

T.C.  
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİKLERİNİN FREZELENMESİNDE  
ÇÖZÜNEBİLİR SiO<sub>2</sub> KATKILI NANOAKIŞKANLARIN  
İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CANER GÜLSEREN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI  
Doç. Dr. Adem YAR

İKİNCİ TEZ DANIŞMANI  
Dr. Öğr. Üyesi Üsame Ali USCA

BİNGÖL-2024

T.C.  
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİKLERİNİN FREZELENMESİNDE ÇÖZÜNEBİLİR  
SiO<sub>2</sub> KATKILI NANOAKIŞKANLARIN İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNE  
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Doç. Dr. Adem YAR danışmanlığında, Caner GÜLSEREN tarafından hazırlanan bu çalışma 08/05/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak **oybirliği (3/3)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Mustafa KUNTOĞLU *İmza* :  
Üye : Doç. Dr. Adem YAR *İmza* :  
Üye : Doç. Dr. Serhat ŞAP *İmza* :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun ...../...../..... tarih ve ...../.....  
nolu kararı ile onaylanmıştır.

**Prof. Dr. Zafer ŞİAR**  
**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Lisansüstü eğitimim boyunca bana destek olan, akademik bilgi ve tecrübelerinin yanı sıra hayat tecrübelerini ve bilgi birikimlerini sabır ve cömertlikle benimle paylaşan kıymetli danışman hocalarım Doç. Dr. Adem YAR ve Dr. Öğr. Üyesi Üsame Ali USCA'ya en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmalarımda bana yardımcı olan Doç. Dr. Serhat ŞAP hocama ve Doç. Dr. Mustafa KUNTOĞLU'na teşekkür ederim.

Sadece tez çalışmam boyunca değil, lise sıralarından beri bana maddi ve manevi olarak her zaman destek olan, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli dostum Metin EMARE'ye teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde büyük emekleri olan, benim için her türlü fedakarlığa katlanan ve dualarıyla her zaman yanımda olan annem Saadet GÜLSEREN ve babam Cemil GÜLSEREN'e teşekkür ederim.

Son olarak tez çalışmalarım boyunca ihmal ettiğim, hayatımın her aşamasında yanımda olarak bana destek olan sevgili eşim Hacer GÜLSEREN'e, kıymetli çocuklarım Hamzat Eymen GÜLSEREN ve Yusuf Hâkî GÜLSEREN'e teşekkür ederim.

**Caner GÜLSEREN**

**Bingöl 2024**

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vi
TABLolar LİSTESİ .....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	4
3. NANOPARTİKÜLLER VE NANOAKIŞKANLAR.....	9
3.1. Nanopartikül .....	9
3.2. Nanoakışkanlar .....	9
3.3. Nanoakışkan Tipleri.....	11
3.4. Nanoakışkanların Üretim Yöntemleri.....	12
3.4.1. Tek Adım Yöntemi .....	12
3.4.2. İki Adım Yöntemi .....	12
3.5. Baz Akışkan.....	13
3.6. Nanoakışkanlar Yardımıyla İşlenebilirliğin İyileştirilmesi.....	13
4. İŞLENEBİLİRLİK VE TALAŞ KALDIRMA.....	15
4.1. İşlenebilirlik.....	15
4.2. Talaş Kaldırma.....	17
4.2.1. Frezeleme.....	17
4.2.1.1. Çevresel Frezeleme .....	19
4.2.1.1.1. Eş Yönlü Frezeleme .....	20
4.2.1.1.2. Zıt Yönlü Frezeleme .....	21
4.2.1.1.2.1. Zıt Yönlü ve Eş Yönlü Frezelemenin Kıyaslanması .....	22
4.2.1.2. Alın Frezeleme.....	23
4.2.1.2.1. Simetrik Frezeleme .....	24
4.2.1.2.2. Asimetrik Frezeleme .....	24
4.3. Kesici Takımlar ve Malzemeleri.....	25

4.3.1. Kesici Takım Malzemeleri.....	26
4.3.1.1. Kaplanmış Karbür Takımlar .....	27
4.3.1.2. Kübik Bor Nitrür Takımlar .....	28
4.3.1.3. Yüksek Hız Çeliği.....	29
4.3.1.4. Sermet Takımlar.....	29
4.3.1.5. Seramik Takımlar .....	30
4.3.1.6. Tungsten Karbür (WC) Takımlar .....	30
4.3.1.7. Çoklu Kristal Elmas Takımları .....	31
4.4. Talaşlı İmalat Yönteminde Takım Aşınması.....	31
4.4.1. Yan Yüzey (Yanak) Aşınması .....	32
4.4.2. Krater Aşınması .....	33
4.4.3. Çentik Aşınması.....	33
4.4.4. Talaş Yığılması (BUE) .....	34
4.4.5. Termal Çatlaklar .....	35
4.4.6. Takım Kırılması.....	36
4.4.7. Plastik Deformasyon.....	36
4.4.8. Uç Radyüsü Aşınması.....	37
4.4.9. Parçacık Dökülmesi .....	37
4.4.10. Talaş Hasarı .....	38
4.5. Aşınma Mekanizmaları.....	38
4.5.1. Abrasif Aşınma .....	39
4.5.2. Adhezif Aşınma .....	40
4.5.3. Difüzyon (Çözelti) Aşınması .....	41
4.5.4. Oksidasyon Aşınması .....	41
4.5.5. Kimyasal Aşınma.....	42
4.6. Yüzey Pürüzlülüğü .....	42
4.6.1. Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Faktörler .....	44
4.6.2. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Yöntemleri .....	44
4.6.2.1. Temas Uçlu Ölçüm Metodu.....	44
5. KESME SIVILARI VE MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA .....	46
5.1. Kesme Sıvılarının İşlevleri .....	49
5.1.1. Soğutma İşlevi .....	49
5.1.2. Yağlama İşlevi .....	49
5.1.3. Kaynağı Önleme İşlevi .....	50

5.2. Kesme Sıvısı Türleri .....	50
5.2.1. Emülsiyon Kesme Sıvıları .....	51
5.2.2. Kesme Yağları .....	52
5.2.3. Kimyasal ve Sentetik Kesme Sıvıları .....	53
5.2.4. Gazlar .....	53
5.3. Kesme Sıvılarının İnsan Sağlığına Olumsuz Etkileri .....	54
5.4. Sürdürülebilir Soğutma Yağlama Yöntemleri.....	55
5.5. Minimum Miktarda Yağlama (MMY)Yöntemi .....	55
5.5.1. Kesici Takım İçinden Uygulanan MMY Yöntemi .....	57
5.5.2. Kesici Takım Dışından Uygulanan MMY Yöntemi.....	59
6. MATERYAL VE YÖNTEM.....	61
6.1. DeneYlerde Kullanılan Malzeme ve Ekipmanlar.....	61
6.1.1. DeneYde Kullanılan Malzemeye Ait Özellikler.....	61
6.1.2. DeneYde Kullanılan Kesme Sıvısı .....	62
6.1.3. DeneYde Kullanılan Takım ve Takım Tutucular .....	62
6.1.4. DeneYde Kullanılan İşleme Tezgâhı .....	64
6.1.5. Minimum Miktarda Yağlama Sistemi .....	65
6.1.6. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü.....	66
6.1.7. Kesme Sıcaklığı Ölçüm Cihazı.....	67
6.1.8. Kesici Takım Aşınma Değeri Ölçümü.....	68
6.1.9. Güç Ölçümü .....	71
6.1.10. Nanoakışkan Hazırlanması .....	72
6.1.11. DeneY Parametreleri .....	73
7. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	75
7.1. Kesme Sıcaklığı Sonuçlarının Değeriendirilmesi .....	77
7.2. Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçlarının Değeriendirilmesi .....	79
7.3. Serbest Yüzey Aşınması Sonuçlarının Değeriendirilmesi .....	82
7.4. Güç Tüketimi Sonuçlarının Değeriendirilmesi.....	84
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	86
KAYNAKLAR.....	89

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$Al_2O_3$	: Alüminyum oksit
AlTiN	: Alüminyum titanyum nitrür
BUE	: Talaşların kesici takıma yapışması
CVD	: Kimyasal buhar biriktirme
CNC	: Bilgisayarlı nümerik kontrol
Co	: Kobalt
PVD	: Fiziksel buhar biriktirme
TiC	: Titanyum karbür
TiCN	: Titanyum karbo nitrür
TiN	: Titanyum nitrür
WC	: Tungsten karbür
$a_p$	: Kesme derinliği (mm)
b	: İş parçasının genişliği (mm)
D	: Takım çapı (mm)
$h_m$	: Ortalama talaş kalınlığı (mm)
K	: Yerleştirme açısı
n	: Devir sayısı (d/dk)
N	: Devir (d/dk)
$A_p$	: Frezeleme derinliği (mm)
$f_t$	: Diş başına ilerleme(mm/sn)
r	: İlerleme yönü
kW	: KiloWatt
kJ	: Kilo joule
$T_c$	: Kesme sıcaklığı (C°)
$V_c$	: Kesme hızı (m/dak)
$V_b$	: Yan yüzey aşınması ( $\mu m$ )
$R_a$	: Yüzey pürüzlülüğü ( $\mu m$ )
Cu	: Bakır
Ti	: Titanyum

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.	Farklı Nanopartiküllere Ait Geometrik Şekiller .....	9
Şekil 3.2.	Nanoparçacık Türleri.....	11
Şekil 3.3.	Tek Adımlı Üretim Yöntemi.....	12
Şekil 3.4.	İki Adımlı Üretim Yöntemi.....	13
Şekil 4.1.	İşlenebilirliğe Etki Eden Faktörler.....	15
Şekil 4.2.	Talaş Kaldırma Süreci ve İşlenebilirlik.....	16
Şekil 4.3.	Yatay ve Düşey Freze Tezgahları.....	19
Şekil 4.4.	Çevresel Frezelemede Talaş Boyutu.....	20
Şekil 4.5.	Eş Yönlü Frezeleme.....	21
Şekil 4.6.	Zıt Yönlü Frezeleme.....	22
Şekil 4.7.	Alın Frezeleme.....	23
Şekil 4.8.	Simetrik Frezeleme.....	24
Şekil 4.9.	Asimetrik Frezeleme.....	25
Şekil 4.10.	Kesici Takımların Sıcaklık-Sertlik İlişkisi.....	27
Şekil 4.11.	Kaplanmış Karbür Takımlar.....	28
Şekil 4.12.	Kübik Bor Nitrür Takımlar.....	29
Şekil 4.13.	Sermet Takımlar.....	30
Şekil 4.14.	Yan Yüzey Aşınması.....	32
Şekil 4.15.	Krater Aşınması.....	33
Şekil 4.16.	Çentik Aşınması.....	34
Şekil 4.17.	Talaş Yığılmasının Yandan (a) ve Üstten (b) Görünüşü.....	35
Şekil 4.18.	Termal Çatlaklar.....	35
Şekil 4.19.	Takım Kırılması.....	36
Şekil 4.20.	Plastik Deformasyon.....	37
Şekil 4.21.	Parçacık Dökülmesi.....	38
Şekil 4.22.	Temel Aşınma Tipleri.....	39
Şekil 4.23.	Abrasif Aşınma.....	40
Şekil 4.24.	Adhezif Aşınma.....	41

