel kesme kenarına dik olmadan belirli bir açıyla yapmış olduğu eğik kesmedir. Bu olay takımın geometrisini ve talaşın akış yönünü değiştirir (Groover, 1996). Talaşın oluşum açısı temas uzunluğunu etkiler (Şekil 3.9). Artan talaş açısıyla temas uzunluğu azalır. Talaş açısı ne kadar artarsa temas uzunluğu ters orantılı olarak düşer. Talaşın oluşması, deformasyona uğramamış talaşın kalınlığıyla, ilerleme miktarıyla, talaşın açısıyla ve işlenen parçanın mukavemeti ile alakalıdır. Talaşın oluşumu deformasyon bölgesindedir. Talaşın oluşumu, operasyon anında meydana gelen eğilme kuvvetinin etkisi ile biter. (Tlusty and Polacek, 1963).



Şekil 3.8. Talaş oluşumunun gerçeğe yakın gösterimi (Groover, 1996).



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

Şekil 3.9. (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. Yüzey Pürüzlülüğü ve Ölçme

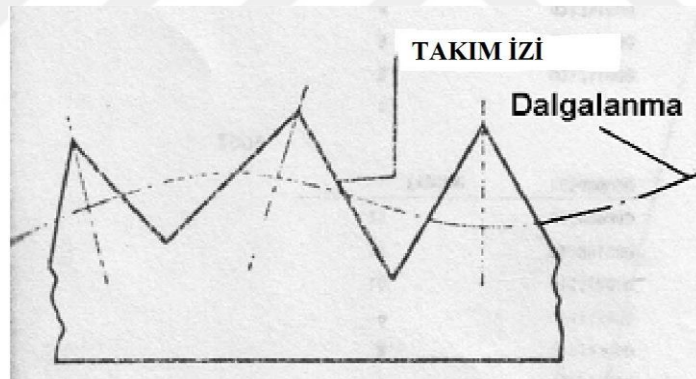
20. yüzyılın başlarında yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilme metodu; bakarak ve elle hissederek gerçekleşirdi. Bakıldığında yüzeyde yansıma oluşuyorsa pürüzsüz yüzey olarak değerlendiriliyordu. Fakat bu yöntemlerin kullanımı kısa sürdü. Metal yüzeylerinin değerlendirme biçimi kullanıcının görüşünden farklı değerlendirilmeye başladı. Yüzeyin yapısı değerlendirildiğinde pürüz yüksekliği için ortalama yükseklik değerleri çok önemlidir. Ama pürüzlülüğün kontrolü için yeterli değildir. Yüzey karakteristiklerinin ölçülebilmesi için yüzey pürüzlülüğü ve yüzey yapısı terimleri belirlenmiş.

Pürüzlülüğün ölçümü doğru ve hassas yapılması önemlidir. Tabi bunlarla beraber kullanılacak pürüzlülük parametreleri ve doğru değerlendirme önem arz etmektedir. Yüzey pürüzlülük parametrelerine baktığımızda 3 çeşittir. Bunlar dalga boyu, genlik ve hibrittir. En tercih edilen parametreler ISO 13565-2, ISO 4287 ve Fransızların otomotiv imalat sektöründe kullandığı CNOMO E 05-0152 (Güllü Vd., 2003).

3.3.1. Yüzey yapısı

Bir iş parçasının işlenen yüzeyi boyunca meydana gelen çizikler ve düzenli olmayan kısa dalga boyu uzunluklarına pürüzlülük denir. Yüzey üzerinde oluşan çiziklerin normal doğrultuda ölçümü ile çapraz konumda ölçülmesi, dalga boyunun uzunluğu dikkate alındığında farklılık arz eder. Kesici ucun kalitesi, talaş oluşumu ve işlenen parçanın malzemesi de yüzey pürüzlüğünde etkilidir. Kısaca tanımladığımızda yüzeye ait mikro yapıya denir. Ölçümünde profilometre cihazı kullanılır. Değerlendirilecek yüzey uzunluğundaki azami çukur-tepe değeridir. Bir L örnekleme uzunluğundaki yükseklik R_{max} 'dır.

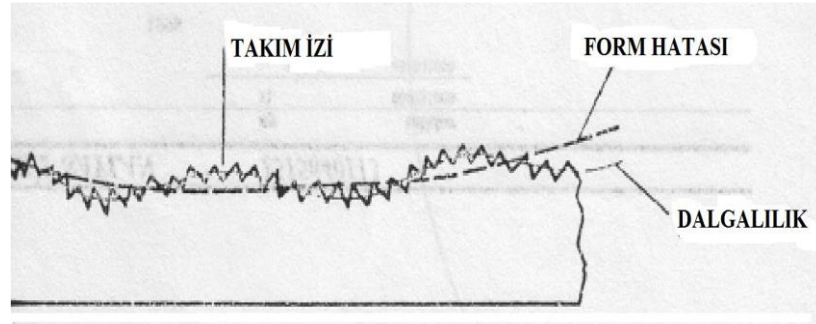
Yüzey üzerinde oluşan pürüzlülükler düzenli olmayan dalga boyu uzunlukları şeklinde dağılıyorsa yüzeyde aşırı yüklenme meydana gelmiştir. Bu durum dalgalanma olarak nitelendirilir (Şekil 3.10) Dalgalanmaya sebep olabilecek durumlar; iş parçasının yüzeyinin taşlanması anında oluşabilir. Taşlayıcının malzemesindeki kusurlar sebep olabilir. İşleme operasyonu yapan takım tutucunun oluşturduğu titreşimlerden meydana gelebilir. Isıl işleme tabi tutulmadan da kaynaklanabilir (Tlusty and Polacek, 1963).



Şekil 3.10. Dalgallık (Tlusty and Polacek, 1963).

Başka bir tabirle dalgallık veya biim titreşimi yüzeyin makro yapısıdır.

Genel form hataları, yüzeyin yapısında, kızak aşınmalarından, tornalama işleminde kesici takımın merkezinin aşağıda veya yukarıda olmasından, iş parçası işlenirken iş parçasının eğilip bükülmesinden meydana gelebilir. Şekil 3.11'de yüzeydeki form hatası gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Form hatası (Tlusty and Polacek, 1963).

3.3.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesinde Kullanılan Parametreler

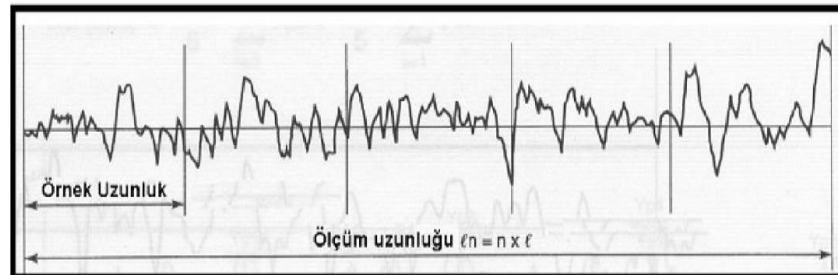
Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesinde kullanılan parametreler aşağıda olduğu gibi gösterilir ve adlandırılırlar.

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 yararlanır. Standartlara göre ölçüm mesafesi 5 eşit parçaya bölünür ve bu parçalardaki ölçüm değerlerinin ortalaması alınır. Parçaların boyutu ölçüm değerine göre belirlenir (Şekil 3. 12).



Şekil 3.12. L örnekleme uzunluğu (Tlusty and 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 pürüzlülüğü ölçen cihazlardan direkt olarak okunabilir. R_z , aynı örnekleme uzunluğunda beş en yüksek tepe ve beş en derin çukur arasındaki ortalama mesafedir.

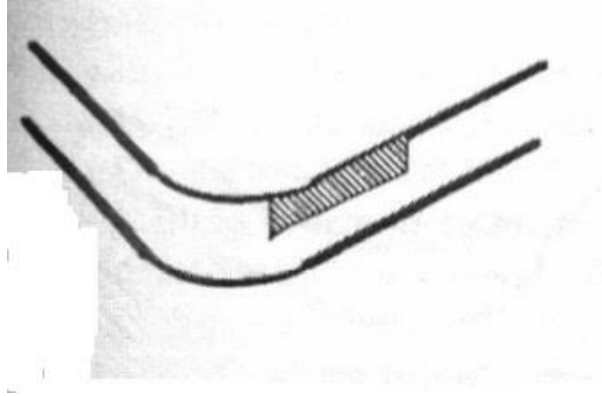
3.4. Kesici Takım Aşınma Tipleri ve Mekanizmaları

Kesici takım ömrü hakkında fikir sahibi olabilmek için, kesici takımın zayıflamasına neden olan sebepleri bilmek gereklidir. Takım hasarı; asınma, plastik deformasyon ve kırılma nedeniyle meydana gelir. Takım asınması, takımın etkilendiği bölge veya asınmayı meydana getiren fiziksel mekanizmaya göre sınıflandırılırlar. Ana asınma mekanizması da büyük ölçüde takım malzemesine bağlıdır. Takımlar; talas olusumu sırasında meydana gelen yükleri karşılayamadıklarında, plastik deformasyona uğrarlar veya kırılırlar (Özdemir ve Erten, 2003).

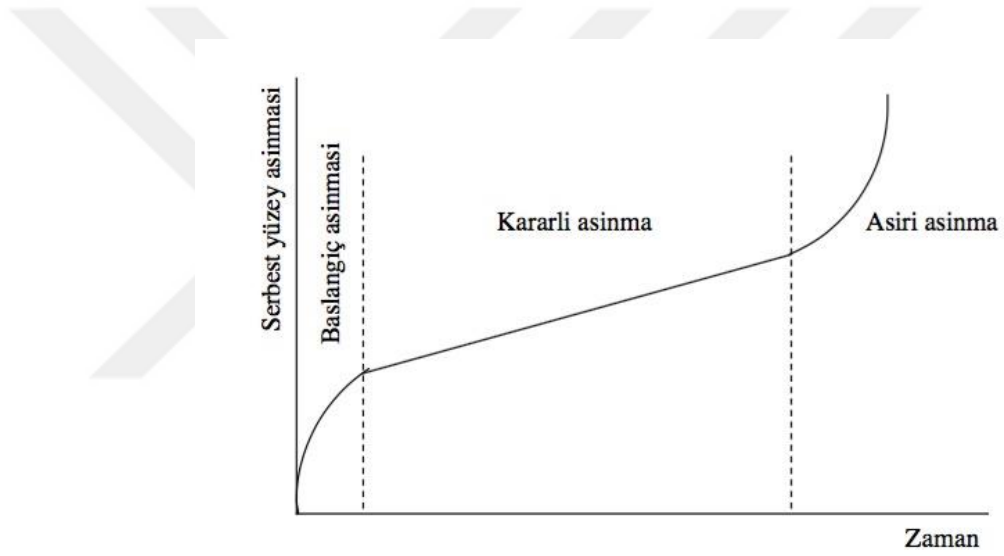
Talas kaldırmayla ilgili çalışmalarda temel amaç, göz önüne alınan takım hasar mekanizmasından takım ömrünü tespit edecek yöntemler geliştirmektir. Maalesef, herhangi bir durum için takım ömrününü doğrulukla tespit etmek oldukça zordur. Çünkü takım ömrü kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, takım ve iş parçası malzemesi, talas kaldırma yöntemi gibi pek çok faktöre bağlıdır. Pratikte, takımlar kesme ömrünü tamamlamadan servisten alınır. Bu; uygun bir oyuk veya diğer takım hasar durumu oluştüğünde veya kesme kuvvetleri ya da gücün artırılmasıyla oluşan belli bir hasar oluştüğünde sağlanır. Farklı talas kaldırma yöntemlerinde aynı şartlar altında kullanılan takımlar, kritik tolerans veya diğer gereksinimlere göre oldukça az farklılık gösterirler. Bu nedenle; takım ömrünü tespit etme yöntemi göreceli karşılaştırmalar için faydalıdır. Örneğin; farklı iş parçası, takım malzemesi veya işleme koşulları için takımdan beklenen en yüksek takım ömrü; verilen bir uygulamada, benzer parçalar için elde edilen veriler olmadıkça takım ömrünün doğru değerlendirilmesinin olacağı beklenmemelidir (Özdemir ve Erten, 2003).

3.4.1. Serbest yüzey aşınması

Takımın, iş parçasıyla temas halinde olan yüzeyinde oluşan aşınmaya serbest yüzey aşınması denir. Bu aşınma bölgesinin işlenen yüzeyle sürtünmesiyle, talaş kaldırılan parça yüzeyinde hasar oluşur. Serbest yüzey aşınması genellikle standart olmayan formlardadır ve kenara yakın bölgede oluşur (Makina Eğitimi, 2016).



Şekil 3.13. Serbest yüzey aşınması (Özdemir ve Erten, 2003).



Şekil 3.14. Serbest yüzey aşınmasının zamana bağlı değişimi.

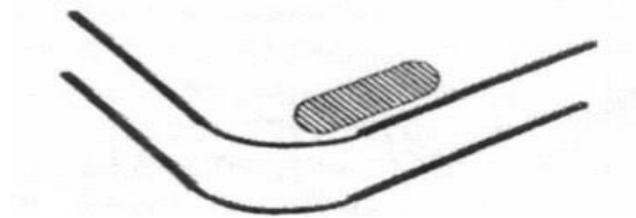
Serbest yüzey aşınmasının ortadan kaldırılması mümkün değildir, Ancak azaltılabilmesi için tedbir almak mümkündür. Serbest yüzey aşınmasını azaltmak amacıyla alınabilecek tedbirler aşağıdaki tabloda verilmiştir (Makina Eğitimi, 2016).

Çizelge 3.1. Kesici takım aşınma yüzey karakteristikleri ve alınabilecek önlemler (Özdemir ve Erten, 2003).

Asınma Tipi	Mekanizma	Karakteristigi	Alınabilecek Tedbirler
Serbest yüzey aşınması	Abrazyon	Düzensiz aşınma dağılımı	Sert takım kullanmak
			Kaplanmış takım kullanmak
			Kesme Sıvısını Filtrelemek
			İş parçasını mikroyapısını arıtmak
			İlerleme hızını azaltmak
	Isıl yumusama	Kalitesiz parça yüzeyi	Kesme Hızını azaltmak
	Kenar deformasyonu	Deforme olmuş kenarlar	"Kenar Deformasyonu" bölümüne bakınız
Hız çok düşük	Kalitesiz parça yüzeyi	İlerleme hızını arttırmak	

3.4.2. Krater aşınması

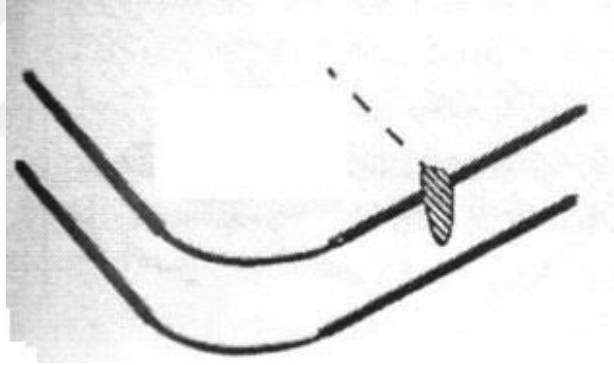
Kesici takımın talaş yüzeyinde krater aşınması adı verilen krater şeklinde bir aşınma oluşur. Takımın talaş yüzeyi, iş parçasından kaldırılan talaşın takım üzerinde kaydığı yüzeydir. Genellikle ılımlı bir krater aşınması takım ömrünü sınırlamaz. Gerçekten de krater oluşumu takım talaş açısının etkinliğini artırır ve böylece kesme kuvvetleri azalır. Fakat, aşırı krater aşınması kesme kenarlarını zayıflatır ve bu durum takımın deformasyonuna veya kırılmasına yol açar. Buradan da anlaşılacağı gibi takım ömrünü kısalttığı ve takımın yeniden bilenmesini zorlaştırdığı için aşırı krater aşınmasından kaçınılmalıdır. Krater aşınması, takım malzemelerinin kimyasal kararlılığının artırılması veya takımın talaş içinde çözünürlüğünün azaltılmasıyla minimize edilebilir (Özdemir ve Erten, 2003).



Şekil 3.15. Krater aşınması (Özdemir ve Erten, 2003).

3.4.3. Çentik aşınması

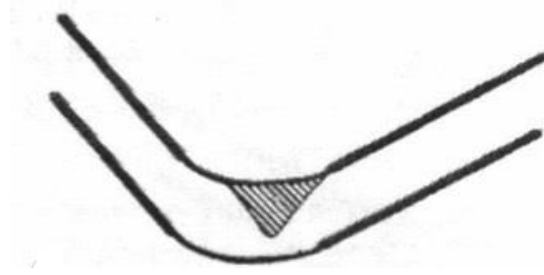
Kaba yüzeylerin tornalanmasında kullanılan takımlarda, takım ile işlenmemiş yüzey veya talas kenarı arasındaki temas noktasında takım yüzeyinde çentik (notch) aşınması meydana gelir. Çentiğin derinliği genellikle abrazyonun ve özellikle işlenen parçaların sert bir yüzey tabakasına sahip olması veya işlenen parçanın kendi sertliğinden dolayı oluşan abraziv talasın (örneğin paslanmaz çelik ve nikel-bazlı süperalaşımlar) bir sonucudur. Kullanılan bir soğutucunun neden olduğu veya takım ile atmosfer arasındaki kimyasal reaksiyon veya korozyon nedeniyle oluşan oksidasyon da çentik aşınmasına neden olur. Aşırı çentik aşınması takımın yeniden bilenmesini zorlaştırır ve özellikle seramik parçalarda kırılmaya neden olur. Çentik aşınması, takım ile iş parçası yüzeyi arasındaki temas alanını arttıran dalma açısının artırılmasıyla, çok pasolu talas kaldırmada kesme derinliğinin değiştirilmesiyle ve takım malzemesinin ısıl sertlik ve deformasyon direncini arttırarak, azaltılabilir (Özdemir, Erten, 2003).