Şekil 4.25.	Oksidasyon Aşınması.....	42
Şekil 4.26.	Yüzeyde Oluşan Yüzey Pürüzlülüğü ve Dalgalanma.....	43
Şekil 4.27.	Temas Uçlu Ölçme Yöntemi.....	45
Şekil 5.1.	Üretimde Kullanılan Kesme Sıvılarının Etkileri.....	47
Şekil 5.2.	Kesme Sıvılarının İşlevi.....	48
Şekil 5.3.	İyi ve Kötü Islatma.....	50
Şekil 5.4.	Kesme Sıvısı Türleri.....	51
Şekil 5.5.	Kesme Sıvısı Maliyetinin Toplam Üretim Maliyetindeki Yeri (%).....	56
Şekil 5.6.	Kesici Takımın İçinden Uygulanan MMY Sistemi.....	58
Şekil 5.7.	Kesici Takımın İçinden Uygulanan MMY Kanalları.....	58
Şekil 5.8.	Kesici Takımın Dışından Uygulanan MMY Sistemi.....	59
Şekil 5.9.	Kesici Takımın Dışından Uygulanan MMY Kanalları.....	59
Şekil 6.1.	Deneylerde Kullanılan Kesici Uç.....	63
Şekil 6.2.	Deneylerde Kullanılan Freze Takımı.....	63
Şekil 6.3.	Deneylerde Kullanılan CNC Freze Tezgahı.....	64
Şekil 6.4.	Minimum Miktarda Yağlama Sistemi.....	66
Şekil 6.5.	Deneylerde Kullanılan Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı .....	66
Şekil 6.6.	Testo 885 Termal Kamera.....	67
Şekil.6.7.	Dijital Ölçüm Mikroskobu.....	68
Şekil6.8.	100 m/dak Kesme Hızı ve 0,08 mm/dev İlerleme Hızında Aşınma.....	69
Şekil6.9.	100 m/dak Kesme Hızı ve 0,1 mm/dev İlerleme Hızında Aşınma.....	69
Şekil6.10.	130 m/dak Kesme Hızı ve 0,08 mm/dev İlerleme Hızında Aşınma.....	70
Şekil6.11.	130 m/dak Kesme Hızı ve 0,1 mm/dev İlerleme Hızında Aşınma.....	70
Şekil 6.12.	Güç Analizörü.....	71
Şekil 6.13.	Nanoakışkan Hazırlanması.....	72
Şekil 7.1.	Kesme Sıcaklığının Kesme Parametreleri ile Değişimi.....	78
Şekil 7.2.	Yüzey Pürüzlülüğünün Kesme Parametreleri ile Değişimi.....	80
Şekil 7.3.	Serbest Yüzey Aşınmasının Kesme Parametreleri ile Değişimi.....	82
Şekil 7.4.	Güç Tüketiminin Kesme Parametreleri ile Değişimi.....	84

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 6.1.	Deney Aşamaları.....	61
Tablo 6.2.	CPOH Çeliğinin Kimyasal Analizi (%).....	62
Tablo 6.3.	KT-2000 Sentetik Yağ Özellikleri.....	62
Tablo 6.4.	Kesici Uca Ait Ölçüler.....	63
Tablo 6.5.	Deneylerde Kullanılan Freze Takımına Ait Ölçüler.....	63
Tablo 6.6.	Deneyde Kullanılan CNC Tezgahına Ait Teknik Özellikler.....	65
Tablo 6.7.	Minimum Miktarda Yağlama Sisteminin Teknik Özellik Tablosu.....	65
Tablo 6.8.	Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı Teknik Özellikleri.....	67
Tablo 6.9.	Termal Kamera Teknik Özellikleri.....	68
Tablo 6.10.	Güç Analizörü Teknik Özellikleri.....	71
Tablo 6.11.	Deney Parametreleri.....	73
Tablo 6.12.	Deneylerde Kullanılan Değişkenler.....	74
Tablo 7.1.	Deney Sonuçları.....	76

# SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİKLERİNİN FREZELENMESİNDE ÇÖZÜNEBİLİR SiO<sub>2</sub> KATKILI NANOAKIŞKANLARIN İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

## ÖZET

Bu çalışmada, CPOH soğuk iş takım çeliğinin işlenmesinde yenilikçi ve sürdürülebilir soğutma-yığlama metotlarının işleme parametreleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneyler Al-TiN kaplamalı bir freze takımı kullanılarak CNC freze makinasında gerçekleştirilmiştir. Deneyler iki farklı kesme hızında (100 m/dak-130 m/dak), iki farklı ilerleme hızında (0,08 mm/dev-0,1 mm/dev) ve sabit kesme derinliğinde (0,7 mm) gerçekleştirilmiştir. Nanoakışkanlar, sentetik yağa SiO<sub>2</sub> nano partiküllerin eklenmesiyle hazırlandı. İşlenebilirliği değerlendirmek için yüzey pürüzlülüğü (Ra), kesme sıcaklığı (Tc), takım aşınması (Vb) ve güç tüketimi değerleri ele alınmıştır. Tüm parametreler değerlendirildiğinde işleme performansına etki eden en iyi soğutma yağlama koşulu, ağırlıkça %0,2 oranında SiO<sub>2</sub> içeren nanopartikül katkılı nanoakışkan olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** İşlenebilirlik, minimum miktarda yağlama (MMY), nanopartikül, frezeleme, CPOH, soğuk iş takım çeliği, çözünebilen SiO<sub>2</sub>.

# INVESTIGATION OF MACHINABILITY PROPERTIES OF SOLUBLE SiO<sub>2</sub> DOPED NANOFLUIDS IN MILLING COLD WORK TOOL STEELS

## ABSTRACT

In this study, the effects of innovative and sustainable cooling-lubrication methods on machining parameters during the milling of CPOH cold work tool steel were investigated. Experiments were conducted on a CNC milling machine using an Al-TiN coated milling tool. The experiments were performed at two different cutting speeds (100 m/min and 130 m/min), two different feed rates (0,08 mm/rev and 0,1 mm/rev), and a constant depth of cut (0,7 mm). Nanofluids were prepared by adding SiO<sub>2</sub> nanoparticles to synthetic oil. Machinability was evaluated by considering surface roughness (Ra), cutting temperature (Tc), tool wear (Vb), and power consumption values. Among all the parameters evaluated, the best cooling-lubrication condition affecting machining performance was found to be the nanofluid containing 0.2 wt.% of SiO<sub>2</sub> nanoparticles.

**Keywords:** Machinability, minimum quantity lubrication (MQL), nanoparticle, milling, CPOH, cold tool work steel, soluble SiO<sub>2</sub>.

## 1. GİRİŞ

Sanayi devriminden sonra yaşanan teknolojik gelişmeler birçok sektörde olduğu gibi imalat sektöründe de köklü değişiklikler meydana getirmiştir. Bu değişimin sonucu olarak kesici takımların farklılaşması ve kontrol ünitelerinin gelişmesi neticesinde frezeleme giderek popüler hale gelmiştir. Frezeleme yalnız uygulama türleri açısından değil takım, tezgâh ve imal edilen parçaya göre de farklılık göstermektedir. Kullanılacak takım ve işleme türü, üretilecek olan malzeme ve malzeme grubuna göre belirlenir. Frezeleme işleminde daha verimli sonuçlar elde edebilmek ve kısa sürede çözüme ulaşabilmek için yapılacak olan imalatın ayrıntılı olarak değerlendirilmesi ve işlem için geleneksel yöntemler yerine modern yöntemlerin kullanılması gerekmektedir [1].

Bir parçanın imalatı için tezgah seçimi önemlidir. İmalatı yapılacak ürüne göre sayısal denetimli tezgâh, yatay, dikey, universal ya da işleme merkezi tezgâh türlerinden biri tercih edilebilir. Yapılacak olan imalatı ve tezgâh kapasitesini değerlendirirken yüzey kalitesi, tolerans ve rijitlik, göz önünde bulundurulması gereken önemli etkenlerdir [1].

Talaş kaldırma proseslerinden frezeleme, tornalama, taşlama, delme gibi işlemlerde takım ve iş parçasının etkileşiminden ötürü oluşan sürtünme neticesinde kesme bölgesinde doğal olarak ısı oluşmaktadır. Kesme bölgesinde meydana gelen ve çeşitli yöntemlerle kontrol altına alınmaya çalışılan bu yüksek ısı, başta kesici takımın ömrü olmak üzere yüzey kalitesi ve iş parçasının geometrisi üzerinde telafisi mümkün olmayan hasarlara sebep olabilmektedir. Bu olumsuzlukların ortadan kaldırılması adına uygulanan en bilindik yöntem kesme sıvısı kullanımudur. Kesme sıvısı esasen kesme bölgesinde oluşan ıyı absorbe etmek, takım ve talaş ara yüzüne nüfuz edip ince bir film tabakası oluşturarak yağlama vazifesi yapmak, sürtünmeyi azaltarak takım ömrünü uzatmak ve talaşı bu bölgeden uzaklaştırarak işlenebilirliği arttırmak, yüksek kesme hızı ve yüksek kesme sıcaklıklarında takım ve iş parçasını soğutmak, düşük kesme hızlarında ise yağlama görevi yaparak aşınma ve yapışma miktarını en aza indirmek gibi görevleri vardır [33,67,86]. Fakat çevre ve insan sağlığına zarar vermesi, imalat sonrası bölgeden uzaklaştırma maliyetinin fazla olması, biyolojik açıdan parçalanmasının zor olması gibi

olumsuz yönleri olmasına rağmen doğal kaynakların yok olma tehlikesi ile karşılaştığımız günümüz şartlarında sürdürülebilir imalat yöntemlerinin kullanılması büyük önem taşımaktadır [49]. Üretilen ürünün kalitesinden taviz vermeden çevre ve insan faktörlerini göz önüne alarak sürdürülebilir ve çevre dostu soğutma yağlama yöntemlerinin kullanımı artık kaçınılmazdır [33].

Soğutma yağlama sıvısı kullanımının bu denli önem arz ettiği talaşlı imalat yöntemlerinde sürdürülebilir imalat anlayışı geleneksel yöntemlerin kullanımını kısıtlar hale gelmiştir. Bu amaçla kullanılan imalat yöntemlerinden kuru işleme, minimum miktarda yağlama, nano partikül ilaveli kesme sıvısı kullanımı, geleneksel yöntemlere alternatif olmuştur. Üretim maliyetlerini düşürmesi ve çevre dostu olmasından ötürü kuru işleme en uygun yöntem olarak değerlendirilse de ağır imalat koşullarında pek verimli olmadığı için alternatif yöntemlere başvurulmuştur [33]. Maliyet, doğaya saygılı oluşu ve işleme performansı gibi nedenler değerlendirildiğinde minimum miktarda yağlama (MMY) metodu alternatif kesme sıvısı uygulama yöntemleri içinde verimliliği en yüksek yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır [67]. Bu yöntemde kompresör tarafından beslenen bir sistemde basınçlı hava ve imalata uygun tercih edilmiş kesme sıvısı kesme bölgesine en az miktarda (20 ml/saat) sis buharı şeklinde gönderilir [24].

Minimum miktarda yağlama yönteminin diğer bir adı ise yarı kuru işleme yöntemidir ve son zamanlarda endüstriyel uygulamalarda avantajlarından ötürü sık kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Minimum miktarda yağlama yöntemi çok fazla kesme sıvısı kullanılan ıslak kesme yöntemine göre, operatör sağlığı yönünden değerlendirildiğinde olumsuzlukları en aza indiren, doğada çözünebilen yağ kullanan, zehirli maddeler ihtiva etmeyen, kesme kuvvetlerini minimize eden, takım ömrüne pozitif etki eden ve yüzey kalitesini iyileştiren bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır [33].

Minimum miktarda yağlama yöntemi, geleneksel kesme sıvısı kullanımı ve kuru işleme yönteminin olumsuz yanlarını ortadan kaldırarak yenilikçi ve modern çözümler sunmakla beraber temel talaş kaldırma yöntemlerinden olan frezeleme, torna, taşlama ve delme gibi proseslerin tamamında en etkili yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır [88]. Bu yöntem her ne kadar kullanışlı bir yöntem olsa da gelişen teknoloji ile işlenmesi zor olan malzemelerin ortaya çıkması, aşırı ısı gibi olumsuzluklar nedeniyle, bu yöntemin

geliştirilmesi ihtiyacı hasıl olmuştur. Bu amaçla yapılan çalışmalar kesme sıvısına nano partikül eklenerek elde edilen nanoakışkanların ortaya çıkmasını sağlamıştır [33].

Kesme sıvılarına ilave edilen nanopartiküller ile elde edilen nanoakışkanlar sayesinde minimum miktarda yağlama yönteminin verimliliği arttırılmıştır. Tipik olarak 100 nm boyutundan küçük, metal ya da ametal olan nanopartikül veya nanoliflerin ağırlıkça ya da hacimce farklı oranlarda baz akışkana eklenmesiyle nanoakışkanlar oluşturulur [83].

Bu tez çalışmasında; alanında fazla çalışma yapılmayan CPOH soğuk iş takım çeliğinin frezelenme prosesinde sürdürülebilir, çevreci soğutma yağlama mekanizmalarının takım ve malzeme üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kuru işleme, MMY (saf sentetik yağ) ve ağırlıkça %0,1 ve ağırlıkça %0,2 oranında SiO<sub>2</sub> içeren nanoakışkanlar kullanılarak elde edilen sonuçların işleme performansı ve kesme koşullarını hangi oranda etkilediği incelenmiştir.

Çalışmada kesici takım olarak kaplamalı sementit karbür kesici takım kullanılmış, yüzey kalitesini belirlemek için profilometre kullanılmıştır. İşlenebilirlik çıktı parametreleri ise yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığı, güç tüketimi ve takım aşınması olarak belirlenmiştir. Kesme bölgesinde takım ve iş parçası arasındaki oluşan sıcaklıkları ölçmek amacıyla kızılötesi termal kamera kullanılmıştır. Takım aşınma miktarının tespiti amacıyla dijital mikroskop kullanılmıştır.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Şirin [33] işlenebilirlik konusunda yapmış olduğu çalışmasında nikel esaslı Inconel X-750 süper alaşımının modern ve devam ettirilebilir yağlama ve soğutma proseslerinin işleme kabiliyeti üzerine tesirlerini incelemiştir. Yaptığı deneylerde sementit kaplamalı karbür malzemeler kullanarak CNC tornada çalışmalar yapmıştır. Bu doğrultuda grafit nano partiküller ve birtakım malzemeleri hacim olarak çeşitli oranlarda bitkisel bazlı yağlara ilave ederek nano partiküller hazırlamıştır. Kesme işlemini hem çeşitli nano partiküller hem de kuru ve minimum yağlama yöntemlerini kullanıp işlenebilirlik özelliklerini incelemiştir.

Korkmaz [2] çalışmasında Nimonic 80A süper alaşım malzemesini literatüre kazandırmak amacıyla malzeme yapısal denklem parametrelerinin belirlenmesi için birkaç aşamadan oluşan analizler yapmıştır. Bu amaçla sonlu elemanlar yöntemi ile malzeme modellemesini yaparak sabit oda sıcaklığında üç farklı gerinim hızlarında statik ve dinamik analizler yaparak malzemenin modellenmesi yapılmıştır. Malzeme tornada işlenerek sonlu elemanlar metoduna dayalı analiz programına aktarılıp tornalama deneyleri ile simülasyon sonuçları kıyaslanmış ve aralarındaki fark ortaya çıkarılmıştır.

Çalışkan [3] CPOH soğuk iş takım çeliği ile ilgili yapmış olduğu çalışmasında derin ve sığ kriyojenik işleme tabi tuttuğu takım iş çeliğinin mikro yapısını inceleyerek mekanik özelliklerinde görülen farklılıkları saptamıştır. Bu amaçla eldeki numuneleri farklı sıcaklıklara soğutup bekleterek mekanik özelliklerini incelemiş ve uygulanan kriyojenik işlemlerin malzemenin mekanik özelliklerine olumlu bir şekilde yansıdığını belirtmiştir.

Özcan [4] kalıpcılık sektöründe sorun olan aşınma ve yüzey kalitesi ile ilgili yaptığı çalışmasında üç farklı soğuk iş çeliği kullanarak 10000 adet ürün üretilmiş ve bu üretimlerden dört farklı numune alarak birinci, bininci, beş bininci ve son numuneyi inceleyerek yapılan mukayesede yüzey kalitesi ve kalıp aşınması konusunda en iyi sonucu CPOH malzemesinin verdiği sonucuna varmıştır.

Kıvak [5] takım aşınması ve ömrü ile ilgili yaptığı çalışmasında Ti-6Al-4V titanyum malzemesinin delinmesinde kesme değerleri ve takımlara uygulanan proseslerin delik çapı, moment, dairesellik, kesme kuvvetleri ve aşınma gibi takımın ömrü üzerinde olumsuz etki eden parametreleri analiz etmek adına malzemelere kriyojenik işlem, kaplama, kaplamasız ve kriyojenik işlem ardından temperleme işlemi yaparak farklı deney grupları oluşturarak birbirleri arasında kıyaslama yaparak en iyi kaliteye ulaşmayı amaçlamıştır.

Korkmaz [6] sertleştirilmiş DIN 1.2210 soğuk iş takım çeliği malzemesi üzerinde sert tornalama yöntemiyle işleme deneyleri yapmıştır. Taguchi yöntemi deney tasarımıyla gerçekleştirilen deneyler neticesinde kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği ve kesici uç yarıçapının kesici takımda meydana gelen gerilmeler ve kesme kuvveti üzerindeki etkilerini araştırmıştır.

Ali ve arkadaşları [7] çalışmalarında, Inconel 718 çeliğini tornada talaşlı işleme tabi tutarak soğutma-yağlama sistemi ile farklı oranlarda  $Al_2O_3$  nanopartikül ilaveli nanoakışkan ile minimum miktarda yağlama metodunu kullanmışlardır. Kesme parametresi değerlerinden kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğini tercih ederek kalitenin bir göstergesi olarak yüzey pürüzlülüğünü baz almışlardır. Tasarım olarak Taguchi  $L_9$  yöntemini kullanmışlar ve yapılan deneyleri yorumlamak amacı ile S/N oranı ve ANOVA sistemini kullanmışlardır. Deneysel verilerin analizini yapan araştırmacılar, içinde  $Al_2O_3$  nanopartikülü bulunan nanoakışkan kullanımının, minimum miktarda yağlama yöntemi ile uygulanmasında kuru işlemeye göre yüzeyde meydana gelen pürüzlülüğünü azalttığı ve geleneksel yöntemlerin çevreye verdiği zararı en aza indirdiği için yararlı olacağını tespit etmişlerdir.

Çetin [8] 15-5 PH paslanmaz çelik malzemesinin talaşlı imalat işlemi sonucundaki değerlerin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti gibi değerler üzerindeki tesirini öğrenmek ve en uygun işleme koşullarını belirlemek adına Taguchi yöntemiyle deneysel tasarım yapıp karbür kaplı takımlarla kuru kesme yapılarak sonuçlar irdelenmiştir. Deneysel sonuçlara göre kesme kuvvetine etki eden en önemli etkenin kesme derinliği parametresi olduğu anlaşılmış olup, yüzey pürüzlülüğü üzerinde ise etkili değerler ilerleme hızı olduğu anlaşılmıştır.

Öndin [9] işlenebilirlik ile ilgili yaptığı çalışmasında PH13-8 Mo paslanmaz çelik malzemesinin tornalanmasında en ideal işleme şartlarını tespit etmek istemiştir. Bu amaçla PH13-8 Mo çeliğinin farklı işleme koşulları altında kesme parametrelerinin kesme sıcaklığı ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmıştır.

Çelik ve Kıvak [10] MMY yönteminde kullanılan farklı yağlama sıvılarının yüzey kalitesine etkilerini incelemişler ve 17-4 PH malzemesini kaplamalı sementit karbür kesici uç takımı vasıtası ile talaşlı işleme tabi tutmuşlardır. Üç farklı kesme sıvısı (mineral esaslı, yapay ve bitkisel türevli) kullanılarak üç farklı debide, farklı kesme hızlarında deneyler gerçekleştirmişlerdir. Kesme hızlarının yüzey kalitesi üzerindeki etkisini öğrenmek için de Varyans analizini yapmışlardır. Analizlerden ortaya çıkan sonuçlarda, yüzey pürüzlülüğüne etki eden en etkili değer kesme sıvısı cinsi olduğunu belirtmişlerdir.

Uysal [11] paslanmaz çelik malzemelerinin ısıl iletkenliğinin düşük olması, diğer kimyasal maddelerle etkileşime girmek istememeleri, pekleşmeye yatkın olmaları ve muhteviyatındaki krom miktarının fazla olmasından ötürü talaşlı imalatlarının zor olduğunu ifade etmiştir. Bu çalışmada AISI 430 ferritik paslanmaz çelik malzemesinin talaşlı imalatında, standart işleme ve minimum miktarda yağlama kesme şartlarında kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklıkları analiz etmiştir. Minimum miktarda yağlama yönteminde bitkisel kaynaklı kesme sıvısına ağırlıkça %0,1 ile %0,2 arasında değişen üç farklı oranda karbon nanotüp ilave ederek karışım miktarının ve birim zamandaki akışın işleme üzerindeki etkisini analiz etmiştir. Deney sonuçlarına göre, karbon nanotüple yapılan kesme işleminde kesme sıcaklığının azaldığını gözlemlemiştir. Fakat karbon nanotüp konsantrasyonu arttırılınca kesme sıcaklığında bir miktar artış tespit etmiştir. Ayrıca debinin artışıyla kesme sıcaklıklarının düşmeye başladığını ifade etmiştir.