Şekil 3.16. Çentik aşınması (Özdemir ve Erten, 2003).

3.4.4. Burun aşınması

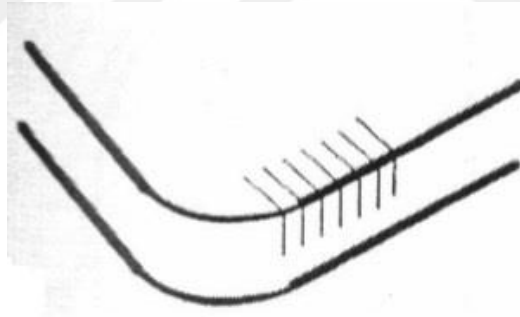
Bu aşınma takım burun yarıçapında, serbest yüzeyinin sonuna yakın bölgede iz kenarı üzerinde meydana gelir. Bu aşınma serbest yüzey ile çentik aşınmasının kombinasyonuna benzer ve öncelikle abrazyon ile korozyon ya da oksidasyon nedeniyle oluşur. Aşırı burun aşınması işlenmiş yüzeyin kalitesini azaltır (Özdemir ve Erten, 2003).



Şekil 3.17. Burun aşınması (Özdemir ve Erten, 2003).

3.4.5. Isıl ve mekanik çatlaklar

Bu çatlaklar, kesintili talaş kaldırmada takımın değişken yüklerle yüklenmesi veya talaş kaldırma sırasında yüksek takım-talaş sıcaklıkları nedeniyle oluşur. İki tip çatlak oluşur; özellikle bir soğutucu kullanıldığında değişken ısı yükleri altında kesme kenarlarına dik olarak oluşan çatlaklar ve değişken mekanik yükler nedeniyle kesme kenarlarına paralel olarak oluşan çatlaklar. Çatlak oluşumu takımın hızlı bir şekilde hasara uğramasına neden olur (Özdemir ve Erten, 2003).

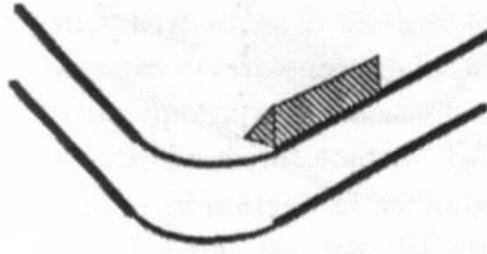


Şekil 3.18. Isıl ve mekanik çatlaklar (Özdemir ve Erten, 2003).

3.4.6. Ağız birikimi (BUE) oluşumu

Genelde yumuşak malzemelerin (örneğin Alüminyum) düşük hızlarda işlenmesi durumunda oluşur. Özellikle delmede ağız birikimi önemli bir problemdir. Ağız birikimi, etkili kesme derinliğini (veya delik çapını) değiştirmesi, böylelikle kesme derinliğinin kararsız olması ve dolayısıyla kalitesiz bir yüzeyin meydana gelmesine neden olduğu için istenilmez. Pozitif talaş açılı takımlar kullanılarak, yüzey pürüzlülüğü çok az takımlar kullanılarak, yağlayıcılık

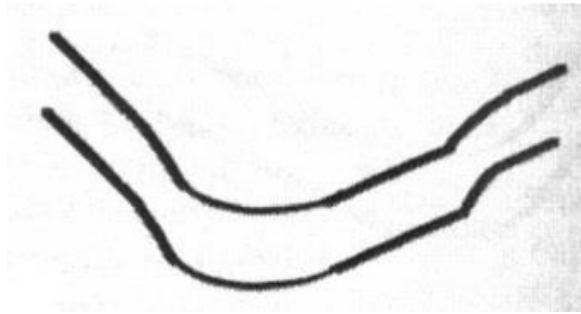
özelliği arttırılmış soğutucular kullanılarak, yüksek basınçlı soğutucuyu direk talaş yüzeyine sevk ederek ve yüksek kesme hızları kullanılarak en aza indirilebilir.



Şekil 3.19. Ağız birikimi (BUE) oluşumu (Özdemir ve Erten, 2003).

3.4.7. Plastik deformasyon

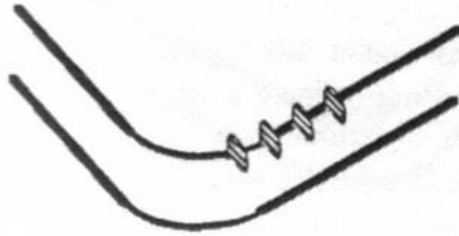
Takım ile talaş arasındaki temas alanı üzerinde kesme basınçları takım tarafından desteklenemediğinde, kesme kenarlarında plastik deformasyon oluşur. Kesme kenarlarının deformasyonu genellikle yüksek kesme kenar kuvvetlerinin olduğu yüksek ilerleme hızlarında veya takım sertliğinin artan kesme hızı ve ısıyla birlikte azaldığı yüksek kesme hızlarında ortaya çıkar. Kesme kenarındaki aşırı deformasyon boyutsal doğruluğun azalmasına, kötü bir yüzey kalitesine ve aşırı serbest yüzey aşınmasına ya da takımın kırılmasına sebep olur.



Şekil 3.20. Plastik deformasyon (Özdemir ve Erten, 2003).

3.4.8. Kenar çentiklemesi

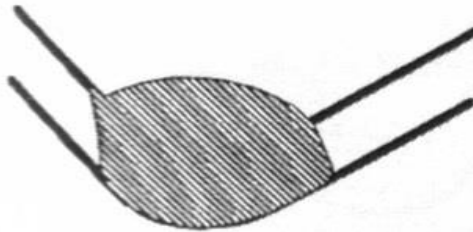
Kenar parçalanması seramik gibi gevrek takımlarla yapılan talaşlı imalatta veya sert ya da abraziv parçacıklar içeren metal matrisli kompozitler gibi malzemelerin işlenmesi hallerinde oluşur. Aşırı kesme kuvvetleri veya düşük sistem rijitliği sebebiyle meydana gelen titreşim de kenar çentiklemesine yol açar. Kenar çentiklemesi nedeniyle işlenen yüzeyin kalitesi düşer, serbest yüzey aşınması artar ve sonuçta takım kırılabilir. Bu durum; takım kenarlarının değiştirilmesiyle veya takımların kırılma dayanımlarının artırılmasıyla kontrol edilebilir.



Şekil 3.21. Kenar çentiklemesi (Özdemir ve Erten, 2003).

3.4.9. Takım kırılması

Takım kırılması, takımın önemli bir parçasının veya kesme kenarlarının parçalanması anlamındadır. Bu tip hasarı önlemek için genel stratejiler; kesme kuvvetlerinin azaltılması, sağlam ve daha rijit takım tertibatlarının kullanılması ve kırılma tokluğu artırılmış takımlar kullanılması şeklindedir (Özdemir ve Erten, 2003).



Şekil 3.22. Takım kırılması (Özdemir ve Erten, 2003).

3.5. Küresel Grafitli Dökme Demirler

Günümüzde geniş bir kullanım alanı vardır. Yapısındaki grafitin küresel yapısından dolayı SFERO döküm olarak da bilinmektedir. Küresel grafitli dökme demirin üretimi, üretimi sırasında önemli parametrelerin neler olduğu ve bunların etkileri incelenmektedir.

Bu demirlerin mikroyapı ve özellikleri, kullanılan alaşım elementlerin etkilerine bağlı olarak değişir. Her alaşım elementin bu demirin yapısına etkisi farklıdır. Özellikle magnezyumun metale ilavesi ve silisyum miktarı, bu demirin özellikleri ve mikroyapısı açısından belirleyici element etkenleridir (Dökümtek, 2017).

Düşük kükürtlü ham pikin Ferrosilis-Magnezyum-Seryum-Baryum v.b. alaşımı ile aşılmasından Küresel Grafitli Dökme Demir elde edilir. Fiziksel özellikleri bakımından hem pik hem de çelik karakterini taşıması nedeniyle, bilhassa yüksek ısıda çalışan armatürlerin üretimi için ideal bir malzeme niteliği taşımaktadır. Malzeme bünyesindeki en önemli iki alaşım elemanı; karbon ve magnezyumdur. Karbon, saf demirin sıcaklığını 400 °C düşürür ve alaşıma çok iyi dökme kabiliyeti kazandırır. Demir bünyesinde % 3-4 kadar karbon mevcut olduğu zaman malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinde önemli değişimler meydana gelir.

Sayısız avantajları yanında karbon miktarı % 1,5 'u aştığı takdirde malzeme mukavemeti düşer. Mukavemetin düşmesi serbest karbonun bünyede grafit şeklinde teşekkül etmesindedir. Kural olarak, normal dökme demir bünyesindeki grafitler, yaprak levhalar şeklinde dağılmıştır. Bu grafit levhalar malzemeye hiçbir mukavemet kazandırmadığı gibi, malzeme yapısı içerisinde zayıf kısımların oluşmasına sebep olur. Bu zayıf kısımlar malzemenin kırılma merkezlerini oluşturur. Malzeme bünyesinde, bir miktar kalıcı magnezyum var olduğu zaman grafitler, küresel şekilde teşekkül eder. Dokusu içinde, grafitleri küresel şekilde olan demir karbon döküm malzemesine Küresel Grafitli Dökme Demir adı verilir. Döküm ve talaşlı üretim için, kolay işlenebilen ideal bir malzeme olması, akma dayanımı ve yüzde uzama miktarında çelik gibi yüksek değerlere sahip olması, özellikle emniyet verileri için aranan nitelikte bir malzemedir. Dökme demirlerin değişik grupları birbirinden değişik mekanik özelliklere sahiptir. Bu mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerin elde edilmesinde en önemli rol oynayan faktör kimyasal kompozisyonudur (Dökümtek, 2017).

3.5.1. Küresel dökme demirin özellikler

20. yüzyılın ortalarında (1948) kullanılmaya başlayan küresel grafitli dökme demir, aşağı yukarı yirmi yıl sonra Türkiye’de de üretimine başlanmıştır. 1070 itibari ile üretiminde artış gösteren küresel grafitli dökme demir çeliğin mukavemet avantajlarını ve dökme demirin talaşlı imalatta ki ekonomikliğini bir arda sunmaktadır. Bu güzel vasıfları sayesinde diğer dökme demirlerin önüne geçmiştir. Sağladığı yüksek dayanım ve aşınmaya karşı sergilediği direnç sayesinde kullanımı geniş alanlara yayılmıştır. Örnek olarak; otomobillerin kam mekanizmalarında ve krank millerinde, birçok dişlide ve fren mekanizmalarında kullanıldığında çok daha verim elde edilmiştir. Bu parçalarda kullanılmasının amacı işlenebilirliğin diğer yöntemlere göre daha kolay olması ve sağlamış olduğu elastise modülü değerinin yüksek olmasıdır. Çelik ile karşılaştırıldığında, aşınmaya karşı sergilemiş olduğu direnç daha fazladır. Korozyon direnci kır dökme demir ile benzer özellikler gösterir. Aşırı sıcaklıklarda oksidasyon direnci açısından karşılaştırıldıklarında kır dökme demirden daha iyidir. Aşınma direncine bakıldığında gri dökme demirle denk gelmektedir. Aşınma açısından değerlendirdiğimizde aynı sertlik değerlerine sahip çeliğe karşı üstün gelmektedir. Bu dökme demirin dayanımı grafit dışında bulunan matriks yapısı ile alakalıdır. Farklı tipteki küresel grafitli dökme demirler, normal gri dökme demirlerle kıyaslandığında çok daha miktarda dayanıma sahiptir (Gül, 1989).

Küresel grafitli dökme demirin tercih edilmesinde ki nedenlerden bir diğeri de tıpkı çelikteki gibi tatbik edilen ısı işlemlere benzer ısı işlem metodları uygulanarak hedeflenen mekanik özelliklerin yakalanabilmesidir.

Başlıca kullanılan endüstriler ve alanlar;

- Otomotiv endüstrisinde
- Makine imalat endüstrisinde
- Karayollarında köprü ve üst geçit yapı elemanlarında
- Sulama borusu hatlarında
- Pompa ve armetür elemanlarında
- Çeliğin döküm işleminde ingotlar (kokil)
- Deniz suyu arıtma tesislerinde, gıda makinesi imalatında

3.5.2. Dökme demirlerin işlenebilirliği

Dökme demirin kalitesine ait işlenebilme özelliklerinin belirlenebilmesi için yapısına ve analiz sonuçlarına dikkat etmekte fayda vardır.

- Dökme demirlerde karbon oranı düştükçe işlenebilme kabiliyeti de azalır.
- Dökümün içindeki Silisyumun miktarı arttırılan ferritik dökme demirlerin yapıları güçlü ve sünekliği daha azdır.
- Dökümde perlitin yapısının ince lamel ve taneli olduğu durumlarda işlenebilirlik düşer.
- Matrisin yapısındaki perlitiklik oranı arttıkça mukavemet ve sertlik artar. Bu durum işlenebilirliği azaltır.
- Matrisin yapısındaki yaklaşık %5 oranında bulunan serbest karbür işlenebilme kabiliyetini hızlıca azaltır.
- Dökümün dış tabakasında bulunan kum ve cüruf atıklarından dolayı işlenebilirlik düşüşe geçer.
- Dökme demirlerde genellersek, sertliğin ve mukavemetin artışı, işlenebilirliğin ve kesici takım ömürlerinin azalmasına sebep olur.

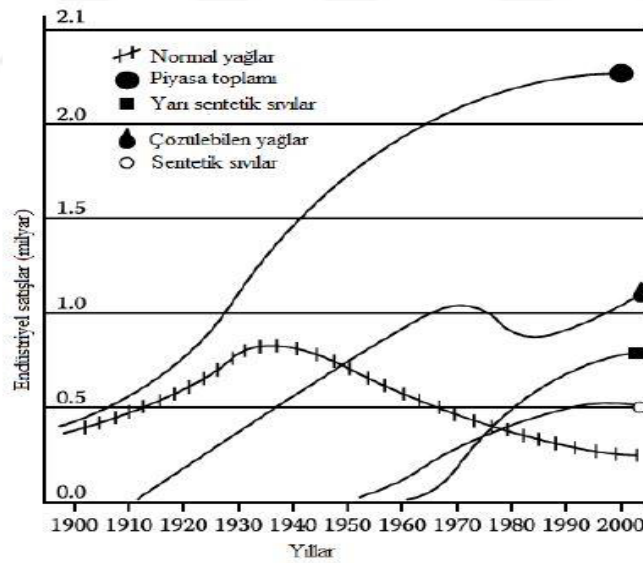
Talaş kaldırarak yapılan imalatlarda tercih edilen dökme demirlerin çoğunun işlenebilme kabiliyetleri iyidir. İşlenebilirlik katsayısı yapısıyla alakalıdır. Perlitik yapıdaki dökme demirlerin işlenebilmesi zordur. Dökme demirlerin talaş tiplerine baktığımızda, sfero ve temperde talaş uzun bir şekilde çıkar. Gri dökme demirlerde ise talaş kısa parçalar halinde çıkar. İşleme özellikleri açısından değerlendirdiğimizde, grafit lamelli ve temper dökme demirlerin işlenebilme özelliği çok iyidir. Sfero, yani küresel grafitli dökme demirin ise işlenebilme özelliği daha zordur (I. Otomotiv ve Yan sanayi Sempozyumu, 1985).

Dökme demirlerin işlenmesinde gözlemlenebilen aşınmalar vardır. Bu aşınma türleri; adeziv aşınması, abreziv aşınması ve difüzyon aşınmasıdır. Abraziv aşınmasına çoğunlukla yüzeyde kalan kum tanecikleri, karbürler ve sert çil yüzeyler sebep olur. Kesici ucun yüzeyinde oluşan kaynaklara öncelik eden, dökme demirlerin ferritik yapıda bulunan bölgesidir. Oluşan kaynakları engelleyebilmek için kesme hızında ve sıcaklıkta artış yapılmalıdır. Difüzyon aşınmaları ise sıcaklığın artışıyla görülür. Özellikle mukavemet değerleri yüksek olan dökme demirlerde sıcaklığın artışıyla oluşur. Yüksek mukavemet değerlerindeki dökme demirlerde deformasyon dirençleri de yükselir ve yüksek çalışma sıcaklıkları oluşur. Dökme demirlerde güzel yüzey kalitelerini yakalayabilmek için bazı operasyonlar seramik kesici uçlarla ve yüksek

hızlarda yapılır. Dökme demirlerin işlenmesinde kullanılacak olan kesici takımında aranan nitelikler; kimyasal kararlılık ve yüksek kızıl sertliktir. Diğer aranan özelliklere baktığımız da; işlenen parçanın ve işleme koşulları göz önüne alınarak mukavemet, tokluk ve ısı darbelere karşı sergilemiş olduğu dirençtir. Dökme demirlerin talaşlı imalat operasyonlarında güzel sonuçlar alabilme, kesici kenar aşınmasının nasıl oluştuğuyla alakalıdır (Çakır,1999).