Demiren [12] takım kalitesi ile ilgili yapmış olduğu çalışmasında paslanmaz çelik malzemesinin işlenebilirliğini arttırmak amacıyla klasik soğutma işlemi yerine MQL yönteminde farklı nanoakışkan türleri kullanıp kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla CNC işleme merkezinde işleyerek elde ettiği sonuçları karşılaştırmıştır.

Uysal [13] yapmış olduğu çalışmada AISI 430 paslanmaz çelik malzemesini frezeleme işlemine tabi tutmuştur. Kaplamalı kesici takımların ve nano akışkan ilaveli kesme akışkanının sürdürülebilir imalat yöntemlerine tesirini araştırmıştır. Kesici takım tercihinde kaplama olmayan tungsten karbür ve TiN kaplama kullanmıştır. Nanoakışkan olarak molibden disülfür katkılı bitkisel esaslı yağ kullanmıştır. Farklı oranlarda nanoakışkanlar kullanarak ve minimum miktarda yağlama ve kuru işleme koşullarında sonuçları incelemiştir. Deney sonuçlarına göre, nano akışkan ilaveli kesme sıvısının işleme kabiliyetini önemli ölçüde iyileştirdiğini belirlemiştir.

Altın [14] çalışmasında, Inconel 718'in işlenmesinde kesme parametrelerinin seramik ve karbür kesici takımlar için kesme kuvveti, takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmıştır. CVD kaplamalı sementit karbür, whisker takviyeli alüminyum oksit esaslı seramik, silikon nitrit esaslı seramik ve kaplamasız tungsten karbür kullanılarak bir soğutma sıvısı vasıtasıyla tornalama işlemi yapmıştır. Takım üzerindeki aşınmalar ve yüzey pürüzlülükleri ölçülmüş ve en iyi sonuçlara kaplamasız karbür uç ile ulaşmıştır.

Sharma ve arkadaşları [15] AISI 1040 çelik malzemesinin yüzey pürüzlülüğü, talaş morfolojisi ve takım aşınmasını incelemek amacıyla kuru, ıslak, MQL ve nanopartikül ilaveli MQL ile analizini yapmışlardır. Geleneksel kesme sıvısının içine hacimsel olarak %1 oranında 45 nm boyutlarında  $Al_2O_3$  takviyesi yapılmışlardır. MQL ile gerçekleştirilen tüm deneyde havanın basınç oranını 4 bar, nozul açısını ise  $30^\circ$  ve birim zamandaki akış miktarını ise 50 ml/saat sabit debide ayarlamışlardır. Yapılan analizler gösteriyor ki nanopartikül ilave edilerek geleneksel kesme sıvısının diğer tüm kesme şartlarına nazaran talaş morfolojisi, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmesi açısından kayda değer bir iyileşme olduğunu tespit etmişlerdir.

Hüseyinoğlu ve Tosun [16] araştırmalarında, Minimum Miktarla Yağlama yöntemi kullanılarak AA7075-T6 alüminyum alaşımının frezelenme prosesinde işleme değerlerinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini olarak incelemiştir. Farklı kesici takımlar, kesme hızları ve ilerleme hızlarında değerlendirdiği çalışmalarında, ilerleme hızının artmasıyla beraber yüzeydeki pürüzlülük oranının arttığını, ancak kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünde azalma meydana geldiğini belirlemiştir. Bununla

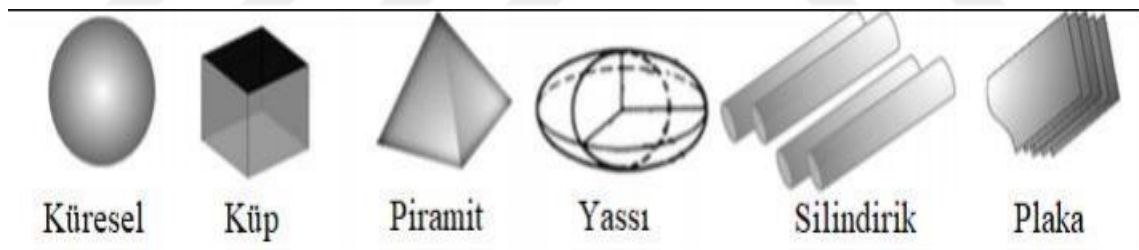
beraber karbür takımlar kullanılarak yapılan çalışmalarda, TiN kaplamalı kesici uçlar ve HSS kesme uçlarına nazaran daha iyi yüzey pürüzlülüğü değerleri ortaya çıktığını gözlemlemişlerdir.



### 3. NANOPARTİKÜLLER VE NANOAKIŞKANLAR

#### 3.1. Nanopartikül

Nanopartiküller kimyasal yöntemlerle üretilbildiği gibi doğada saf halde de bulunmaktadır. Nanopartiküller metal olabildiği gibi; Au, Ni, Cu, Al, Ag, oksitlerden de; Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, CuO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> olabilir. Nanopartiküllerin özellikleri aynı malzemenin büyük ve küçük boyutlarına göre bile farklılık göstermektedir. Boyutu küçülen nanopartikülün yüzey alanı hacim oranı gittikçe artar ve malzemenin performansını belirlemede yüzey atomları belirleyici rol oynar. Bu sayede nanopartiküllerin küçük boyutlu olması malzemeye fiziksel, kimyasal elektriksel ve mekanik anlamda farklı özellikler kazandırır. Fakat kazanmış olduğu bu özellikler tek başına bir anlam ifade etmediği için, bir baz akışkanla beraber kullanıldığında daha verimli olmaktadır [19].



Şekil 3.1. Farklı nanopartiküllere ait geometrik şekiller

#### 3.2. Nanoakışkanlar

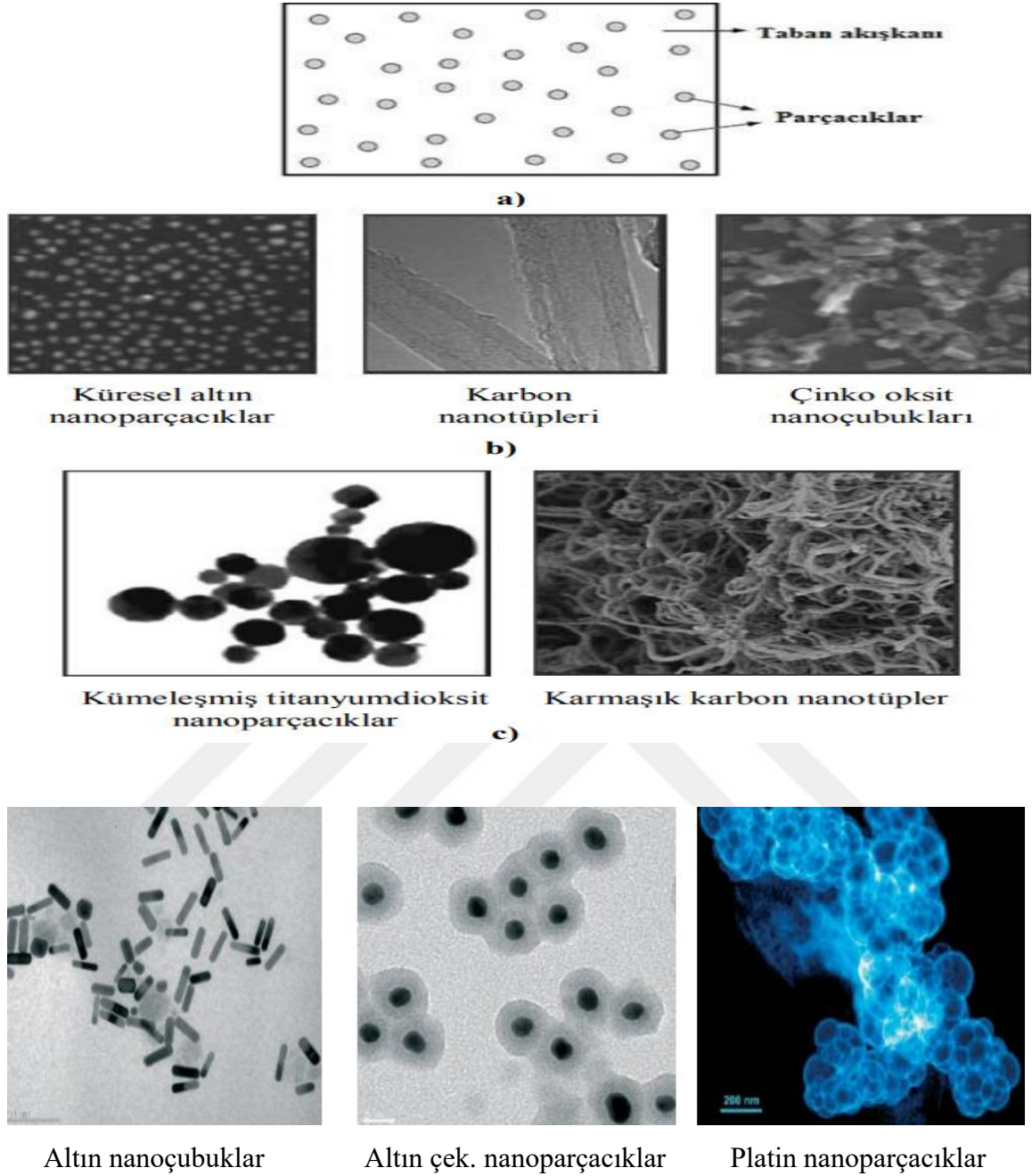
Nanoakışkanlar 1-100 nm mertebesindeki nanopartikül olarak ifade edilen maddeler ile baz akışkanların bir araya gelmesi ile oluşan, hacimsel olarak %5'den az olan kolloidal çözeltilerdir [19].

Kolloidal çözelti maddenin  $10^{-5} - 10^{-7}$  cm boyutlarında kendisine göre çözücü olmayan (içine girdiği sıvı içinde çözünmeyen ve asılı kalan) bir bölgede dağılması ile meydana gelen çözeltilere denir. İki fazdan ibarettir; dağılan faz ve dağılma fazı. Dağılma

fazı homojen bir ortamı ifade etmektedir ve katı, sıvı, gaz olarak bulunabilir. Diğer yandan dağılan tanecikler mikroskobik ortamda tespit edilebilirler. Mikroskobik düzeydeki bu taneciklere kolloid denilmektedir. Tanecik büyüklüğüne göre diğer çözeltilerden ayrılırlar. Tanecik boyutu  $10^{-5}$  cm 'den büyükse eğer süspansiyon,  $10^{-7}$  cm boyutundan küçük olduğunda ise ismi gerçek çözelti adını alır. Su-şeker çözeltisi gerçek çözeltiye, çamur ise süspansiyona örnek verilebilir [19].

Nanoakışkan fikrinin temelinde ısı transferini iyileştirme fikri yatmaktadır. Metal ve ametallerin ısı iletim katsayıları sıvılara nazaran biraz daha yüksektir. Bu nedenle ısı transferi çalışmalarında metal ve ametal karışımları sıvıların yerini alır hale geldi. Ama bu yöntemde belli süre sonra çökme sorununun meydana gelmesi ısı transferinin olumsuz yönde etkilenmesine neden olmaktadır [21].