3.6. Soğutma Sıvıları ve MMY

Yirminci yüzyıl süresince talaşlı imalatta kesme sıvısı olarak kullanılan basit yağlayıcılardan su katkılı kompleks kesme sıvılarına geçişle önemli gelişmeler meydana gelmiştir (Şekil 3.23). Bu gelişmelere start verilmesi, 1910 ila 1920 yıllarında çözülebilen özelliği olan yağlar, basit yağların soğutucu niteliklerini kuvvetlendirmek ve sıcaklığa olan direncini arttırmak amacıyla geliştirilmiştir. Çözülebilen yağların içine katılan su ile kesici takım aşınmaları ciddi oranda azalmış ve takım ömürlerinde artış meydana gelmiştir. Olumsuz yanı ise; işlenen parçalarda paslanmalar meydana geldiğinden bunun önüne geçebilme gereksinimi meydana gelmiştir (Cassin, 1965).



Şekil 3.23. Kesme sıvısı çeşitlerinin yıllara göre dağılımı (Cassin, 1965).

1950 yıllarında sentetik soğutma sıvıları piyasada yer almaya başlamıştır. Bu ürün piyasada ki yerini taşlama operasyonlarında çözülebilen yağlara nazaran, çok daha iyi soğutma ve paslanma önleyici özellikleri ile kazanmıştır. 1970'li yıllarda başlayan yağ bulabilme sorunu,

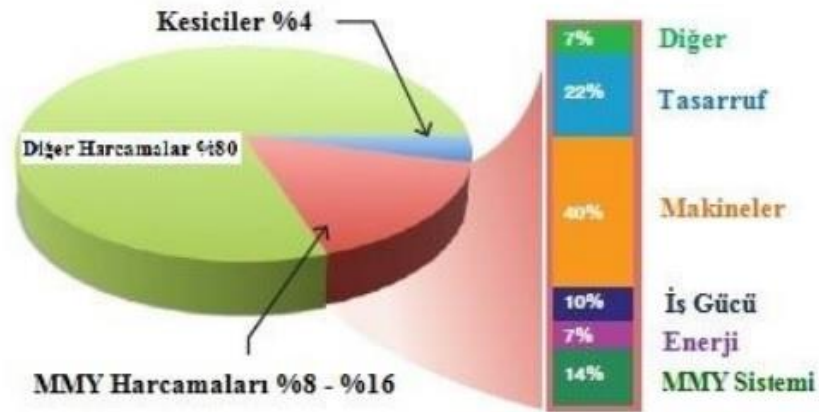
yağsız kesme sıvısı üretimini doğurmuştur. Sentetik kesme sıvılarının faydaları çözülebilme özelliği olan yağlayıcılardan daha iyidir. Daha güzel soğutma miktarı, sert-su istikrarından doğan tank ömrü uzaması ve mikrobiyolojik bozulmalara direnç sağlamış olduğu faydalardandır. Ancak, çözülebilme özelliği olan yağların da daha iyi mertebede kayganlık, bakterilerin çoğalmasına sergilediği direnç ve oluşan atıkların bertaraf edilmesini kolay kılan özellikleri ile sentetik soğutma sıvılarının önünde yer almaktadır. Bu iki tür soğutucu sıvının farklı farklı yararları olması, yarı sentetik soğutma sıvılarının gelişimine yol açtı. Bu soğutucu sıvılar; az miktarda yağ ve suya emülsife edilen yağ esaslı katkı maddeleriyle meydana gelir. 1985'lerde birçok endüstri dalında kullanılmakta olan ve önemli bir kısmı kesme sıvıları ile alakalı üç temel bileşende değişikliğe gidildi. Nitrozamini engelleyebilmek için pasın oluşumunu engelleyen sodyum nitrat kullanımı sona erdi. Klorlu parafin uzaklaştırıldı. Yağ üretimi yapan firmalar arıtma yöntemlerini değiştirerek toksikolojik açıdan daha olumlu ürünler üretmeye başladılar. 1990'larda yağ fiyatlarının düşüşe geçmesiyle beraber yağ bazlı kesme sıvıları değer kaybederek önemini kaybetti. Bunu neticesinde 2000'lerde yağ bazlı kesme sıvıları yerini su bazlı karmaşık sıvılara devr etmiştir. Soğutucu sıvıların kullanılmasındaki asıl gaye; metalde meydana gelen plastik deformasyonları ve işleme parçasıyla kesici ucun temas yüzeyinde meydana gelen sürtünmeler ve yüksek ısıları minimize ederek operasyon koşullarını sabit seviyelerde tutabilmektir. Lakin avantajlarıyla beraber dezavantajları da vardır. Kesme sıvılarının maliyetleri işletme giderlerinde önemli bir yer tutmaktadır. Bu yüzden kesme sıvılarında sarfiyatın azaltılmasıyla doğru orantılı olarak giderlerde azalır. Çevresel faktörler ve sağlığımız söz konusu olduğunda da zararları tartışılır hale gelmiş ve çözümü ile ilgili yeni metodalar aranır duruma gelinmiştir. Kuru kesme metodu daha çevreci olmasıyla dikkatleri üzerine çekmiştir lakin özel durumlar gerektiğinde, örnek vermek gerekirse; yüzey kalite değerlerinin iyi olması veya ağır kesme durumları söz konusu olduğunda verimliliğin elde edilemediği anlaşılmıştır (Dhar,2006).

3.6.1. 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. MMY yöntemi, çevre dostu karakteristiği sayesinde başarılı bir kuruya yakın kesme uygulaması olarak kabul görüldü. Geleneksel yağlama soğutma işlemini gerçekleştirmek için %95 su, %5 yağ kullanılmaktaydı. Bunun işlem üzerinde ki etkisi büyük oranda soğutma üzerine olmakta, yağlama anlamında gerekli verim alınamamakta ve oluşan ortam kirliliği, işgücü, çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktaydı. MMY sisteminin uygulanmasıyla birlikte, yağlayıcı miktarı ve performansında büyük oranda avantaj sağlandığı görülmüştür. Kesici 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).



Şekil 3.24. Talaş Kaldırma Sistemlerinde Maaliyet Şeması (İlhan, 2014).

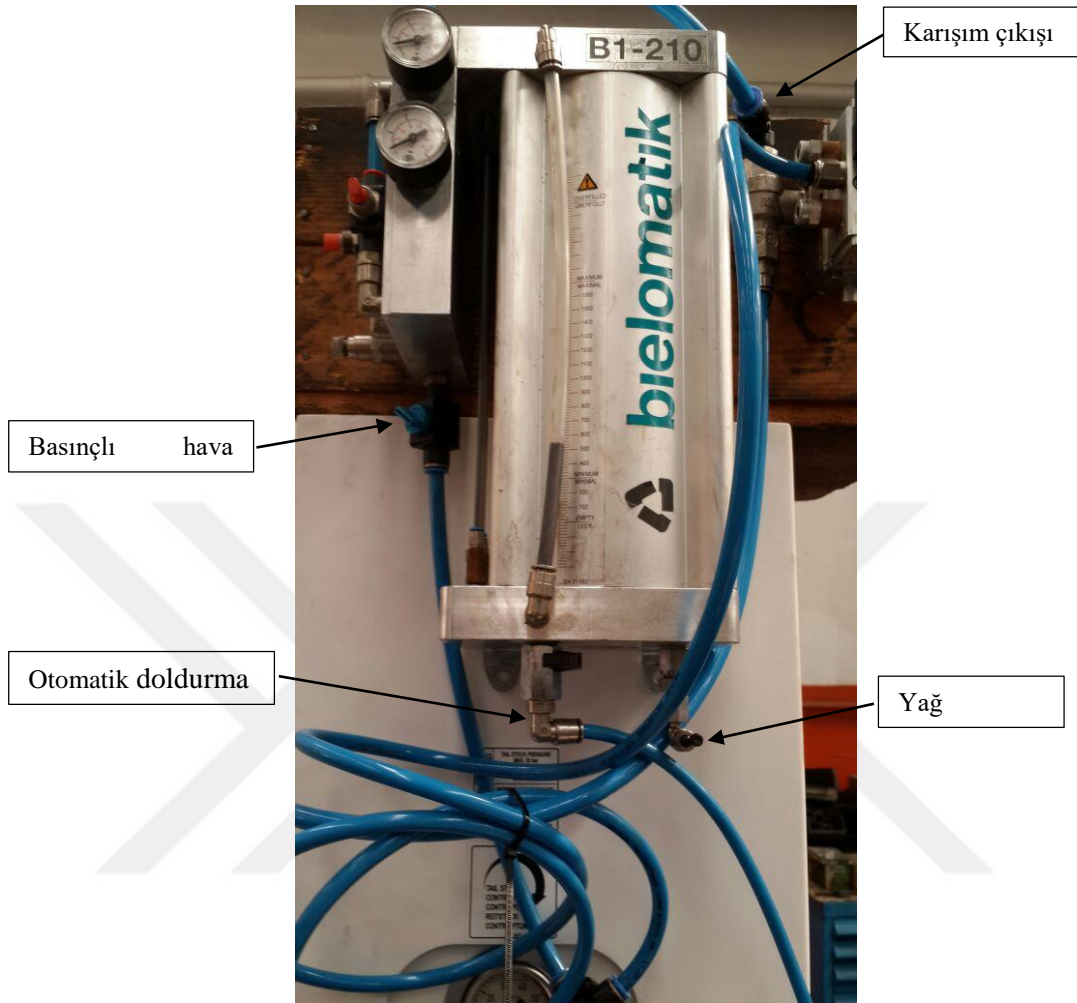
4. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada, talaşlı imalatın önemli operasyonlarından olan tornalamada minimum miktarda yağlamanın (MMY) işleme performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, soğutma sıvısının içerisine nano boyutlu MoS₂ karıştırılmış ve GGG-70 küresel grafitli dökme demir tornalanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü, kesici takım aşınması ve toplanan talaşların geometrileri değerlendirilerek nano-MoS₂'nin işlenebilirlik üzerine etkileri belirlenmiştir.

Burada, MMY sistemi, soğutma sıvısı, nano MoS₂, deney numunesi, torna tezgâhı, kesici takım ve takım tucusu açıklanmıştır. Bunun yanısıra deney parametreleri ile sonuçların değerlendirme ölçütleri açıklanmıştır.

4.1. MMY Ekipmanı

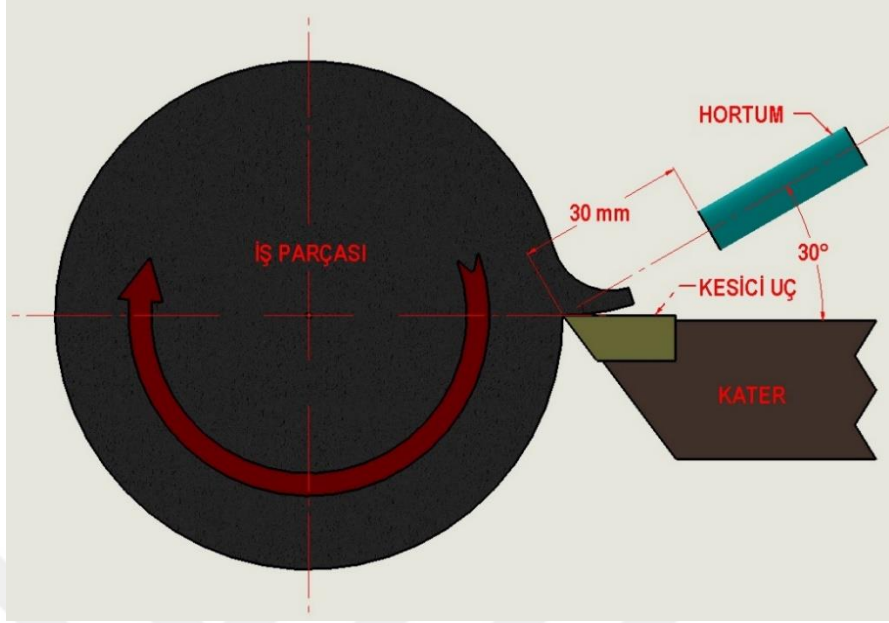
Tez çalışması kapsamında yapılan deneylerde Bielomatik B1-210 serisi MMY cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.1). Kullanılan sistem ile az miktardaki soğutma sıvısı, basınçlı hava ile karıştırılarak kesme bölgesine püskürtülmektedir. Çizelge 4.1'de kullanılan sistemin özellikleri verilmiştir. Deney değişkenlerinden basınç ve gönderilen akışkan miktarı cihaz üzerindeki valfler yardımıyla ayarlanmıştır. Bu MMY'de mineral, sentetik ester ve bitkisel esaslı soğutma yağları kullanılabilir. Ayrıca, emülsifiye yağlar (su ile karıştırılan) da kullanılabilir. Tornalama deneylerinde soğutma sıvısının kesme bölgesine ulaştırılmasında 6 mm çapında esnek hortum kullanılmıştır. Hortum ucuna her hangi bir uç takılmadan karışımın kesme bölgesine gönderilmesi sağlanmıştır. Kesme bölgesinde yeterli püskürtme sağlamak için hortumun doğru konumlandırılması önemlidir. Daha önce yapılan çalışmalarda, tornalama işlemlerinde MMY püskürtmenin, takım talaş yüzeyine ve/veya yan yüzeyine yönlendirildiği görülmektedir. Püskürtme ucunun kesme bölgesine olan mesafesi, tornalama işleminin izin verdiği ölçüde en yakın mesafeye (yaklaşık 30 mm) ayarlanması soğutma ve yağlama açısından etkili olmaktadır (Attanasio vd., 2006; Dhar vd., 2006; Lin vd., 2015). Çalışmada kullanılan püskürtme konumlandırma şartları Şekil 4.2'deki gibi belirlenmiştir. Şekil 4.3'te püskürtme konumunu gösteren fotoğraf verilmiştir.



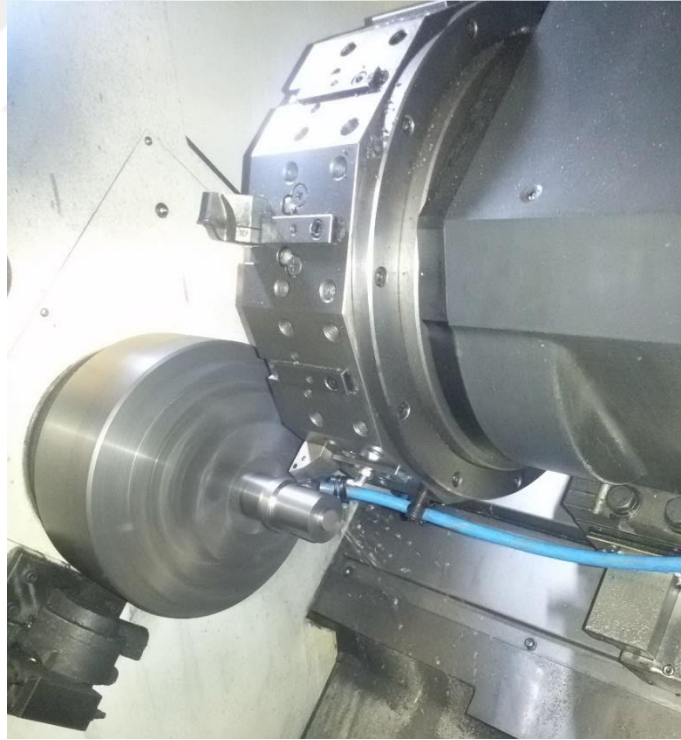
Şekil 4.1. Tornalama deneylerinde kullanılan MMY cihazı.

Çizelge 4.1. Bielomatik B1-210 cihazının özellikleri.

Özellikler	
Kapasite	1,8 litre
Hava giriş basıncı	5-10 bar
Yağ miktarı ayarı	Elle (3 farklı ayar)
Basınç ayarı	Mekanik
Doldurma	Otomatik
Ölçüler	460x290x170 mm
Uygulama alanları	
Freze tezgâhları, Delik işleme tezgâhları, İşleme merkezleri, Çok milli işleme merkezleri.	



Şekil 4.2. MMY'nin püskürtme konumu.



Şekil 4.3. Tornalamada MMY'nin konumu.

4.2. Soğutma Sıvısı Ve MoS₂ Tozu

4.2.1. Soğutma sıvısı

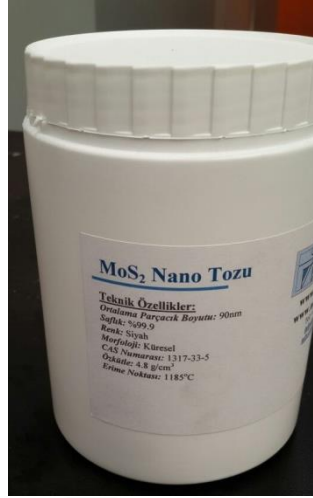
Çalışmanın birincil unsurlarından olan soğutma sıvısı emülsifiye yağlardan tercih edilmiştir. Emülsifiye yağlar imalat sektöründe yaygın kullanılmaktadır. Belirli oranlarda su ile karıştırılabilen ERALUBE™ BIO CF 350 yağ seçilmiştir. Bu, alaşım ve alaşımsız tüm metallerin orta ve ağır işleme operasyonları için geliştirilmiş yüksek performanslı, yarı sentetik kesme sıvısıdır. Tavsiye edilen karışım oranı % 5 ile % 6 arasındadır. Broş operasyonlarında % 10'a kadar çıkılabilir (www.eralube.com). Bu yağın özellikleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. ERALUBETM BIO CF 350'nin özellikleri (www.eralube.com).