Nanoakışkanlar içinde bulunan parçacıkların oranına ve özelliğine göre opak, yarı şeffaf ya da şeffaf olabilmektedir. Nanoakışkanlar daha kararlı hale gelebilmek için belli oranda seyreltici ve yüzey katkı maddesi içerebilirler [22].



Şekil 3.2. Nanoparçacık türleri [22]

### 3.3. Nanoakışkan Tipleri

Nanoakışkanlar parçacıkların şekline göre sınıflandırılırsa dört kısma ayrılırlar. Karbon tabanlı nanoakışkanlar (Elmas, Karbon Nano Tüp, Grafit), saf metalik nanoakışkanlar (Fe, Ag, Ni, Au, Cu), seramik nanoakışkanlar ( $Al_2O_3$ , CuO,  $SiO_2$ , SiC,  $TiO_2$ ) ve alaşım

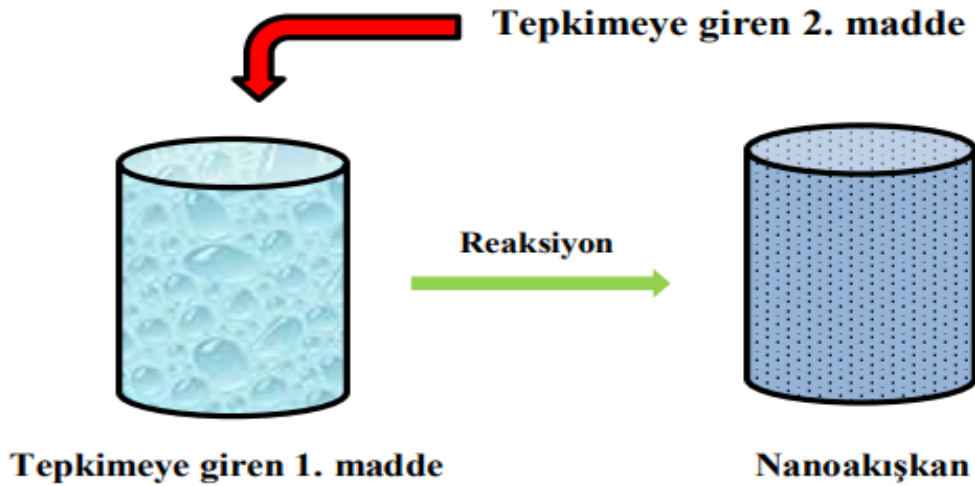
(Ag-Al, Ag-Cu, Al-Cu) nanoakışkanlardır [22]. Şekil 3.2’de farklı nanopartikül türleri görülmektedir.

### 3.4. Nanoakışkanların Üretim Yöntemleri

Nanoakışkanlar tek adım yöntemi ve iki adım yöntemlerine göre üretilmektedirler.

#### 3.4.1. Tek Adım Yöntemi

Tek adım yönteminde nanoakışkanlar tek aşamalı bir işlemle elde edilirler. Nanopartiküller bu işlem sırasında hem oluşur, aynı zamanda da taban sıvısının içinde dağılırlar [20]. Bu üretim yönteminde nanoparçacıkların dağıtılması, taşıma, kurutma, depolama proseleri olmadığı için hem nanoparçacıkların birleşerek topaklanması önlenmiş olur hem de bu sayede akışkanın stabilitesi, yani kararlılığı artar [22]. Şekil 3.3’de tek adım üretim yönteminin aşamaları gösterilmektedir.

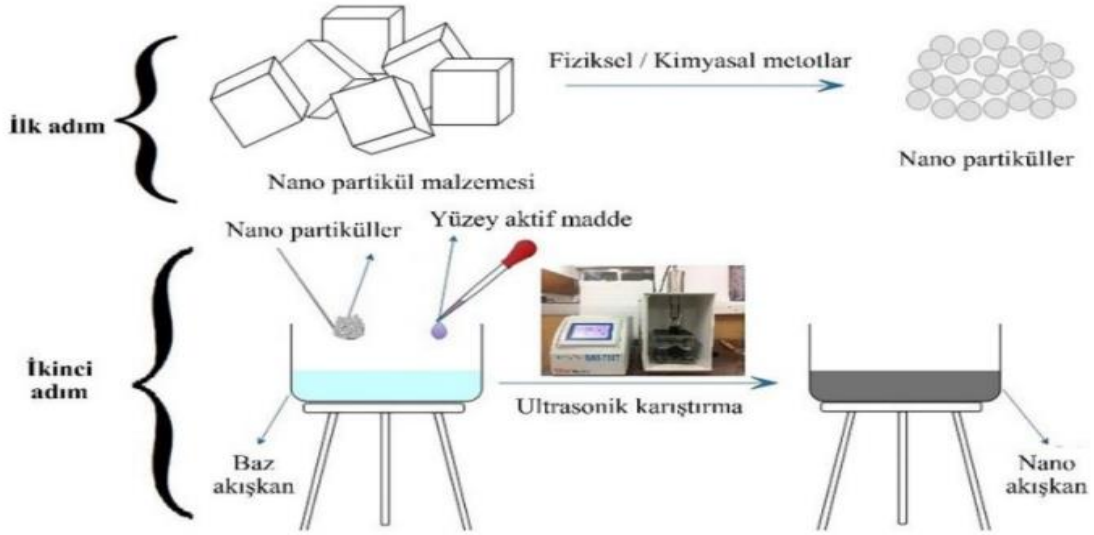


Şekil 3.3. Tek adımlı üretim yöntemi [22]

#### 3.4.2. İki Adım Yöntemi

Nanoakışkan üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. İlk aşamada nanopartiküller çeşitli fiziksel ve kimyasal proselerle üretilir ve ikinci aşama ise üretilen bu nanopartiküllerin baz akışkana eklenmesinden ibarettir. Tek aşamalı yöntemle göre daha

ekonomik bir yöntemdir fakat nanoparçacıkların akışkan içindeki stabilitesi tek adım yöntemine göre daha zayıftır [19]. Şekil 3.4'te iki adım üretim yönteminin aşamaları gösterilmektedir.



Şekil 3.4. İki adımlı üretim yöntemi [23]

### 3.5. Baz Akışkan

Nanopartikülü içinde bulduran akışkana taşıyıcı ya da baz akışkan denilmektedir. Baz akışkanların su, glikol, mineral yağ, etilen gibi birçok çeşidi bulunmakta ve kimyasal reaksiyonlar, ısıtma ve soğutma uygulamaları, elektronik gibi birçok proseste etkin olarak kullanılmaktadır. Uygulamanın amacına uygun olarak nanoparçacıklar taşıyıcı akışkanın içinde ya askıda bekler ya da taşınır.

### 3.6. Nanoakışkanlar Yardımıyla İşlenebilirliğin İyileştirilmesi

İşlenebilirliğin iyileştirilmesi konusunda birçok çalışma yapılmakta olup, bunlardan en çok tercih edilen yöntem nanoakışkan kullanılarak üretim yöntemidir. Çünkü talaş kaldırma işlemlerinde bilindiği gibi yüksek bir enerji gereksinimine ihtiyaç duyulur bu da doğal olarak çok yüksek sıcaklıkların ortaya çıkmasına ve aşınmaya sebebiyet verir. Kesici takım, çalışılan parça ve talaş ara yüzeyleri en çok ısı açığa çıkan bölgelerdir [17]. Doğal olarak bu bölgelerde oluşan ısıyı ve sürtünmeyi belirli bir seviyede tutmak talaşlı

imalat yöntemleri için büyük bir öneme sahiptir. Konunun önemine binaen uygulamada en çok kullanılan yöntem kesme sıvısı kullanılarak soğutma yöntemidir [18]. Kesme sıvısına ilave edilen nanoakışkanlar birçok alanda kullanılmakta olup takım ömrü ve talaş kaldırma kabiliyetini iyileştirmesi açısından kayda değer bir yere sahiptir. Talaş kaldırma işlemlerinde nanopartikül ilaveli kesme sıvısı kullanılmasıyla daha kaliteli yüzeyler, takım ömürlerinde kayda değer artışlar sağlanmaktadır. Buna ek olarak nanopartikül ilaveli kesme sıvıları ortaya çıkan talaşı bertaraf etme ve talaş kırma vazifesini de yerine getirmiş olurlar [16].



## 4. İŞLENEBİLİRLİK VE TALAŞ KALDIRMA

### 4.1. İşlenebilirlik

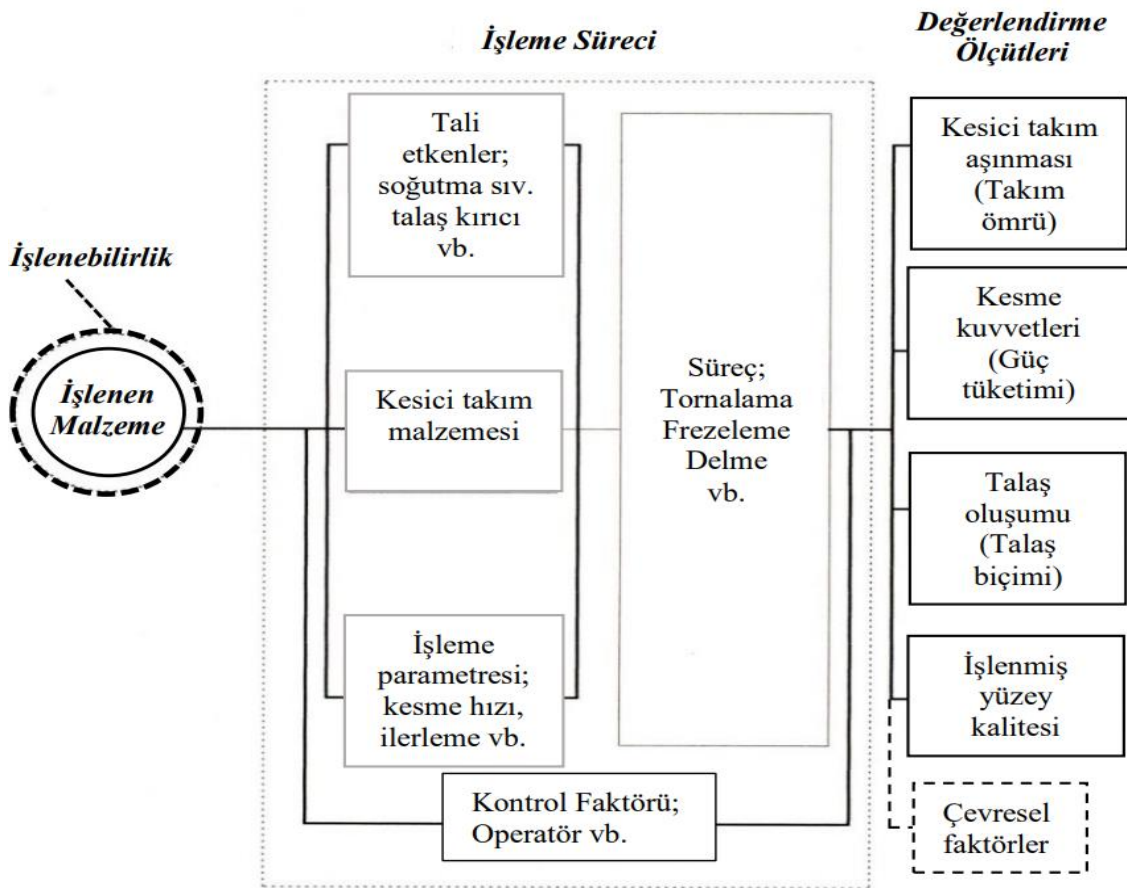
İşlenebilirlik çözülmesi gereken bir talaşlı imalat sorunu olarak karşımıza çıkmakta ve bu konuda birçok çalışma yapılmaktadır. İşlenebilirlik kesici takımın iş parçasını kesebilme ve iş parçasının da kesilebilme kabiliyeti olarak ifade edilebilir. Bir talaşlı imalat prosesinde işlenebilirliğin kendine has özellikleri; yüzey kalitesi, kullanılan malzeme türü, takım aşınması ve kesme kuvvetleri olarak sayılabilir. İmalatı yapılacak olan iş parçasının sertliği, yüzey gerilmesi, iç yapısı, malzemenin sünekliği ve imalat aşamasında malzemeye uygulanan ısıl işlemler kesici takım ömrüne etki ettiğinden ötürü talaşlı imalat sürecine de direkt tesir etmektedir. İşlenebilirlik çalışmalarında optimize edilecek parametreler kesme hızı, yüzey kalitesi, talaş biçimi, takım ömrü, kesme kuvveti ve uygulama şekli olarak sıralanabilir [9]. Şekil 4.1’de işlenebilirliğe etki eden faktörler verilmiştir.