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

4.2.2. Nano-MoS₂

Çalışmada, GGG-70'in boyuna tornalanmasında MMY'de kesme sıvısına nano MoS₂ ilave edilerek tornalama performansı irdelenmiştir. MoS₂'nin katı yağlayıcı özelliği basınç, yüksek sıcaklık ve yüklerde kullanılan gres yağlarının içerisine katılmasını sağlamıştır. (<http://www.eralube.com/index.php?op=urunler>). Nano byutlu MoS₂ tozları Ege-Nanotek firması dan satın alınmıştır (Şekil 4.4). MoS₂ tozlarının teknik özellikleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.



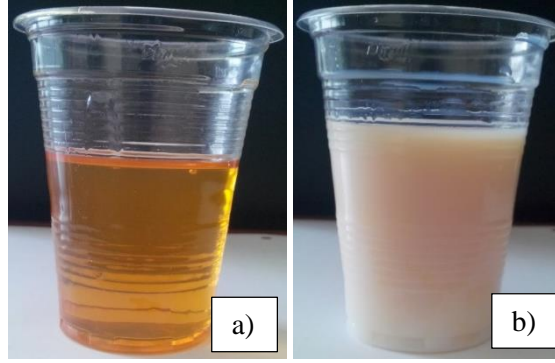
Şekil 4.4. Nano MoS₂ tozları.

Çizelge 4.3. Nano-MoS₂'nin özellikleri.

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

4.2.3. Kesme sıvısı karışımının hazırlanması ve MoS₂'nin karıştırılması

% 5 (1:20) karışım oranına uygun miktarda su ve ERALUBE™ BIO CF 350 ile karıştırılmıştır. Beher kullanılarak aynı karışım oranına sahip 1 litrelik hacimde 5 adet karışım oluşturulmuştur. Kesme sıvısı karışımlarının, karışım öncesi Şekil 4.5.a'da ve sonrası görünüm örneği Şekil 4.5.b'de verilmiştir.

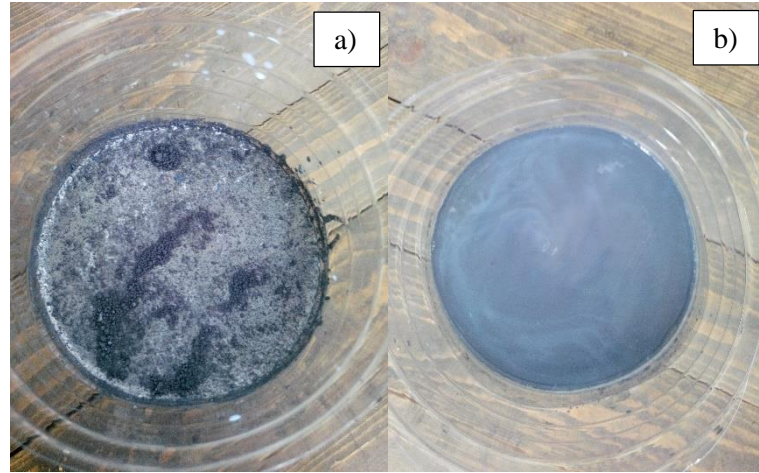


Şekil 4.5. a) Kesme sıvısının karışım öncesi, b) sonrası görüntüsü.

Deney parametreleri çerçevesinde nano MoS₂ tozları ağırlıkça % 0.5-1 ve 1,5 oranlarında hassas terazide tartıldıktan sonra ultrasonik karıştırıcıyla kesme sıvısına karıştırılmıştır. Bunun gibi nano parçacıkların akışkan içinde ideal homojenlikte karıştırılabilmesinin en uygun yönteminin ultrasonik karıştırma olduğu önerilmektedir (Yıldırım, 2016). MoS₂'nin kesme sıvısına karıştırılması için Şekil 4.6.'daki Sonics Vibracell VCX-750 ultrasonik karıştırma cihazı kullanılmıştır. İdeal dağılım için 40 dakika ultrasonik karıştırma işlem süresi uygulanmıştır. İlk önceleri topaklar şeklinde (Şekil 4.7.a) olan MoS₂ tozları, karıştırma işleminin ardından sıvı içine homojen bir şekilde dağılmıştır (Şekil 4.7.b).



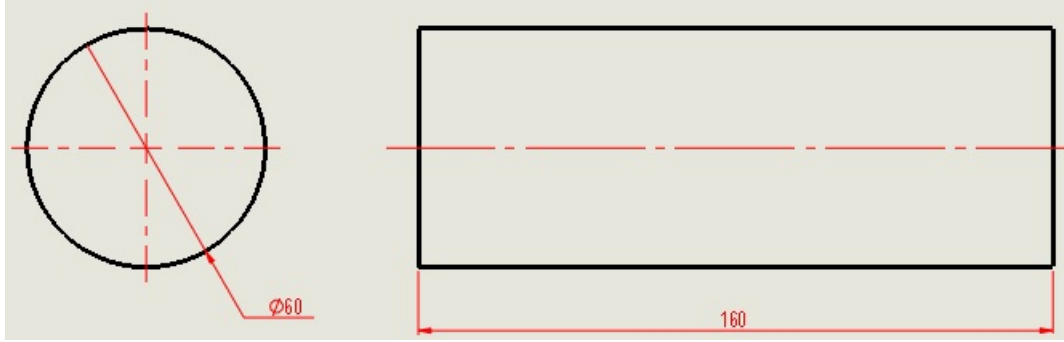
Şekil 4.6. Ultrasonik karıştırma cihazı.



Şekil 4.7. a) Topaklar halindeki MoS₂, b) Karıştırmadan sonra MoS₂.

4.3. Deney Numunesi

Tornalama deneylerinde GGG-70 küresel grafitli dökme demir kullanılmıştır. Küresel grafitli dökme demirler, az oranlarda seryum ve magnezyum katkısıyla üretilirler. Burada amaç, matris içinde küre şekilli grafitler oluşturmaktır. Bunların mekanik özellikleri çeliklere yakındır ve dökülebilirliği iyidir. Bunun için yüksek dayanım ve aşınmaya mukavemet beklenen parçalarda geniş kullanım alanı bulurlar (Callister ve Rethwisch, 2013). GGG- 70 tatmin edici işlenebilirlik ve yüzey kalitesine sahiptir. Ayrıca, ses ve titreşim sönümlenme özelliği de vardır. Yüksek mukavemetli dişliler, otomotiv ve makine dişlileri, tavan vinçlerinin tekerleklerinde tercih edilmektedir (Smith, 2000). Deney numuneleri, “Ahmet Tekeci Döküm” firmasında Ø60x160 mm ölçülerinde (Şekil 4.8) dökülmüştür. Şekil 4.9’da dökümden çıkan deney numuneleri verilmiştir. Tornalama deneylerinden önce döküm yüzeyleri 56 mm çapa tornalanmıştır. Tornalama deneylerinde işleme boyu 90 mm alınmıştır. Çizelge 4.4’de GGG-70 malzemenin özellikleri verilmiştir.



Şekil 4.8. Deneý parçasının ölçüleri.



Şekil 4.9. Dökümden çıkan deneý parçaları.

Çizelge 4.4. GGG-70'in kimyasal ve mekanik 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		

4.4. Kullanılan Torna Tezgâhı

Deneyler Çizelge 4.5'de teknik özellikleri Şekil 4.10'da resmi verilen HYUNDAI WIA L300A CNC torna tezgahında yapılmıştır.

Çizelge 4.5. HYUNDAI WIA L300A CNC torna'nın özellikleri.

X-ekseni	290 mm
Z-ekseni	750 mm
Tezgahın gücü	18,5 kW
Devir sayısı	3600 d/dak.
Kesme ilerlemesi	1-15 m/dak.
Ayna çapı	12 inch
Takım sayısı	12
İşletim sistemi	HYUNDAI-WIA FANUC



Şekil 4.10. Deneylerde kullanılan CNC torna tezgâhı.

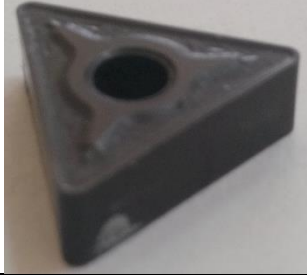
4.5. Kullanılan Kesici Uç ve Takım Tutucu

Diğer malzemelerin işlenmesinde olduğu gibi, küresel grafitli dökme demirlerin işlenmesinde de kesici uçların doğru seçilmesi önemlidir. KKDD için uygun olan kesicinin seçiminde bakılacak özellikler dökme demirler ile benzerdir. Yüksek kızıl sertlik, kimyasal kararlılık, tokluk, ısı darbelere karşı direnç ve dayanım aranan özelliklerdir (Çakır, 2006). Tornalama deneylerinde ZCC.CT firması tarafından üretilen TNMG 160408 kodlu PVD yöntemi ile çok katlı kaplanmış karbür kesici uçlar kullanılmıştır. Oldukça iyi kimyasal ve ısı kararlılığı, aşınma direnci ve tokluk açısından orta düzeyde kabiliyet gösteren bu uçlar paslanmaz çelikler için ilk tercih olurken, çelik ve dökme demirler için ikinci tercih olmaktadır. Uç geometrisi yönünden rijitlik ve talaş oluşumunun uygun olduğu şartlarda mümkün olduğunca büyük uç yarıçapı seçilmesi önerilmektedir. Genel kullanım eğilimi de dikkate alındığında bu çalışma için kesici Uç yarı çapı 0,8 mm belirlenmiştir (Çakır, 2006), Mekanik sıkı malı değiştirilebilir bu uçlar için SMOXH marka MTJNR-2525 M16 kodlu takım tutucu (Şekil 4.11) seçilmiştir. Çizelge 4.6'da kullanılan kesici uç ve takım tutucuya ait özellikler verilmiştir.



Şekil 4.11. Takım tutucu.

Çizelge 4.6. Kesici uç ve takım tutucunun özellikleri.

Kesici	TNMG 160408
	
Uç radyüsü	0,8 mm
Kenar uzunluğu	16 mm
Uç kalınlığı	4,76 mm
Kenar geometrisi	Talaş kırıcılı
Takım tutucu	MTJNR-2525 M16
Yaklaşma açısı (Kr)	93°

4.6. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi

Her bir tornalama deneyinin ardından yüzey pürüzlülükleri, tornalama kalitesinin ve bun etkileyen unsurların belirlenmesi için ölçülmüştür. İşlenmiş yüzeyin üç farklı bölgesinden 120° aralıklarla R_a ve R_z ölçümleri yapılmış ve bunların ortalamaları alınarak değerlendirilmiştir. Pürüzlülük ölçümleri TIME TR200 izleyici uç tip pürüzlülük ölçüm cihazıyla yapılmıştır. Cihaza ait özellikler Çizelge 4.7’de verilmiştir. Ölçme işlemlerinde örnekleme uzunluğu 0,25 mm ve değerlendirme uzunluğu 1,25 mm seçilmiştir.

Çizelge 4.7. TIME TR200 cihazının 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	0,25-0,8-2,5 (mm)
Hassasiyet	\pm % 10’den daha az

4.7. Takım Aşınmalarının Belirlenmesi

MoS₂ katkılı ve katkısız MMY’nin, takıma aşınması yönünden, kullanılan kesici uçlar üzerindeki etkilerini yorumlamak için deneylerden sonra kesici uçların fotoğrafları INSIZE

elektronik mikroskop (Şekil 4.12.a) kullanılarak çekilmiştir. Bu fotoğrafların değerlendirilmesinin ardından derinlemesine incelenmesi gereken kesici uçların taramalı elektron mikroskobu (SEM) fotoğrafları DPU- İLTEM’de bulunan SEM cihazı (Şekil 4.12.b) ile çekilmiştir. Bu fotoğrafların yardımıyla oluşan aşınma tipleri ve mekanizmaları değerlendirilmiştir.



Şekil 4.12. a) Elektronik mikroskop, b) Taramalı elektron mikroskobu (SEM).

4.8. Deney Parametreleri ve Değerlendirme Ölçütleri

Öncelikle literatür incelemesi ve kesici ucun tavsiye bilgilerinin değerlendirilmesiyle tornalamada kullanılacak kesme parametreleri ve detayları kararlaştırılmıştır. Bu kapsamda, öncelikle deneme deneyleri yapıldıktan sonra uygun olan kesme parametresi alternatifleri tespit edilmiştir. Bu kesme parametreleri deneylerde sabit tutulmuştur. Herbir deneyde bir adet kesme kenarı kullanılmıştır. Çizelge 4,8’de deney parametreleri görülmektedir. Tornalama deneyleri dökümden çıkan parça 56 mm çap ölçüsünde tornalandıktan sonra 4 mm kesme derinliğinde ve 90 mm boyda yapılmıştır. Tornalama deneylerinden sonra ölçülen pürüzlülük değerlerinin ortalamaları alındıktan sonra sonuçların parametrelerle olan ilişkilerini belirlemek adına grafikler hazırlanmıştır. Takım aşınması çeşidi ve mekanizmalarının belirlenmesi için elektronik mikroskop, SEM ve EDX sonuçları incelenmiştir. Ayrıca toplanan talaşların biçimleri de değerlendirilmiştir. Elde edilen sayısal sonuçların deney parametreleriyle ilişkilerinin istatistiksel

olarak anlamlılıklarını tespit etmek için Minitab 17 yazılımıyla varyans analizi (ANOVA), Tukey ve Dunnet, testleri yapılmıştır.

Çizelge 4.8. 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	350 m/dak			
İlerleme	0,2 mm/devir			
Kesme derinliği	4 mm			

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Tornalama deneyleri yapıldıktan sonra ortaya çıkan sonuçlar grafik ve istatistiksel metotlarla değerlendirilmiştir. Bunun için varyans analizleri ve Tukey testleri çıkarılmıştır. Kesici takımlardaki aşınma eğilimlerini belirlemek adına tarama elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri çekilmiştir. Tornalama sonunda toplanan talaşların SEM görüntüleri de ayrıca değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.1. Ölçülen deney sonuçları.

Deney No	Soğutma	% MoS ₂	Basınç Bar	Akış Hızı ml/min	Ra1	Ra2	Ra3	Ra ort	Rz1	Rz2	Rz3	Rz ort
1	Kuru	.....	.....	.....	1,65	1,53	1,57	1,58	8,24	8,27	7,44	7,98
2	Norm.Püs.	.....	.....	.....	1,33	1,35	1,41	1,36	5,59	5,45	6,04	5,69
3	MMY	0	3	160	1,39	1,50	1,48	1,46	7,41	6,39	6,38	6,73
4	MMY	0	3	310	1,25	1,46	1,60	1,44	5,30	6,20	6,60	6,03
5	MMY	0	5	160	1,27	1,26	1,30	1,28	8,07	6,07	5,63	6,59
6	MMY	0	5	310	1,04	1,15	1,08	1,09	4,66	5,38	4,47	4,84
7	MMY	0	7	160	1,56	1,45	1,32	1,44	5,70	5,57	6,65	5,97
8	MMY	0	7	310	1,44	1,42	1,48	1,45	6,67	6,45	6,07	6,40
9	MMY	0,5	3	160	1,42	1,34	1,42	1,39	6,85	6,00	7,15	6,67
10	MMY	0,5	3	310	1,20	1,19	1,30	1,23	5,90	6,00	6,70	6,20
11	MMY	0,5	5	160	1,22	1,20	1,18	1,20	5,90	5,42	5,15	5,49
12	MMY	0,5	5	310	1,21	1,20	1,15	1,19	5,40	6,15	5,09	5,55
13	MMY	0,5	7	160	1,22	1,30	1,31	1,28	6,15	5,46	6,66	6,09
14	MMY	0,5	7	310	1,40	1,32	1,42	1,38	6,08	5,42	6,90	6,13
15	MMY	1	3	160	1,32	1,30	1,22	1,28	6,90	5,11	6,98	6,33
16	MMY	1	3	310	1,38	1,30	1,27	1,32	5,80	6,30	5,65	5,92
17	MMY	1	5	160	1,40	1,41	1,50	1,44	6,50	6,67	7,00	6,72
18	MMY	1	5	310	1,30	1,20	1,30	1,27	5,79	5,55	6,50	5,95
19	MMY	1	7	160	1,23	1,30	1,25	1,26	5,96	5,79	5,40	5,72
20	MMY	1	7	310	1,30	1,28	1,27	1,28	5,12	5,38	5,65	5,38
21	MMY	1,5	3	160	1,50	1,70	1,30	1,50	7,45	5,60	5,37	6,14
22	MMY	1,5	3	310	1,20	1,30	1,20	1,23	6,70	5,40	4,37	5,49
23	MMY	1,5	5	160	1,38	1,36	1,40	1,38	6,31	6,63	6,35	6,43
24	MMY	1,5	5	310	1,16	1,09	1,13	1,13	5,40	5,75	7,31	6,15
25	MMY	1,5	7	160	0,95	1,04	0,99	0,99	5,02	6,29	4,82	5,38
26	MMY	1,5	7	310	1,20	1,21	1,30	1,24	5,69	5,67	6,65	6,00

Yapılan her tornalama işleminden sonra, tormalanan yüzeylerin pürüzlülükleri (R_a ve R_z) ölçülmüştür. Bu ölçümler Çizelge 5.1’de ayrıntılı olarak verilmiştir. Çizelgede yer alan değerlere göre en düşük R_a değerinin basıncın 7 bar, akışkan hızının 160 ml/dak ve MMY + % 1,5 nano-MoS₂ püskürtme parametrelerinde 0,99 μm ölçülmüştür. R_z değeri de basıncın 5 bar, akışkan hızının 310 ml/dak ve MMY püskürtme parametresinde 4,84 μm tespit edilmiştir. Maksimum R_a ve R_z değerleri kuru tornalamada sırasıyla 1,58 μm ve 7,98 μm ölçülmüştür. Burada, R_a değerinde kuru işleme şartlarına göre % 37 değerinde, R_z değerinde ise % 39 oranında bir azalma elde edilmiştir. Bu sonuçların yüzey pürüzlülüğü açısından oldukça iyi olduğu söylenebilir.

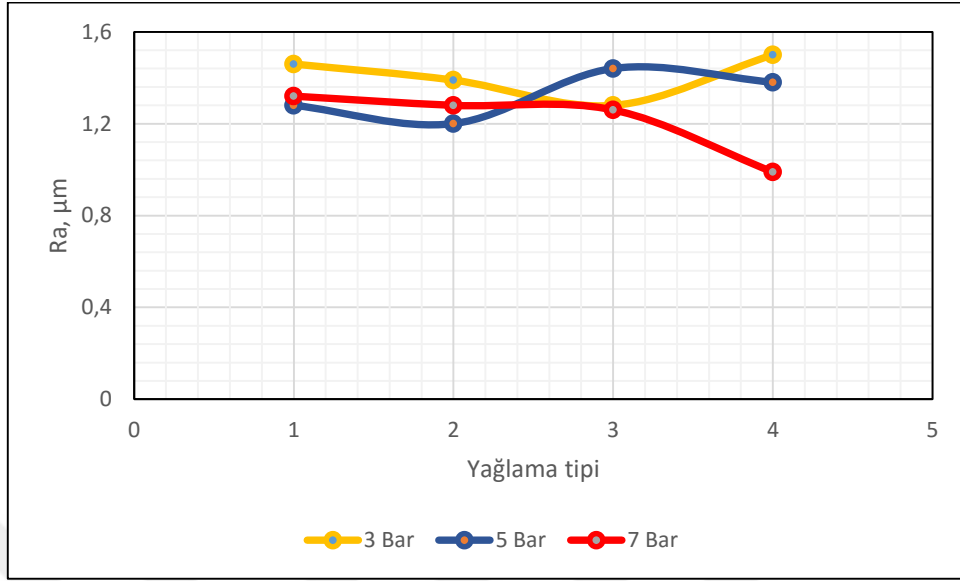
5.1. Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü değerleri ile tornalama parametreleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler sırasıyla Şekil 5.1 - 5.4’te verilmiştir. Grafikler akışkan hızı, basınç ve genel değerlendirmeye göre hazırlanmıştır. Grafikler soğutma-yağlama işlem tipine (SYİ) göre hazırlanmıştır. Soğutma biçimlerine göre numaralandırma Çizelge 5.2’deki gibidir. Bu numaralandırmalar Şekil 5.1-5.4’de kullanılmıştır. Her bir numaralandırma değerinde, ölçülen değerlerin ortalaması grafiklere yansıtılmıştır.

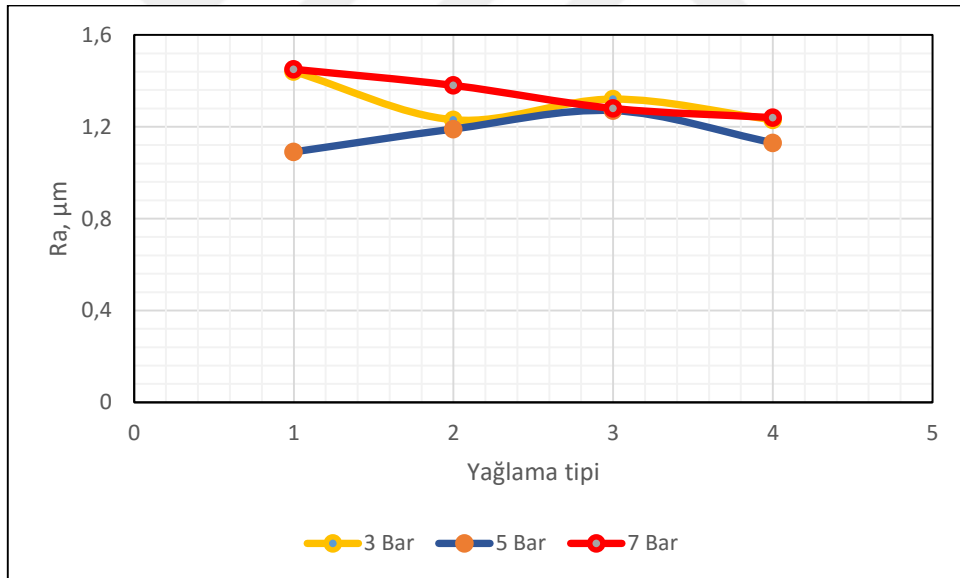
Çizelge 5.2. Soğutma biçimleri numaraları.

SYİ	Numara
MMY	1
MMY +% 0,5 MoS ₂	2
MMY +% 1 MoS ₂	3
MMY +% 1,5 MoS ₂	4

Şekil 5.1’de 160 ml/saat için R_a ’nın SYİ’e göre değişimi verilmiştir. R_a değerinin, basınç 7 bar olduğunda MoS₂ katkısının azaldığı görülmektedir. Benzer eğilim 3 bar basınç şartlarında da görülmektedir. 5 bar basınç değerinde % 0,5 MoS₂ katkısından itibaren pürüzlülük değeri artma eğilimindedir (Jiang vd. , 2010). En yüksek R_a değeri 3 bar basınç, en düşük ise 7 bar basınçta MMY + % 1,5 MoS₂ parametrelerinde elde edilmiştir. Ayrıca, 3 bar basınç değerinde düzgün bir değişim görülmemiştir. 7 bar basınçta düzenli bir azalma görülmüştür. Ancak en düşük değer 5 bar basınç durumunda elde edilmiştir. Şekil 5.1. ve 5.2. birlikte değerlendirildiğinde, akışkan hızındaki değişimler R_a pürüzlülüğünü az oranda arttırmıştır (Attanasio vd., 2006).

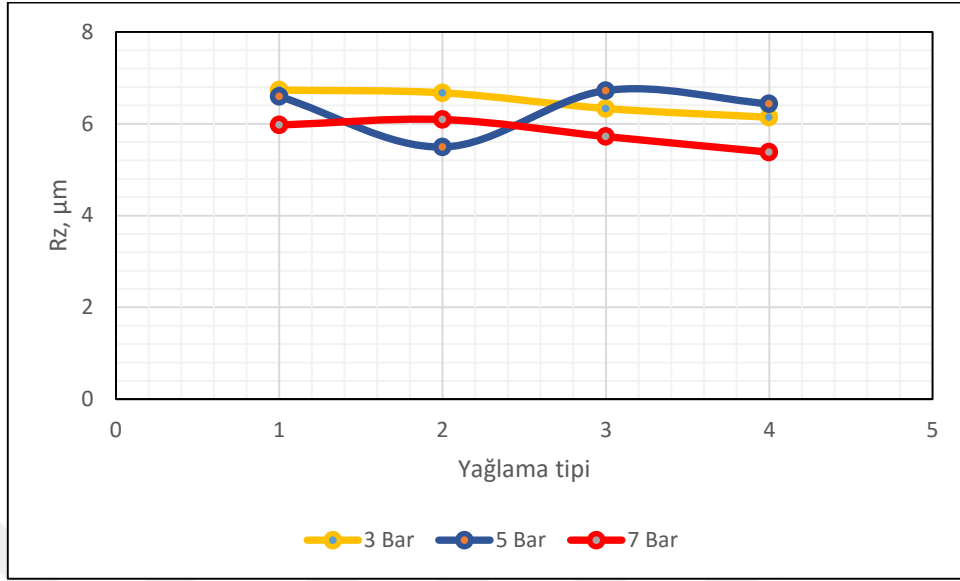


Şekil 5.1. 160 ml/saat'te Ra'nın SYİ ne göre değişimi.

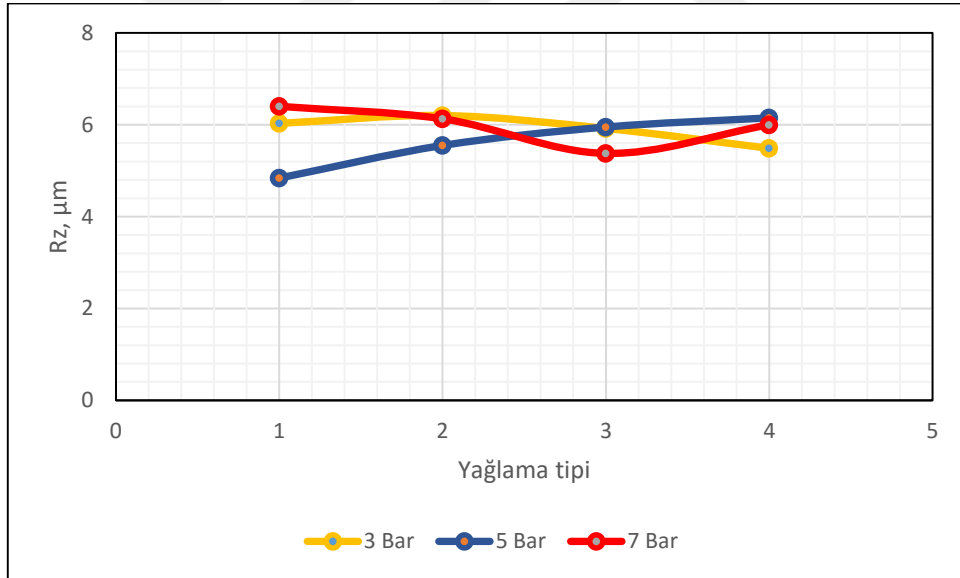


Şekil 5.2. 310 ml/saat'te Ra'nın SYİ ne göre değişimi.

Şekil 5.3'de 160 ml/saat'te Rz pürüzlülüğünün SYİ'ne göre değişimi gösterilmiştir. 3 ve 7 bar basınç değerlerinde azalma fazla olmamıştır. 5 bar için ise düzensiz bir eğilim vardır. En yüksek ve düşük değerlerin bu basınçta değerinde elde edildiği görülmektedir. En yüksek pürüzlülük 5 bar basınçta, MMY + % 1,5 MoS₂ parametrelerinde en düşük 5 bar ve MMY + % 0,5 MoS₂ parametresinde ölçülmüştür.



Şekil 5.3. 160 ml/saat'te Rz'nın SYİ ne göre değişimi.



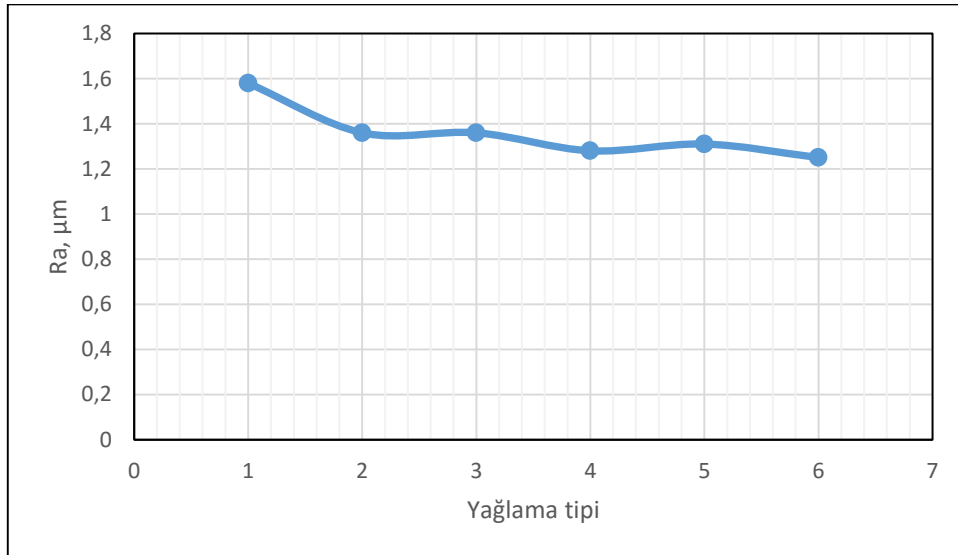
Şekil 5.4. 310 ml/saat'te Rz'nın SYİ ne göre değişimi.

Şekil 5.4'de 310 ml/saat'te Rz 'nin SYİ'ne göre değişimi verilmiştir. 3 ve 7 bar basınç değerlerinde pürüzlülükte azalma eğilimi görülürken, 5 bar basınçta ise nano MoS₂ katkısının artmasıyla Rz değeri artmıştır. En az Rz, 5 bar ve MMY + % 0,5 MoS₂ parametresinde tespit edilmiştir. 7 bar ile MMY ortamında en yüksek pürüzlülüğün oluştuğu belirlenmiştir. Şekil 5.3. ve 5.4. birlikte incelendiğinde artan akış hızının genel olarak belirgin bir etki göstermediği söylenebilir.

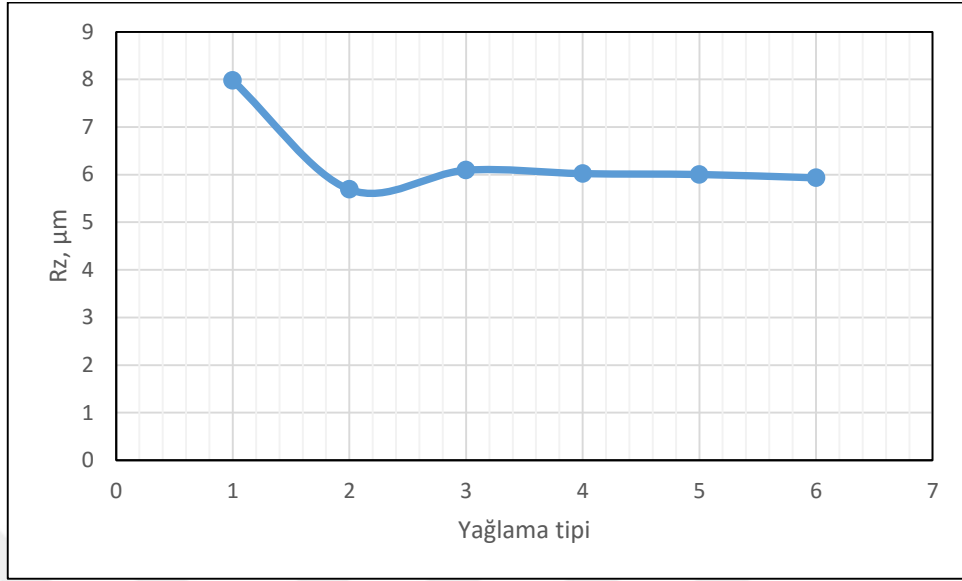
Sonuçları dah geniş açıdan değerlendirmek adına Şekil 5.5. ve 5.6'da yer alan grafikler oluşturulmuştur. Numaralandırmalar Çizelge 5.3'de verilmiştir. Grafik üzerinde yer alan her nokta o parametrede yapılan deneylerin ortalamasını göstermektedir. Şekil 5.5'e göz atıldığında, kuru tornalamada Ra enyüksek değerini almıştır. Normal, MMY ve nano MoS₂ katkılı MMY ortamlarında pürüzlülük azalma eğilimindedir. MMY + % 1,5 MoS₂ şartlarında deneysel çalışmanın en düşük Ra değeri elde edilmiştir. Burada nano MoS₂ katkısının yüzey pürüzlülüğünü iyileştirdiği açıkça görülmektedir. MoS₂'nin endüstride tercih edilen katı yağlayıcılık karakteristiğinin MMY ile yapılan tornalama işlemi üzerindeki olumlu etkisini güçlendirdiği ortaya çıkmıştır. Şekil 5.6'da verilen Rz grafiği için de benzer açıklamaları yapmak mümkündür.

Çizelge 5.3. SYİ biçimleri numaraları.

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



Şekil 5.5. Ra pürüzlülüğüne genel bakış.

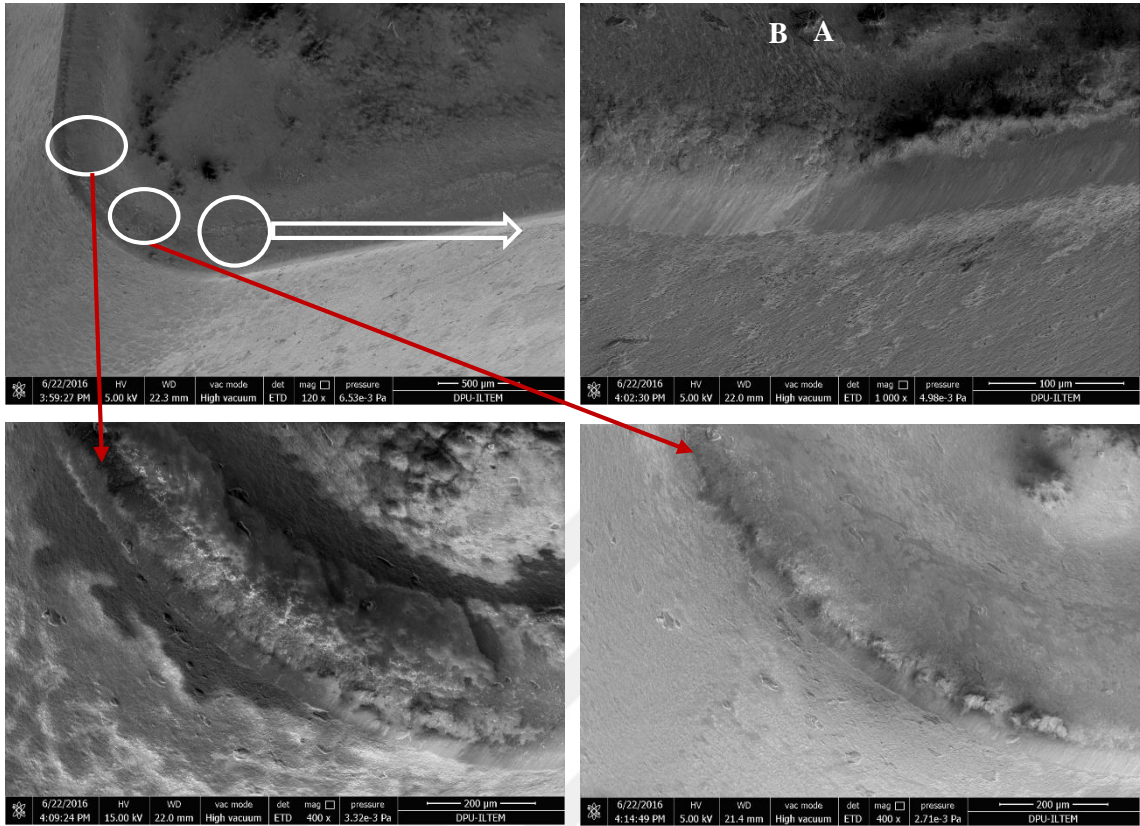


Şekil 5.6. Rz pürüzlülüğüne genel bakış.