Şekil 4.1. İşlenebilirliğe etki eden faktörler

İşleme aşamasındaki değişkenlerin (malzeme, kesme hızı, soğutma sıvısı) işlenebilirliğin değerlendirme ölçütlerini etkilemesi, işlenecek olan malzemenin işlenebilirlik ölçüsünü değiştirdiği göstermez. Şekil 4.2’deki kontrol halkası kendine has bir işlenebilirlik

özelliğine haiz malzemenin talaş kaldırma işlemini değerlendirme ölçütlerinden bazılarını göz önünde tutarak optimizasyonunu yapmak için kullanılabilir. Böylelikle malzemeye ait olan işlenebilirliğin niteliğine göre en verimli kesme değerleri, takım malzemesi gibi değerler tercih edilip, kesme kuvvetleri ve takım aşınması en aza indirilerek daha iyi bir yüzey kalitesi elde edilebilir. Fakat işleme verilerindeki değişkenlerle elde edilen değerlendirme ölçütlerindeki düzelme, eldeki işlenen malzemenin işlenebilirliğinin de iyileştiğini göstermez. Çünkü işlenebilirliği değiştirmenin yolu işlenen malzemenin özelliklerini değiştirmekle mümkün olur. İşlenebilirliği malzemenin sertlik özelliği gibi düşünebiliriz. Mesela farklı sertlik ölçme metotları ile elde edilen farklı sertlik değerleri malzemenin sertliğinin değiştiğini ifade etmez. Fakat malzemenin sertliğine uygun bir yöntemle sertlik değerinin belirlenmesi lazımdır [25].



Şekil 4.2. Talaş kaldırma süreci ve işlenebilirlik [26]

Isıl iletkenlik, sertlik, pekleşme, süneklik ve malzemenin kimyasal içeriği işlenebilirliğe doğrudan tesir eden malzeme özellikleridir. Doğal olarak malzeme sertliği arttıkça kesici

takımda aşınmanın artmasıyla beraber takım ömrünün de kısılması kaçınılmaz olacaktır. Her ne kadar düşük sertliğe sahip olan malzeme iyi işlenebileceği düşünülse de sertliği az olan sünek malzemelerde yığma talaş (BUE) oluşumu meydana geldiğinden dolayı yüzey kalitesinin düşeceği ve takım ömrünün azalacağı kaçınılmaz bir gerçektir. Sünekliği düşük olan malzemeyle yapılan talaşlı imalatlar çoğunlukla iyi talaş meydana getirir. İş parçasının dayanımı arttığında özgül enerji, kesme kuvvetleri ve kesme sıcaklığını yükselteceğinden ötürü talaş kaldırma zor olacaktır. Ayrıca ısıl iletkenliğin yüksek olması oluşan ısının daha kolay bertaraf edilmesini sağlayacağı için işlenebilirlik açısından da faydalıdır [27].

## 4.2. Talaş Kaldırma

Talaşlı imalat şekil verilmek istenen iş parçasının daha önceden belirlenen konstrüksiyona ve tasarıma göre bu amaca uygun olarak üretilmiş konvansiyonel ya da CNC makinalarda gerçekleştirilir. Talaş kaldırma işlemi kesici takımın iş parçası üzerinde belirli kurallar eşliğinde plastik deformasyona maruz bırakma işlemidir [28].

Talaşlı imalat proseslerinde talaş kaldırma operasyonlarında mekanik, termofiziksel ve tribolojik unsurların yoğunluğu, bu imalat yönteminin kompleks bir yapıya sahip olması, uygulayıcılar ve araştırmacılar yönünden bu konuya hâkim olmayı zorlaştırır [35]. Fakat endüstrideki hızlı gelişmeler talaşlı imalat teknolojisinin de gelişmesini sağlamıştır [28]. Talaşlı imalat, endüstride kaba ya da hassas işleme proseslerinde istenilen hassasiyette seri üretime uygun başlıca bir üretim yöntemidir. Talaşsız imalat yöntemleri her ne kadar hızlı ve kolay olsa da yeterli hassasiyete sahip olamadıkları için, ikinci bir prosese ihtiyaç duyabilmektedir. Talaşlı imalat yöntemlerinde imalatı yapılacak ürünlerin tasarımına ve kullanım amacına göre frezeleme, vargel, taşlama, tornalama, delme ve planyalama gibi farkı üretim yöntemleri geliştirilmiştir [9].

### 4.2.1. Frezeleme

Kesicinin (freze çakısı) dönme hareketi yaptığı, iş parçasının ise öteleme hareketi yaparak talaş kaldırdığı işleme frezeleme denilmektedir [29]. Frezeleme takım etrafındaki dişler vasıtasıyla gerçekleşir. Her diş bir kesme ağzına sahip olduğu için freze takımı çok ağızlı

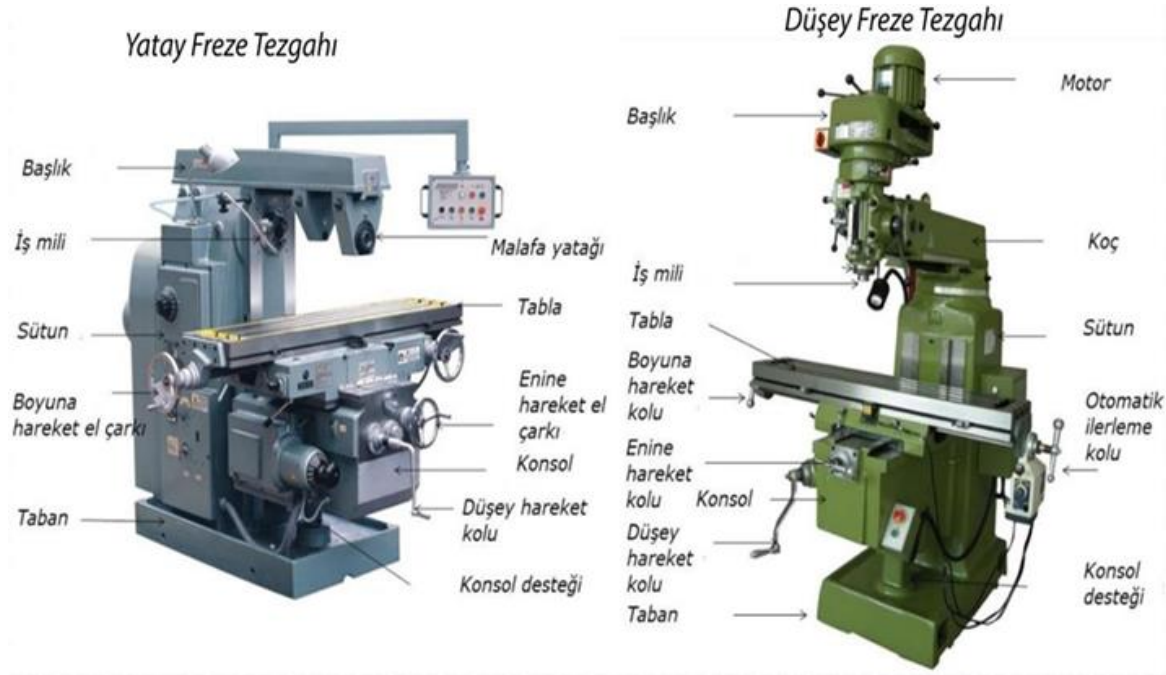
bir takımdır [30] ve kesici takım freze çakısı olarak da adlandırılabilir. Frezeleme yönteminde yüzey kalitesinin yüksek olması, yüksek işleme verimliliği bu imalat yönteminin avantajları arasında sayılabilir. Frezeleme prosesi genellikle kanal işleme, sivri uçlar ve düz yüzeylere uygulanan bir talaş alma işlemidir [31]. Freze ile talaş kaldırma yöntemini diğer uygulamalardan ayıran en önemli fark çok sayıda kesici ağızla talaş almasıdır. Bu özelliği doğal olarak frezeleme işleminin verimliliğini yükseltmektedir [32].

Gelişen teknolojiyle birlikte kesici takımların farklılaşması ve kontrol ünitelerinin gelişmesi neticesinde frezeleme giderek popüler hale gelmiştir. Son zamanlarda işleme merkezleri yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu tezgahlarda farklı takım gereksinimi vardır. Frezeleme yalnız uygulama türleri açısından değil, çok kullanılan takım, tezgâh ve imal edilen parçaya göre de farkları vardır. Kullanılacak takım ve işleme türü üretilecek olan malzeme ve malzemenin teknik resmine göre belirlenir. Frezeleme işleminde daha verimli sonuçlar elde edebilmek ve kısa sürede çözüme ulaşabilmek için yapılacak olan imalatın ayrıntılı olarak değerlendirilmesi ve işlem için geleneksel yöntemler yerine modern yöntemlerin kullanılması gerekmektedir [1].

Bir parçanın imalatı için proses hazırlanırken önemli parametrelerden biri tezgâh seçimidir. İmalatı yapılacak ürüne göre sayısal denetimli tezgâh, yatay, dikey, universal ya da işleme merkezi olarak belirlenebilir. Prosese göre hangi tezgâhın uygun olduğunu belirlemek önemli bir parametredir. Yapılacak olan imalatın ve tezgâh kapasitesini değerlendirirken yüzey kalitesi, tolerans ve rijitlik göz önünde bulundurulması gereken önemli etkenlerdir. Talaşlı imalatta her ne kadar modern tezgahlarla çalışsak da kaliteli ürün elde edebilmek ve takım ömrünü uzatabilmek için rijitlik konusuna dikkat edilmelidir, aksi takdirde istenilen performansta ürün elde edilemeyebilir [1].