5.2. Takım Aşınması Sonuçları

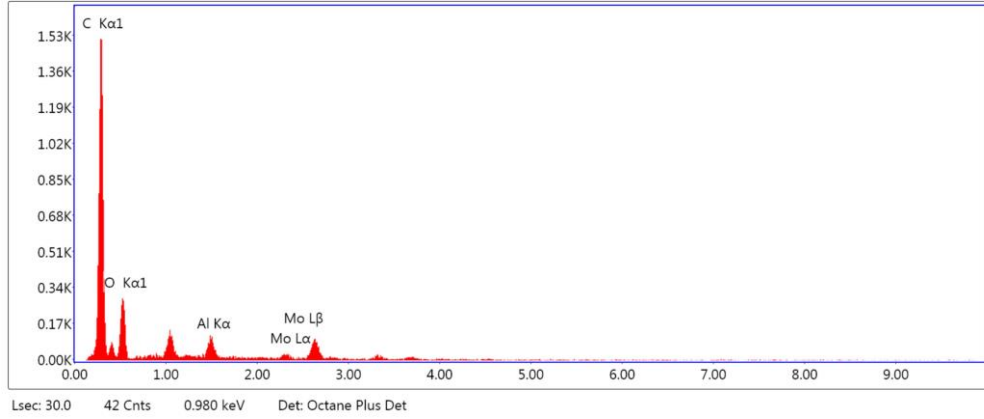
Tornalama deneylerinden sonra kesici uçlarda meydana gelen takım aşınma tiplerinin ve mekanizmalarının belirlenebilmesi için kesicilerin tarama elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri çekilmiştir. Gerekli görülen bölgelerden EDX görüntüleri alınarak kesici takım aşınma incelemeleri detaylandırılmıştır.

Şekil 5.7'de kuru tornalamada kullanılan kesici ucun SEM görüntüleri verilmiştir. İlk bakıldığında tornalama parametreleri de dikkate alındığında kesme kenarında belirgin aşınma oluşmamıştır. Kesici kenar talaş yüzeyinde ve serbest yüzeyde abrasiv aşınma mekanizmasının etkisiyle oluşan talaş akış izleri vardır. Yine kesici kenarda ve talaş yüzeyinde az miktarda malzeme yapışmasının olduğu ve bunların kararlı halde oldukları görülmektedir. Yapışma aşınma mekanizması daha çok çelik, alüminyum ve dökme demir türü malzemelerde görülmektedir (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). Sağ altta köşedeki görüntüye bakılırsa difüzyon ve abrasiv aşınma mekanizmalarının etkisiyle oluşmaya başlamış krater bölgesi göze çarpmaktadır.



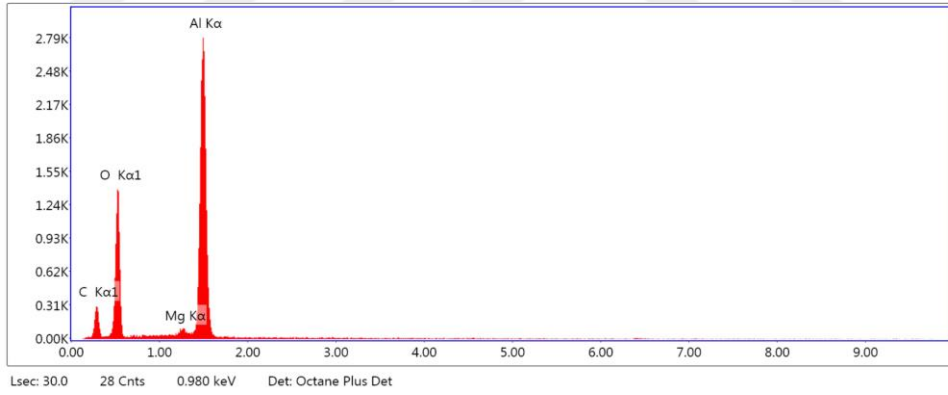
Şekil 5.7. Kuru tornalamada kesici takım SEM fotoğrafları.

Kuru şartlarda, 350 m/dak gibi bir kesme hızında 4 mm kesme derinliğinde yapılan tornalama işleminde ortaya çıkan ısının difüzyon aşınma mekanizmasını tetiklemesi olası bir durumdur (Çakır, 2006). Difüzyon etkisinde maruz kalan alanda takım yüzeyinden parçacık kopmalarına rastlanmamıştır. “A” harfiyle işaretlenen bölge incelenirse, düşük kalınlıklı bir katman yapışması görülmektedir. Bu bölgenin analizini tam olarak yapabilmek için “A” noktasının Şekil 5. 8’de verilen EDX görüntüsü alınmıştır. Bu bölgenin ağırlıklı olarak kesici takıma ait olduğunu gösteren C (% 76,93) ve O (% 19,25) elementleri içerdiği görülmektedir. B noktasında ise % 57,82 ile Al öne çıkmıştır (Şekil 5.9). Burada kaplama malzemesi Al_2O_3 içeriğindeki Al’nin gözlenmesi kaplamanın henüz deforme olmadığını göstermektedir.



Element	C	O	Mo	Al
Ağırlık%	76,93	19,25	1,25	2,58
Atomik %	83,00	15,59	0,17	1,24

Şekil 5.8. Şekil 5.7’deki “A” noktasına ait EDX sonuçları.



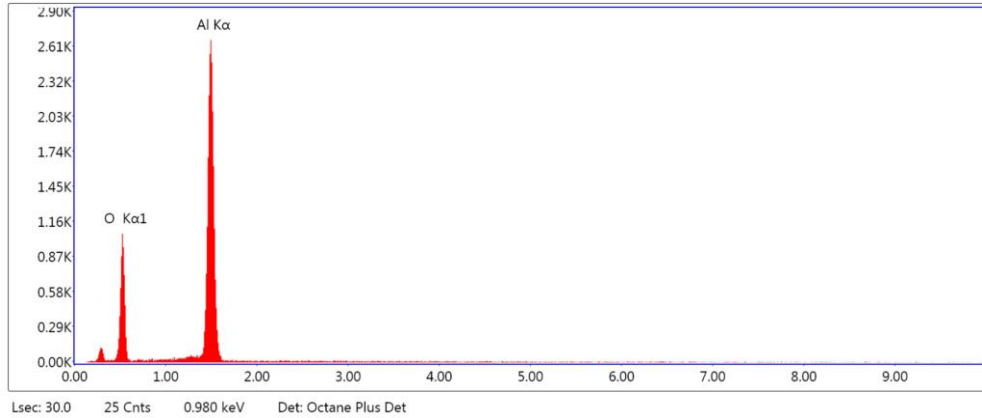
Element	C	O	Mg	Al
Ağırlık%	17,08	25,10	0,00	57,82
Atomik %	27,70	30,56	0,00	41,74

Şekil 5.9. Şekil 5.7’deki “B” noktasına ait EDX sonuçları.



Şekil 5.10. Normal püskürtmede kesici takımın SEM fotoğrafları.

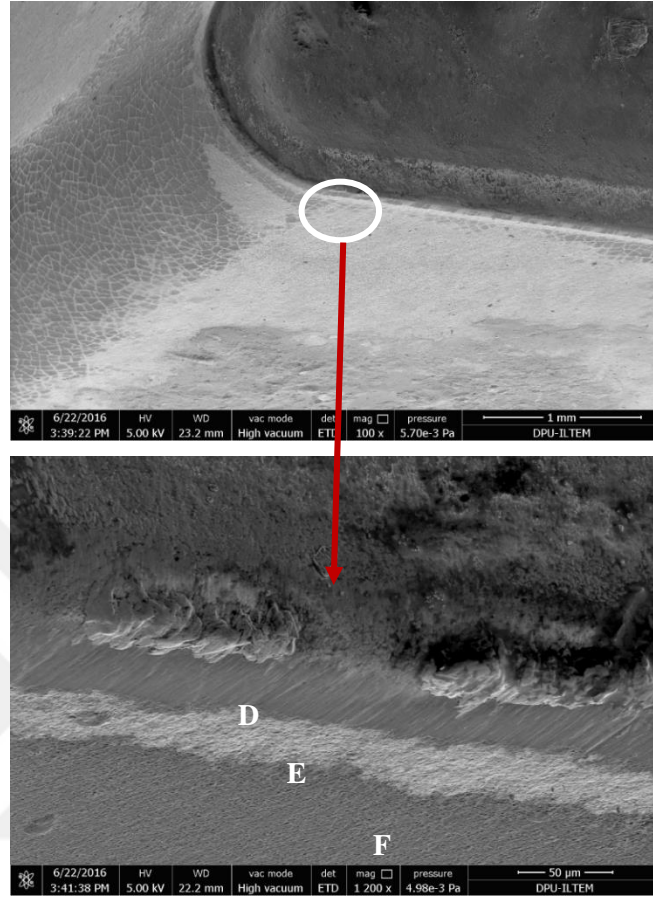
Şekil 5.10'da normal püskürtmede kullanılan takımın SEM fotoğrafları verilmiştir. Şekil 5.7'deki takımla karşılaştırıldığında, abrasiv, adhesiv ve difüzyon aşınma mekanizmalarının belirgin bir etkisi burada oluşmamıştır. Talaş yüzeyinde ve serbest yüzeyde talaş akış izleri çok azdır. Düzenli gelişen serbest yüzey aşınmasının başladığı söylenebilir. Dökme demirlerin işlenmesinde düzenli gelişen serbest yüzey aşınması diğer aşınma biçimlerine göre daha çok istenir (Çakır, 2006). Burada krater aşınması formunda bir oluşuma rastlanmamıştır. Şekil 5.10'daki alt resimde "C" harfleriyle işaretlenen bölgenin abrasiv aşınma izi mi yoksa yapışma olup olmadığını belirlemek için Şekil 5.11'de verilen EDX görüntüsü alınmıştır. % 81,19 oranında Al ve % 18,81 oranında O elementinin olması bu bölgenin kararlılığını koruyan kaplama katmanı olduğunu göstermektedir. Bu alanda iş parçası malzemesinin yapışmasından veya sıvanmasından bahsetmek mümkün değildir.



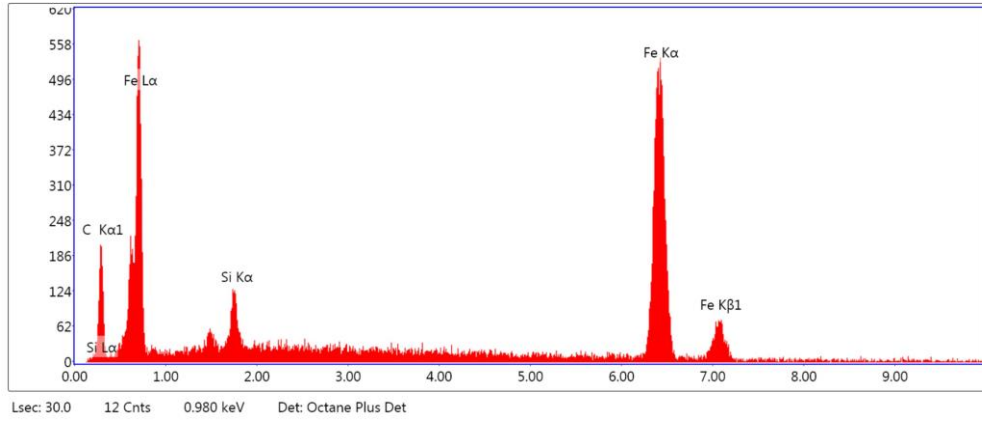
Element	O	Mg	Al
Ağırlık%	18,81	0,00	81,19
Atomik %	28,09	0,00	71,91

Şekil 5.11. Şekil 5.10’da yer alan “C” noktasına ait EDX analizi.

Şekil 5.12’de MMY + % 1,5 MoS₂ parametresinde kullanılan takımın SEM fotoğrafları verilmiştir. Takımda, küçük parçacıkların kopması ve plastik deformasyon etkisi yoktur. Abrasiv aşınma mekanizmasının izleri fazlaca oluşmamıştır. Bu durum nano MoS₂ katkılı MMY soğutmanın olumlu etki göstermesi ile ilişkilendirilebilir (Amrita, 2013). Kesici kenara bakılırsa, küçük miktarlarda yığıntı talaş oluşumları görülebilir. Kesme bölgesi sıcaklıklarının düşük olması durumunda yığıntı talaş oluşumu görülebilir. Artan kesme bölgesi sıcaklığı ise yığıntı talaş oluşumunu azaltıcı etki gösterir (Çakır, 2006). Bu açıdan bakıldığında, deney tasarımında yer alan soğutma ve yağlama koşulları ısı artışını engelleyerek yapışma ve yığıntı için uygun olabilecek ortamın oluşması söz konusu olabilir. Talaş yüzeyinde ve serbest yüzeyde abrasiv aşınma izleri ve oyuklar belli belirsiz gözlemlenmektedir. Resimlerde “D E ve F” harfleriyle işaretlenen bölgeler ayrıca EDX incelemesine alınmıştır. Bu sonuçlar Şekil 5. 13., 5.14 ve 5.15’de verilmiştir. Bu sonuçlara bakıldığında D bölgesinde GGG-70’in içinde bulunan Fe elementinin (% 91,61) olduğu görülmüştür. Bu sonuca göre bu bölgedeki oluşumun malzemesi yapışması olduğu söylenebilir. Öncelikle adhesiv aşınma mekanizması ve takım-talaş arayüzündeki yüksek basınca ekolarak soğutma şartlarının etkisiyle bu yapışma oluşabilir. E ve F bölgelerinde ise ağırlıklı olarak Al elementinin çıkması bu bölgede kaplama katmanının yerinde olduğunun göstermektedir. Ayrıca bir miktar Fe ve Mo elementleri de tespit edilmiştir. Mo elementleri soğutma sıvısına katılan nano MoS₂ tozlarından kaynaklanmaktadır. Fe ise talaş temaslarından kaynaklanabilir.

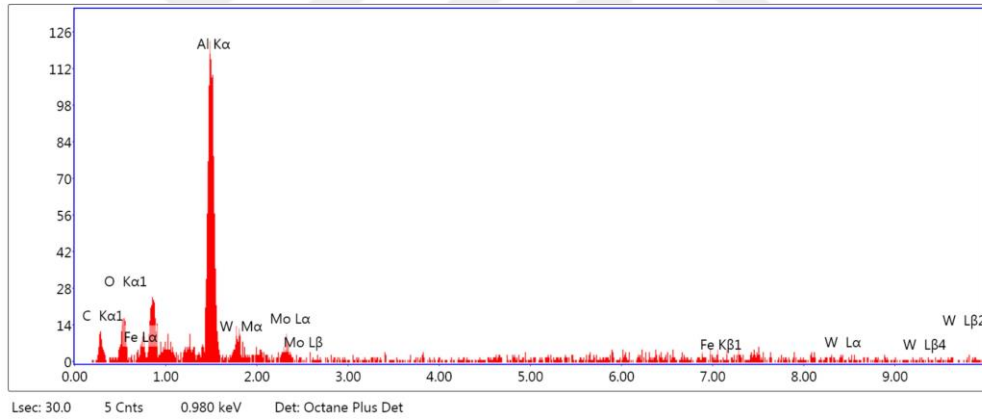


Şekil 5.12. MMY + % 1,5 MoS₂ parametresinde kesici takımın SEM fotoğrafları.



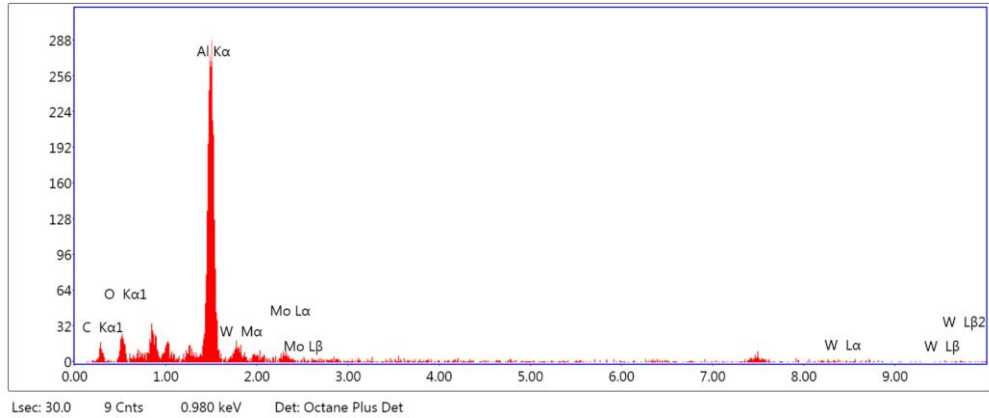
Element	C	Si	Fe
Ağırlık%	6,11	2,29	91,61
Atomik %	22,80	3,65	73,55

Şekil 5.13. Şekil 5.12'deki "D" noktasına ait EDX analizi.



Element	C	Al	W	Fe	Mo
Ağırlık%	10,90	55,44	0,08	25,62	7,96
Atomik %	25,90	58,63	0,01	13,09	13,09

Şekil 5.14. Şekil 5.12'deki "E" noktasına ait EDX analizi.

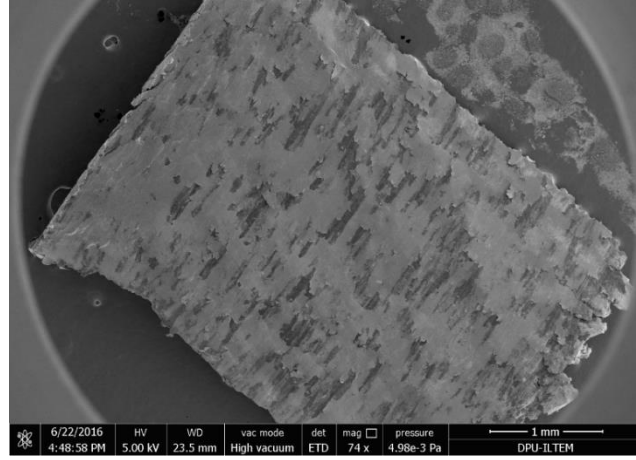


Element	C	Al	Mo
Ağırlık%	7,01	85,33	7,65
Atomik %	15,26	82,66	2,09

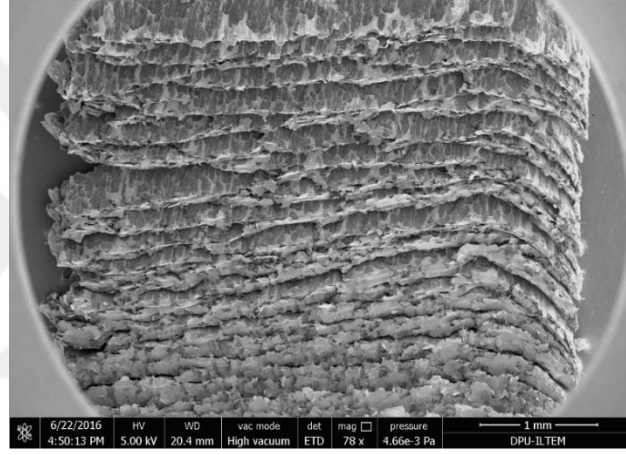
Şekil 5.15. Şekil 5.12'deki "F" noktasına ait EDX analizi.

5.3. Talaşların İncelenmesi

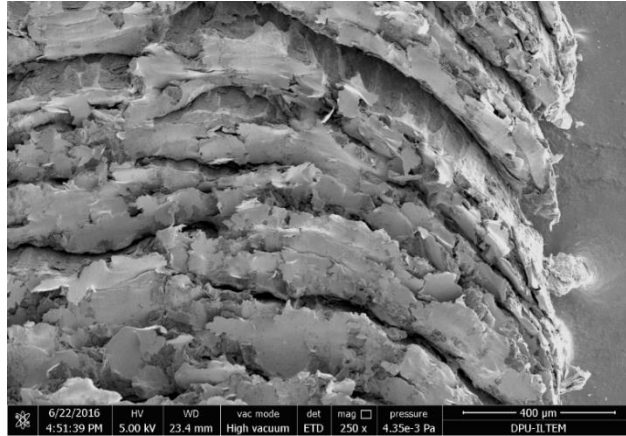
Talaş oluşumunu analiz etmek için SEM fotoğrafları çekilmiştir. Dijital mikroskop kullanılarak deney parametrelerine göre toplanan talaşların ön incelemesi yapılmıştır. Talaş boyutlarında kesme derinliği ve ilerleme değişmediğinden belirgin bir fark olmamıştır. Talaşın kıvrılmasına göre değişmesine rağmen talaş uzunlukları 12-16 mm ölçülmüştür. Kuru tornalama (Şekil 5.16.) ve normal püskürtme (Şekil 5.17.) için SEM fotoğrafları çekilmiştir. Nano MoS₂ tornalamada toplanan talaşlar ile normal püskürtmeli de toplanan talaşlar birbirine yakın olduğundan bunların SEM'lerinin alınmasına gerek duyulmamıştır. Kuru tornalamada talaşın takım yüzüne temas eden bölgesinde belirgin sürtünme-sıvanma izleri varken diğer örnekte (Şekil 5.17.a) görece daha az olsa da birbirlerine yakındırlar. Ortaya çıkan bu gelişme, soğutma ve yağlamanın olumlu etkisine atfedilebilir. Talaşların katman byüklükleri birbirine yakın ölçüdedir. Esas talaş formuna göre kuru tornalamada toplanan talaşların kenarları daha belirgin tırtıklı görüntü oluşturmuştur. Soğutma ve yağlama nedeniyle normal püskürtmeli soğutma şartlarında kuru kesmeye göre daha dengeli bir mekanik ve ısıl yük oluşabilir. Böylece normal püskürtme şartlarında oluşan talaşların kenarları dah az tırtıklı olabilir. Talaş deformasyonunun kuru tornalamada daha fazla olduğu söylenebilir.



a)

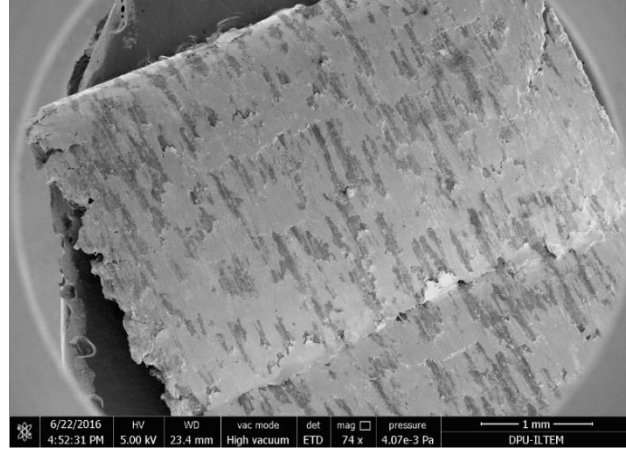


b)

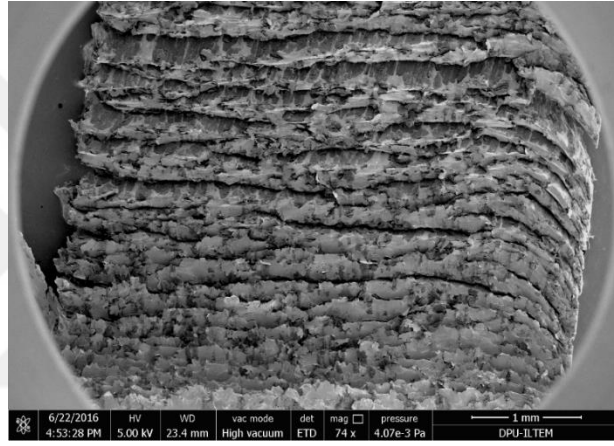


c)

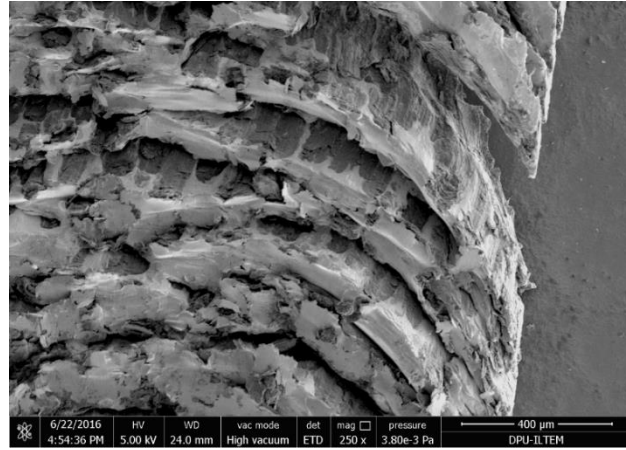
Şekil 5.16. Kuru tornalamada toplanan talaş a) takım-talaş yüzeyi, b) dış yüzey, c) dış yüzey yakınlaştırma.



a)



b)

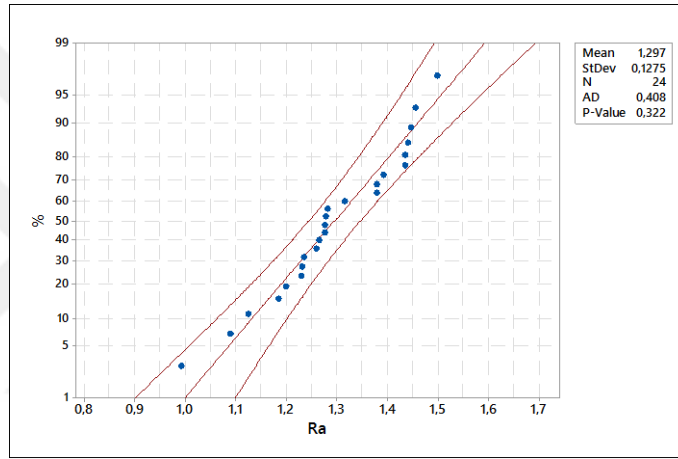


c)

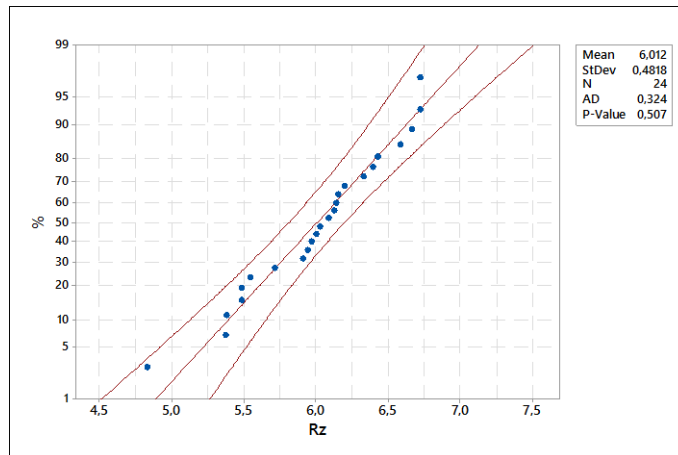
Şekil 5.17. Normal püskürtmede toplanan talaş a) takım-talaş yüzeyi, b) dış yüzey c) dış yüzey yakınlaştırma.

5.4. İstatistiksel Analiz

Ra ve Rz sonuçlarının tornalama değişkenleri ile olan ilişkilerinin belirlemek için ANOVA, Dunnet ve Tukey testleri yapılarak sonuçlara istatistiksel yönden de bakılmıştır. Ölçülen tornalama sonrası pürüzlülük değerlerinin normal dağılım olasılık grafikleri Şekil 5.18'dedir. Şekil 5.18.a'daki grafikte Ra'nın doğrusal çizgi etrafında toplanarak normal dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Ra değerleri güven aralığı çizgileri arasında yer almıştır. Şekil 5.18.b'deki grafikte Rz sonuçları verilmiştir. Rz sonuçları da normal dağılım göstermiş ve güven aralığı içindedir.



a) Ra



b) Rz

Şekil 5.18. Normal dağılım grafikleri a) Ra, b) Rz.

Bir kitlede yer alan gruplar arasında farkın önemli olup olmadığını belirlemek için Dunnet testinden faydalanılır. Aynı şekilde, sıkça kullanılan Tukey testini ise grup sayısının 8'den fazla olduğu değerlendirmeler için kullanmanın daha doğru olduğu belirtilmektedir (Özdamar, 2002). Akışkanın hızı ve basıncının Ra ve Rz üzerindeki etkilerini tespit etmek adına Dunnet testine başvurulmuştur. Ra ve Rz için akış hızına ve basıncına göre değerlendirmeleri Çizelge 5.4. -5.5, 5.6. ve 5.7'de MoS₂ karşılaştırması da Çizelge 5.8 -5.11'de verilmiştir. Çizelge 5.8 -5.11'de katkı miktarlarının anlamlı bir değişim oluşturup oluşturmadığına bakılmıştır.

Çizelge 5.4. Ra'nın akışkan hızına göre Dunnet testi.

Akış Hızı, ml/h	N	Ortalama	Grup
160 (kontrol)	12	1,3246	A
310	12	1,2694	A

Çizelgede 5.4'de A harfinden farklı işaretlenen parametreler istatistiksel olarak A'dan önemli derecede farklı olduğunu gösterir. % 95 güven aralığında gerçekleştirilen Dunnet testine göre akışkanın hızının Ra üzerinde etkili olmadığı söylenebilir. Testin güven seviyesi % 95 hesaplanmıştır. Çizelge 5.5' te akışkan hızı Rz üzerinde etkili değildir. İki akış hızı için aynı grup (A) oluşmuştur.

Çizelge 5.5. Rz'nin akışkan hızına göre Dunnet testi.

Akış Hızı, ml/h	N	Ortalama	Grup
160 (kontrol)	12	6,188	A
310	12	5,837	A

Çizelge 5.6'da % 95 güven aralığında yapılan Dunnet çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre basınç Ra üzerinde etkili değildir. Üç basınç değeri için aynı grup (A) durumu oluşmuştur. Testin güven seviyesi % 97,26 hesaplanmıştır. Çizelge 5.7'ye göre akışkan hızı Rz üzerinde etkili çıkmamıştır. Tüm basınç değerleri içintek grup (A) ortaya çıkmıştır. Yapılan testin güven seviyesi % 97,26 çıkmıştır.

Çizelge 5.6. Ra'nın basınca göre Dunnet testi.

Basınç, Bar	N	Ortalama	Grup
3 (kontrol)	8	1,3558	A
7	8	1,2899	A
5	8	1,2454	A

Çizelge 5.7. Rz'nin basınca göre Dunnet testi.

Basınç, Bar	N	Ortalama	Grup
3 (kontrol)	8	6,188	A
7	8	5,965	A
5	8	5,884	A

Çizelge 5.8'de % MoS₂ katkı oranının Ra üzerinde etkisini gösteren Dunnet testi sonuçları verilmiştir. Yapılan testin güven seviyesi % 98,05 çıkmıştır. Sonuçlar nano MoS₂ katkısı kontrol numunesine (katkısız MMY) göre istatistiksel olarak % 95 güven aralığında önemli bir değişim göstermemiştir. Aynı değerlendirmeyi Rz (Şekil 5.9) için de yapmak mümkündür.

Çizelge 5.8. Ra'nın % MoS₂ katkısına göre Dunnet testi.

% MoS ₂	N	Ortalama	Grup
0 (kontrol)	6	1,3582	A
1,5	6	1,3072	A
0,5	6	1,2778	A
1	6	1,2450	A

Çizelge 5.9. Rz'nin % MoS₂ katkısına göre Dunnet testi.

% MoS ₂	N	Ortalama	Grup
0 (kontrol)	6	6,093	A
1,5	6	6,021	A
0,5	6	6,003	A
1	6	5,932	A

Aşağıda yer alan çizelgeler Çizelge 5.3'de verilen numaralandırmalar esas alınarak hazırlanmıştır. Burada tornalama operasyonu için kullanılan soğutma ve yağlama seçenekleri birlikte değerlendirilmiştir. Çizelge 5.10'de Ra ve Çizelge 5.11'de Rz'nin ANOVA sonuçları verilmiştir. Çizelgeye göre, 0,24'lik P değeri 0,05'den büyük olduğu için soğutma seçeneklerindeki değişikliğin Ra üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı

değildir. Diğer taraftan, 0,035'lik P değeri ile soğutma seçeneklerinin Rz üzerindeki değişimlerde etkisi önemlidir.

Çizelge 5.10. Ra'nın SYİ ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Varyans	F-değeri	P-değeri
İşlem	5	0,1231	0,02462	1,48	0,24
Hata	20	0,3326	0,01663		
Toplam	25	0,4557			

Çizelge 5.11. Rz'nin SYİ ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Varyans	F-değeri	P-değeri
İşlem	5	3,96	0,792	3,01	0,035
Hata	20	5,26	0,263		
Toplam	25	9,22			

SYİ'nin aralarındaki ilişkiyi görmek için Ra Rz için Tukey testi yapılmıştır. Kuru tornalama kontrol grubu olarak seçilmiştir. Buna göre, diğer SYİ seçeneklerinin istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık oluşturup oluşturmadıkları incelenmiştir. Çizelge 5.12 ve 5.13'de sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 5.12'de Ra için yapılan Tukey testi sonuçları verilmiştir. Tüm gruplar aynı harf ile işaretlendiğinden gruplar arasında farklılık istatistiksel olarak anlamlı değildir. Dolayısıyla kuru, normal püskürtme, MMY ve MoS₂ katkılı parametrelerdeki tornalama deneylerinde edilen Ra'nın birbirine yakın olduğu söylenebilir. İstatistiksel açıdan Nano MoS₂ kullanımı bir alternatif olmaktan uzaktır denilebilir.

Çizelge 5.12. Ra'nın SYİ'e göre Tukey testi.