Tornalama işleminde kesici takımın ağız (sürekli talaş) iş parçasıyla sürekli temas halinde kaldığı halde, frezeleme de ise kesici takımın dişleri kesikli olarak temas halinde kalır. Frezelemede kesici takımın dişleri sürekli talaş kaldırmadığından dolayı, her defasında talaş almaya başlarken sıfırdan başlayıp maksimum bir değer de sona erer. Kesici takımın hareketi her diş için uzatılmış bir sikloid eğrisinden başka bir şey değildir [29].

Freze tezgâhları bağlanan takımın iş miline olan konumuna göre isimlendirilirler [34]. Freze tezgâhlarında iş mili eksenini yere paralel ise böyle tezgâhlara yatay freze tezgâhi denilmektedir. Eğer iş mili eksenini yere dik ise düşey freze tezgâhları olarak adlandırılmaktadırlar [29]. Şekil 4.3'te yatay ve düşey freze tezgâhları gösterilmiştir.



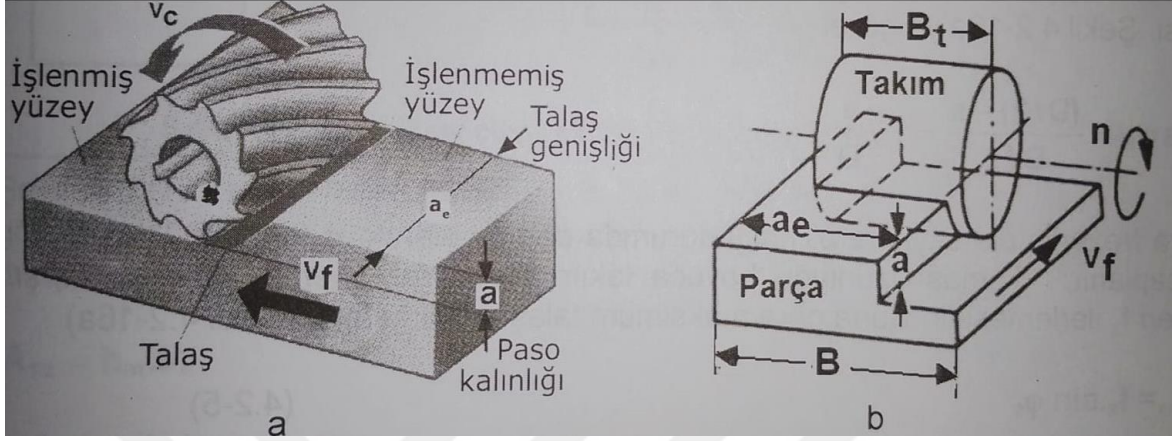
Şekil 4.3. Yatay ve düşey freze tezgâhları [38]

Talaş kaldırma yöntemleri arasında belki de en karışık yöntem frezeleme yöntemidir. Zira çok sayıda kesici uç talaş kaldırma işlemine aynı anda dahil olmakta ve takım çeşitliliği fazla olduğu için işlemin zorluğu artmaktadır. Genelde frezeleme işlemini sınıflandırırken kesici takım çeşitleri ve kesme yönü göz önünde bulundurularak sınıflandırma yapabilmek mümkündür. Frezeleme işlemini alın frezeleme ve çevresel frezeleme olarak iki ana başlık altında değerlendirebiliriz [31].

#### 4.2.1.1. Çevresel Frezeleme

Freze takımının etrafında bulunan kesici uçların eksenini etrafında dönmesiyle talaş kaldırdığı bu yönetime çevresel frezeleme denilmektedir. Çevresel frezelemede meydana gelen talaş türleri sürekli kesitli talaş ve kıvrık talaş tipidir. Çevresel frezelemede freze çakısı mile uzun malafa vasıtasıyla sabitlenmektedir. Bu frezeleme yönteminde kesici takımın dönme ekseniniyle iş parçasına ait kesilen yüzey paralel konumdadır. Kesici takım

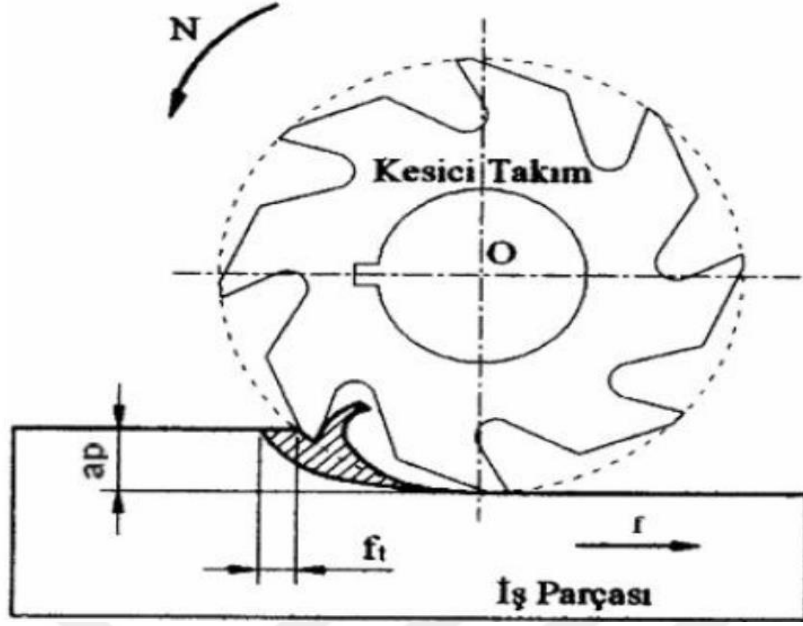
kendi etrafında dönerken iş parçası 3 farklı eksende hareket ettirilerek yüzeyden talaş alınır. Çevresel frezeleme işlemi zıt yönlü olabileceği gibi aynı yönlü olarak da gerçekleştirilebilir (Şekil 4.4) [31].



Şekil 4.4. Çevresel frezelemede talaş boyutu [30]

#### 4.2.1.1.1. Eş Yönlü Frezeleme

Eş yönlü frezeleme metodunda, iş parçasıyla freze çakısı aynı doğrultuda döner (Şekil 4.5). Freze çakısı her bir dişin kaldırabileceği nispette belirli bir oranda parçaya üstten dalarak çoktan aza doğru bir talaş alma işlemi yapar [32]. Yani eş yönlü frezelemede talaş kalınlığı dişin iş parçasına daldığı andan itibaren, dişin iş parçasını terk ettiği yani sıfır olduğu zamana değin sürekli azalır [30]. Talaş alma işleminde uçlar kavrama işlemini üstten yaptığından dolayı iş parçasına tablaya doğru bir baskı oluşturur. Bu iş parçasının yerinden çıkmaması için faydalıdır. Standart işlemede bir devirde ucun kaldıracağı talaş miktarı bellidir. Bu oran yüzeyde sıfır olana kadar en büyük değerden başlayarak yüzeye doğru iner [32]. Çakının iş parçasına daldığı esnada talaş kalınlığı en yüksektir ve virgül şeklinde çıkan talaşla beraber kesme kuvveti ve talaş kalınlığı da azalır. Aynı yönlü frezeleme yöntemi zıt yönlü frezeleme yöntemine nazaran daha avantajlı ve ekonomik bir yöntemdir [1].

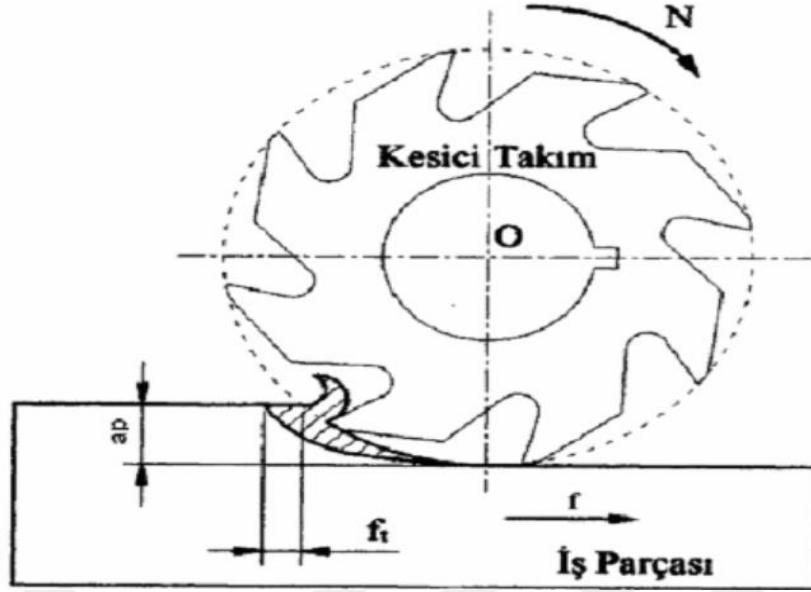


Şekil 4.5. Eş yönlü frezeleme [1]

#### 4.2.1.1.2. Zıt Yönlü Frezeleme

Bu frezeleme yöntemi adından da anlaşılacağı gibi freze çakısının kesme yönü ile iş parçasının ilerleme yönü birbirine zıt olan frezeleme yöntemidir (Şekil 4.6). Talaş oluşumundan önce kayar ve gezer ağız parça yüzeyinde kazıma yaparak talaş aldığından dolayı takımın ağız kısmında serbest yüzey aşınması şeklinde aşınma görülür. Freze çakısının iş parçasına temas ettiği yüzey üzerinde talaş kalınlığı artar, kesme kuvveti giderek etkisini artırır ve oluşan talaş virgül şeklinde olur. Bu yöntemi kaynaklı bölgelerin işlenmesinde ve aşındırıcı etkisi fazla olan malzemelerin imalatında kullanmak daha verimli sonuçların çıkmasını sağlayacaktır [36].

Zıt yönlü frezelemede çakı ile iş parçasının ilerlemesi zıt yönlü olduğu için freze çakısı iş parçasını yukarı yönde hareket ettirmeye çalışır. Talaş alma işlemi esnasında freze çakısında bir zorlanma meydana gelir ve bunun nedeni talaş kalınlığının parçanın üst yüzeyine doğru artmasından ötürüdür. Bundan ötürü iş milinde esneme meydana gelebilir ve dolayısı ile yüzeyde az da olsa dalgalanmalar olabilir. Yüzey kalitesini etkileyen bu durumu azaltmak için iş parçası emniyetli bir şekilde sabitlenmelidir [32].