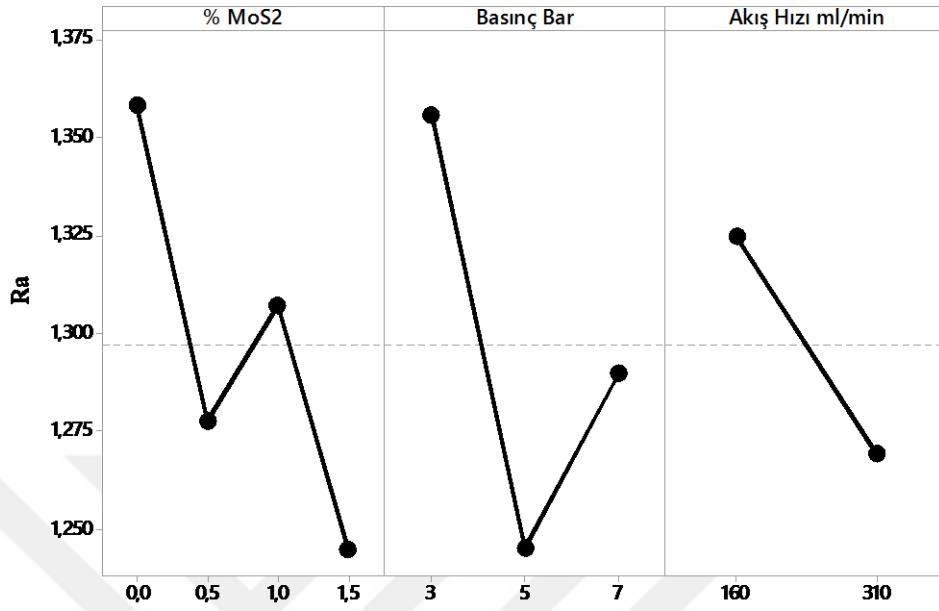
İşlem	N	Ortalama	Grup
1 (kontrol)	1	1,583	A
2	1	1,563	A
3	6	1,358	A
4	6	1,307	A
5	6	1,278	A
6	6	1,245	A

Çizelge 5.13'te verilen Rz için Tukey testi sonuçları incelendiğinde, kontrol grubu dışındakiler farklı harf ile (B) işaretlendiğinden diğer gruplar Rz üzerinde farklı sonuç çıkarmışlardır. Ancak bu 5 grup kendi aralarında birbirlerine çok yakın sonuçlar sergilemişleridir.

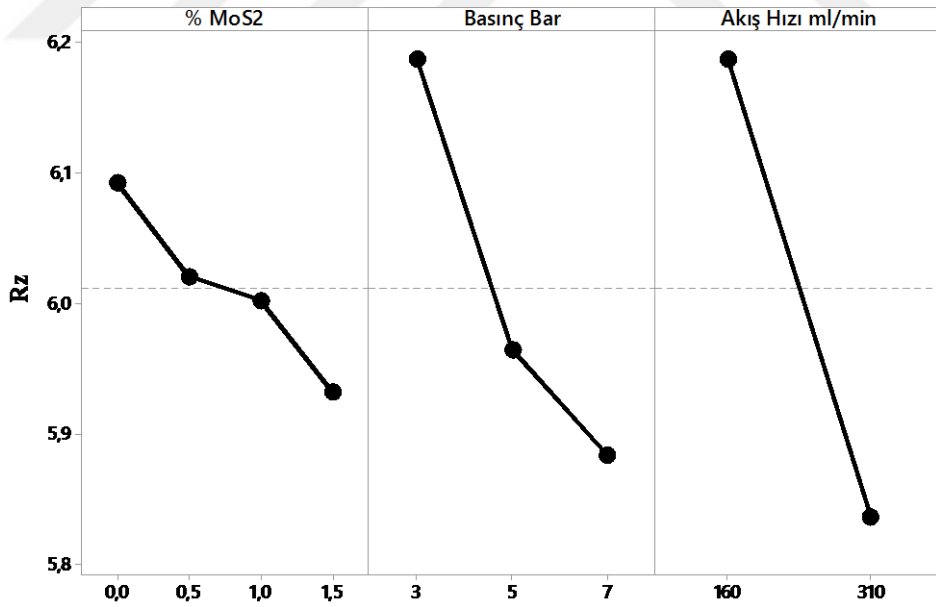
Çizelge 5.13. Rz'nin SYİ Tukey testi.

İşlem	N	Ortalama	Grup
1 (kontrol)	1	7,983	A
3	6	6,093	B
4	6	6,021	B
5	6	6,003	B
6	6	5,932	B
2	1	5,693	B

Deneyel parametrelerin Ra ve Rz ile ilişkilerinin tespiti için Şekil 5.19'daki ana etki grafikleri çıkarılmıştır. Şekil 5.19.a'da verilen grafiğe bakıldığında en düşük Ra'nın MMY + % 1,5 MoS₂ soğutmada 5 bar basınç ve 310 ml/dak parametrelerinde elde edilebileceği tespit edilmiştir. Ancak ölçülen deneyel sonuçlarda en düşük Ra basınç 7 bar olduğunda görülmüştür. Bu grafiklerde eğrilerin yatay ile yaptığı açı ne kadar dik olursa sözkonusu parametrenin sonuçlar üzerindeki etkisi de artmaktadır. MoS₂ ilavesi ve basınç önemli bir etkiye sahiptir. Rz için (Şekil 5.19.b) ise MMY + % 1,5 MoS₂ soğutmada 7 bar basınç ve 310 ml/dak da elde edilebileceği belirlenmiştir. Deneyler sonucunda en düşük Rz 5 bar basınç, 310 ml/dak akış hızı ve MMY püskürtmede elde edilmiştir. Akış hızının Ra üzerindeki etkisinin Rz'den fazla olduğu, MoS₂ ilavesinin az olduğu eğrilerin eğimi göz önünde bulundurularak çıkarılabilir.



a)



b)

Şekil 5.19. Ana etki grafikleri a) Ra, b) Rz.

6. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada, tornalama işlemlerinde minimum miktarda yağlama (MMY) sisteminin tornalama performansı üzerindeki etkileri ve GGG-70'in işlenebilirlik özellikleri araştırılmıştır. MMY içine nano boyutlu katı yağlayıcı MoS₂ karıştırılmış ve GGG70 küresel grafitli dökme demir malzeme tormalanmıştır. Farklı soğutma-yağlama seçeneklerinde tornalama deneyleri yapılmıştır. Değerlendirme kriteri için, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve talaş geometrileri incelenmiştir. Öncelikli olarak nano-MoS₂'nin etkileri araştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen bulguların tamamının değerlendirilmesinden sonra elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

- Deney sonuçlarına göre en düşük Ra 7 bar basınç, 160 ml/dak akış hızı ve MMY + % 1,5 nano-MoS₂ püskürtmede 0,99 µm ölçülmüştür. 5 bar basınç, 310 ml/dak akış hızı ve MMY püskürtmede Rz = 4,84 µm ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre yapılan deneysel çalışmanın amacına ulaştığı söylenebilir.
- En yüksek Ra ve Rz değerleri kuru işlemede sırasıyla 1,58 µm ve 7,98 µm ölçülmüştür.
- Ra değerinde kuru işleme şartlarına göre % 37 değerinde, Rz değerinde ise % 39 oranında bir azalma elde edilmiştir. Bu sonuçların yüzey pürüzlülüğü açısından oldukça iyi olduğu söylenebilir.
- Ra ile basınç arasında doğrusal bir etkileşim olmamıştır. Artan akış hızı Ra değerini çok az arttırmıştır.
- Kuru tormalamada en yüksek değeri elde edilmiştir. Normal püskürtme, MMY ve nano MoS₂ katkılı MMY şartlarına pürüzlülük değeri azalmıştır.
- MMY + % 1,5 MoS₂ püskürtme şartlarında deneysel çalışmanın en düşük Ra değeri elde edilmiştir. Burada nano MoS₂ katkısının pürüzlülüğü iyileştirdiği açıkça görülmektedir.
- Kesicinin kesme kenarı bölgesindeki takım aşınmalarının azalması yönünde nano-MoS₂'nin olumlu katkısı olmuştur.
- SEM/EDX görüntülerinde, abrasif, adhesiv ve difüzyon aşınma mekanizmalarını gözlemlenmiştir. Normal püskürtme ve nano MoS₂ tormalamada kullanılan kesici takımlarda yeni başlamış serbest yan yüzey aşınması, yapışma/sıvanma şeklinde aşınmalar belirlenmiştir.
- Toplanan talaşların boyutları birbirine yakındır. Kıvrılma şekilleri açısından değişiklik olsa da talaş uzunlukları 12-16 mm ölçülmüştür.

- % 95 güven aralığında yapılan Dunnet testi sonuçlarına göre akış hızı ve basıncın Ra ve Rz üzerinde istatistiksel olarak etkisinin anlamlı olmadığı görülmüştür. Akışkan basıncındaki değişikliğin Ra ve Rz üzerinde etkisinin olmadığı % 97,26 güvenirlilikte belirlenmiştir.
- Nano MoS₂ katkısı kontrol numunesine (katkısız MMY) göre istatistiksel olarak % 95 güven aralığında önemli bir değişim göstermemiştir.
- Kuru, normal püskürtme, MMY ve nano MoS₂ de yapılan tornalama deneylerinde edilen Ra sonuçları birbirine yakın gerçekleşmiştir.
- ANOVA ve ana etki grafikleri açısından soğutma ve yağlamanın Ra ve Rz üzerinde olumlu etkisi vardır.
- MoS₂ ilavesi ve basınç, Ra üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Akışkan hızının Ra üzerindeki etkisinin Rz'den fazla, MoS₂ ilavesinin etkisinin ise az olduğu görülmüştür.
- MMY sistemde kullanılan soğutma sıvısının içine yağlama ve soğutma özelliklerini iyileştirmek adına ilave edilen nano-MoS₂'den olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bu konuda nanoparçacık katkısına olan akademik ve endüstriyel ilginin artış eğilimi olduğu düşünülürse, yapılan bu çalışma ortaya konan hipotezini başarı ile sonuçlandırmıştır.

7. ÖNERİLER

Çalışmadan elde edilen sonuçların ardından, aşağıda verilen bazı çalışmaların yapılması önerilebilir;

- Farklı deney malzeme, kesici takım değişkenleri, soğutma sıvısı ve katkı maddeleri çalışılabilir.
- Nano MoS₂ katkılı MMY'nin tornalama performansının maliyet ile ilişkisi ve oluşan kesme kuvvetleri araştırılabilir.
- Farklı deneysel tasarım araçlarıyla (Taguchi ve Gri ilişkisel analiz vb.) fazla sayıda deney değişkeni kullanılarak sonuçlar iyileştirilebilir.
- Yapay zekâ kullanılarak çalışmalar desteklenebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Ab Karim, S.M., Sarhan, A.A.D.M., Shokur, M.H.A., (2011), Experimental study on minimizing the edge chipping in glass milling operation using an internal CBN grinding tool, *Materials and Manufacturing Processes*, 26 (8), s.969-976.

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.

Apakhan, M., (2006), *Seramik Takımlarla Talaş Kadırmada Talaş Açısının İşlenebilirliğe Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Attanasio, A., Gelfi, M., Giardini C., Remino, C., (2006), Minimal quantity lubrication in turning: Effect on tool wear, *Wear*, 260, 333-338.

Bruni, C., Forcellese, A., Gabrielli, F., Simoncini, M., (2006), Effect of the lubrication-cooling technique, insert technology and machine bed material on the workpart surface finish and tool wear in finish turning of AISI 420B, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46(12-13), s. 1547-1554.

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

Chinchanikar, S. and Choudhury, S.K., (2013), Effect of work material hardness and cutting parameters on performance of coated carbide tool when turning hardened steel: An optimization approach. *Measurement*, 46(4), 1572-1584.

Carou, D., Rubio, E.M., Lauro, C.H., Davim, J.P., (2014), Experimental investigation on surface finish during intermittent turning of UNS M11917 magnesium alloy under dry and near dry machining conditions, *Measurement*, 56, s.136-154.

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

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

Dambhare, S., Deshmukh, S., Borade, A., Digalwar, A., Phate, M., (2015), Sustainability Issues in Turning Process: A Study in Indian Machining Industry, *Procedia CIRP* 26, s.379 – 384.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Deiab, I., Raza, S.W., Pervaiz, S., (2014), Analysis of Lubrication Strategies for Sustainable Machining during Turning of Titanium Ti-6Al-4V alloy, *Procedia CIRP*, 17, s.766-771.

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.

Dhar, N.R., Ahmed, N.T., ve Islam, S. (2007). An experimental investigation on effect of minimum quantity lubrication in machining AISI 1040 steel. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47, 748-753.

Ghani, A.K. and Choudhury, L.A. (2002), Study of Tool Life Surface Roughness and Vibration in Machining Nodular Cast Iron With Ceramic Tool, *Journal of Material Processing Technology*, 127: 17-22.

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.

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

Groover, M.P., (Çev. Mustafa Yurdakul, Yusuf Tansel İç), (2015), *Modern İmalatın Prensipleri*, Nobel Yayınları, Ankara.

Hadad, M., ve Sadeghi, B., (2013), Minimum quantity lubrication-MQL turning of AISI 4140 steel alloy, *Journal of Cleaner Production*, 54, s.332-343.

Hwang, Y. K., and Lee, C. M., (2010), Surface roughness and cutting force prediction in MQL and wet turning process of AISI 1045 using design of experiments. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 24, s.1669–1677.

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

<http://www.dokumtek.com/kuresel-grafit-nasil-olusur/>

<https://www.makinaegitimi.com/>

<https://ergunkeskin.wordpress.com/temel-mekanik/>

<http://www.hamitarслан.com/tornalama-islemleri.html>

<http://www.mafa-shop.de/index.php?language=tr>

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

İlhan, M., (2014), Talaş Kaldırma İşlemlerinde Minimum Miktarda Yağlama (MQL) Uygulamasının Kesme Hızı ve Yağlama Debisinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Kuvvetleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

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.

Khan M. M. A. and Dhar, N. R., (2006), “Performance evaluation of minimum quantity lubrication by vegetable oil in terms of cutting force, cutting zone temperature, tool wear, job dimension and surface finish in turning AISI-1060 steel”, *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*, vol. 7, pp. 1790-1799.

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.

Leppert, T. (2012), Surface layer properties of AISI 316 L steel when turning under dry and with minimum quantity lubrication conditions. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 226, 617–631.

Lin, H., Wang, C., Yuan, Y., Chen, Z., Wang, Q., Xiong, W., (2015), Tool wear in Ti-6Al-4V alloy turning under oils on water cooling comparing with cryogenic air mixed with minimal quantity lubrication, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 81, s.87-101.

Özdemir, U., ve Erten, M., (2003), Talaslı İmalat Sırasında Kesici Takımda Meydana Gelen Hasar Mekanizmaları Ve Takım Hasarını Azaltma Yöntemleri, *Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1, s.37-50.

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

Padmini, R., Krishna P.V., Rao G.K.M., (2015), Performance assessment of micro and nano solid lubricant suspensions in vegetable oils during machining, *Proc IMechE, Part B: J Engineering Manufacture*, 229(12), s.2196-2204.

Priarone, P.C., Robiglio, M., Settineri, L., ve Tebaldo, V., (2014), Milling and turning of titanium aluminides by using minimum quantity lubrication. *Procedia CIRP*, 24, 62-67.

Reddy, T. V. S., Ajaykumar, B. S., Reddy, M. V., Venkataram, R. (2007). Improvement of tool life of cryogenically treated P-30 tools. in: *Proceedings of the International Conference on Advanced Materials and Composites (ICAMC-2007) at National Institute for Interdisciplinary Science and Technology*, 457–460.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Sarıkaya M., Güllü A., (2014), Taguchi design and response surface methodology based analysis of machining parameters in CNC turning under MQL. *Journal of Cleaner Production*, 65, 604-616.

Settineri, L., (2005), Surface properties and performance of multilayer coated tools in turning Inconel, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 54, s.515-518.

Sharma, V.S., Dogra, M., Suri, N.M., (2008), Advances in the turning process for productivity improvement - a review, *Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers Part B-Journal of Engineering Manufacture*, 222-11, s.1417-1442.

Shokoohi, Y., Khosrojerdi, E., Shiadhi, B.H.R., (2015), Machining and Ecological Effects of a New Developed Cutting Fluid in Combination with Different Cooling Techniques on Turning Operation, *Journal of Cleaner Production*, 94, s.330-339.

Smith, W.F., (2000), *Mühendislik Alaşımlarının Yapı Ve Özellikleri 2. Baskıdan çeviri, Çeviri: Mehmet Erdoğan, Nobel Yayıncılık, , Ankara. s.236.*

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.

Stephenson, D. A., Skerlos, S. J., King, A. S., Supekar, S. D., (2014), “Rough turning Inconel 750 with supercritical CO₂-based minimum quantity lubrication”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 214, pp. 673-680.

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.

Yazid, M.Z.A., C.H. CheHaron, J.A. Ghani, G.A. Ibrahim, and A.Y.M. Said, (2010), Tool wear of PVD coated carbide tool when finish turning Inconel 718 under high speed machining. *Advanced Materials Research* 129-131, s. 1004-1008.

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.*

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.

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

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı ve Soyadı : Şafak SERTSÖZ
Doğum Tarihi ve Yeri : 05,04,1984
e-mail : safaksertsoz@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	-----	-----
Yüksek Lisans	-----	-----
Lisans	Afyon Kocatepe Üniv. T.E.F Mak. Res. Ve Kons. Öğretmenliği	2009
Lise	Bilecik Anadolu Lisesi BİLECİK	2002

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
7	Bilecik	Proje Şefi

Yabancı Dil : İngilizce

Yayımlar