Şekil 4.6. Zıt yönlü frezeleme [37]

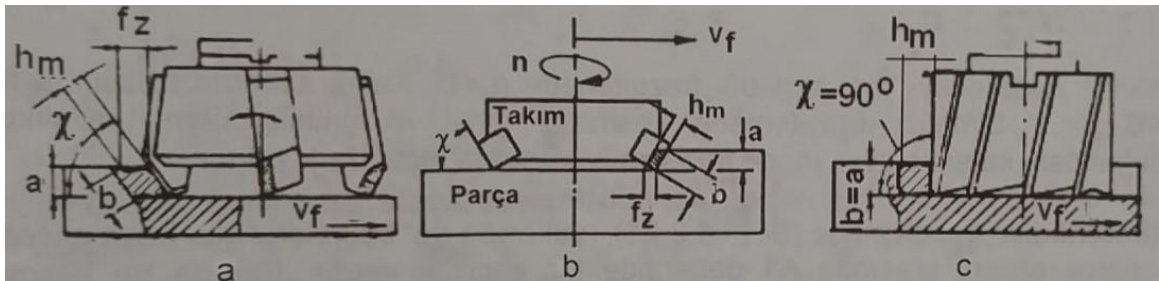
#### 4.2.1.1.2.1. Zıt Yönlü ve Eş Yönlü Frezelemenin Kıyaslanması

- Eş yönlü frezelemede talaş şekli kırıntı ve virgül şeklinde olurken, zıt yönlü frezelemede talaş virgül şeklinde çıkar [32].
- Yüzey pürüzlülüğü açısından da farklılık vardır. Eş yönlü frezelemede pürüzsüz bir yüzey görülürken, zıt yönlü frezelemede takım, iş parçasına temas ettiğinde zorlandığından dolayı esneme meydana gelir ve bu da yüzeyde dalgalanmalara sebebiyet verir.
- Eş yönlü işlemden önce çakı ilk temas anında büyük talaş koparır ve sona doğru azalarak devam ederken zıt yönlü frezelemede kalınlık sona doğru giderek artacak şekilde talaş koparır.
- Kesme kuvveti eş yönlüde talaş koparmaya başladığı ilk noktada en yüksek seviyede olurken, zıt yönlü frezelemede en küçük kesme kuvveti ile başlayıp artarak devam eder.

- Eş yönlü frezelemede dönen çakı iş parçasıyla aynı yönlü olduğu için iş parçasını sökmeye çalışmaz, fakat zıt yönlü frezelemede talaşı yukarı doğru kopartarak çıkardığı için iş parçasını yerinden zorlayabilir [32].
- Sert tabakası olmayan iş parçaları için eş yönlü kesme yöntemi daha iyidir. Buna karşın genellikle zıt yönlü frezeleme yöntemi kaba talaş almak için uygun iken, eş yönlü frezeleme ince talaş için uygundur. Lakin eş yönlü frezeleme metodunu tercih ederken tablanın ilerleme hareketini meydana getiren civata-somun mekanizmasının bu yöntemde uygun olup olmadığını kontrol etmemiz gerekir [30].
- Zıt yönlü frezeleme yönteminde, civata ile somun arasındaki temas, dişin iş parçasına girişinden çıkışına kadar aynı yöndedir, fakat eş yönlü frezeleme yönteminde civata ile somun arasındaki temas, dişin iş parçasına girişinde bir yönde, çıkışında ise zıt yöndedir [30].

#### 4.2.1.2. Alın Frezeleme

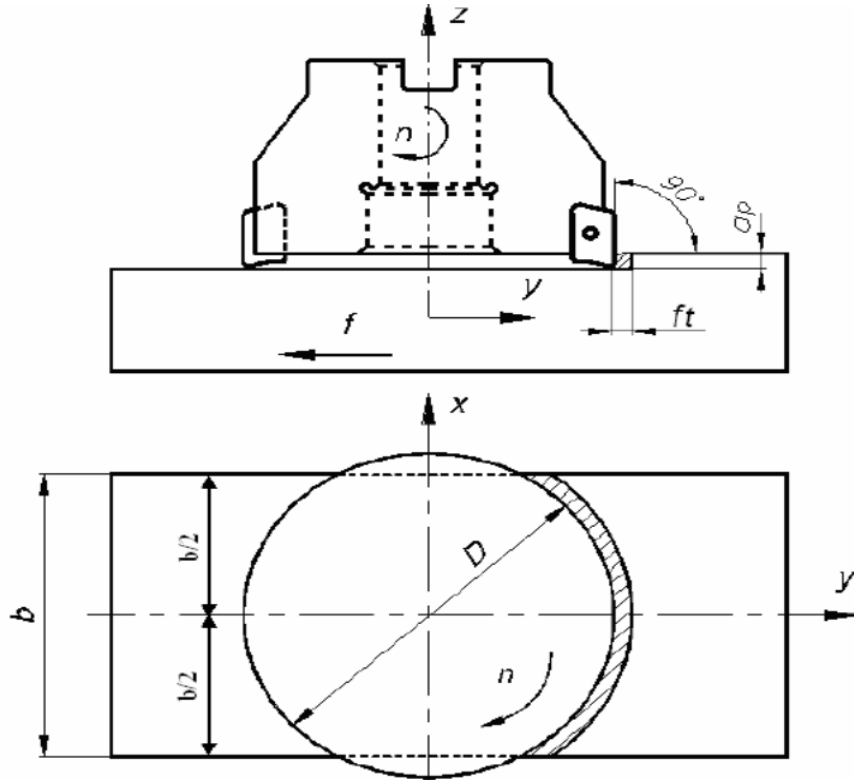
Alın frezeleme, freze çakısının çevresinde ve alın kısmında yer alan kesici ağızlar vasıtasıyla yapılan talaş alma işlemidir (Şekil 4.7). Uygulama alanına dik pozisyonda bulunan freze çakısı kesici ağızlar vasıtasıyla talaş koparıırken, alın kısmında bulunan ağızlar ince talaş alma işlemi yapar. Genellikle yüksek hız çeliğinden yekpare olarak imal edilen alın freze çakıları sinterleme yöntemi ile de üretilebilmektedir. Yüzeyden talaş alma işlemi simetrik ve asimetrik yöntemlerle olabilmektedir [1].



Şekil 4.7. Alın frezeleme [30]

#### 4.2.1.2.1. Simetrik Frezeleme

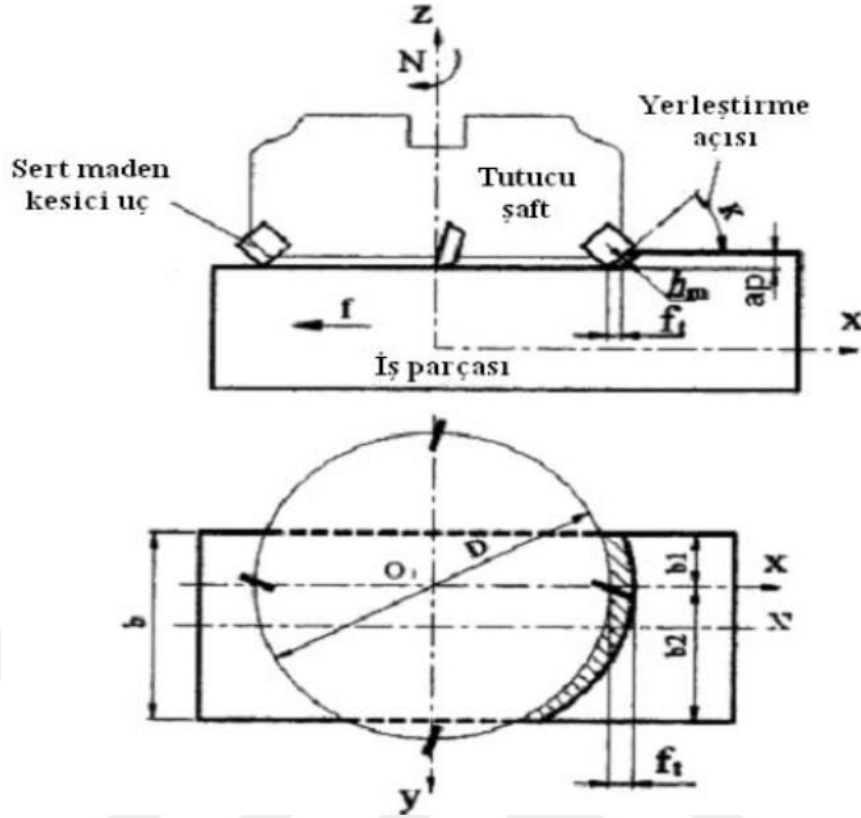
Simetrik frezeleme işlemi isminden de anlaşılacağı gibi iş parçasının dönme eksenini ile freze çakısının dönme eksenini aynı çizgi üstündedir. Kesici takım talaş kaldırma işlemi sırasında iş parçasının tam ortasından hareket etmelidir. Simetrik frezeleme ile talaş kaldırma işleminde çakının faydalı çapı iş parçasının talaş alınacak kısmının genişliğinden daha büyük olmalıdır (Şekil 4.8) [32].



Şekil 4.8. Simetrik frezeleme [37]

#### 4.2.1.2.2. Asimetrik Frezeleme

Bu yöntemde simetrik frezelemenin aksine iş parçası ile kesici takımın eksenleri birbiri ile çakışmamaktadır. Asimetrik frezelemede olduğu gibi simetrik frezelemede de freze çakısının çapı talaş kaldırılacak bölgenin çapından büyük olmalıdır (Şekil 4.9) [37].



Şekil 4.9. Asimetrik frezeleme [37]

### 4.3. Kesici Takımlar ve Malzemeleri

Bir iş parçasını şekillendirmek için önce tezgah ve takım seçimi yapılmalıdır. Tezgah iş parçasını şekillendirmek için, takıma ihtiyacı olan esnekliği sunar ve takım da iş parçasından talaş koparır. Takım tezgahı teknolojisi ne kadar ilerlerse ilerlesin kesici takım teknolojisi de bu doğrultuda ilerlemediği sürece imalatta köklü bir gelişme olması beklenemez. Bu bağlamda değerlendirdiğimizde üretim teknolojisinin bu denli hızlı ilerlemesi salt takım tezgahı sektöründeki gelişmelerin değil, takım dünyasındaki ilerlemelerin de etkisinin olduğu söylenebilir [30].

Talaş alma işlemi kabaca takımın parçaya fiziksel olarak temas etmesi ve cebir uygulayarak malzeme yüzeyinden talaş kaldırılması olarak ifade edilebilir. Talaş kaldırma prosesin de etkiyen kuvvetlerden ötürü kaldırılan parçalar önce elastik deformasyona sonra ise plastik deformasyona maruz kalarak yüzeyden koparlar. Haliyle takım ve iş

parçasının fiziksel etkileşiminden ötürü basınç ve darbeler meydana gelir ve ısı oluşur, sıcaklığın yükselmesiyle de takım aşınması dediğimiz durum ortaya çıkar [30].

Takım malzemelerinde olması gereken özellikler arasında sertlik ve tokluk ön plana çıkmaktadır. Takımın yapıldığı malzemenin sertlik değeri ile takımın aşınması arasında doğrudan bir bağlantı olduğunu söylemek mümkündür. Takım malzemesinin sertliği aşınma dayanımını önemli ölçüde pozitif yönde etkilemektedir. Tokluk, malzemenin darbe ve eğilme mukavemetini doğrudan belirler. Haliyle tok bir malzeme darbeye dayanıklı ve eğilme mukavemeti de oldukça yüksektir. Ele aldığımız bu durumları ve ekonomik etkenleri dikkate alarak bir değerlendirme yapacak olursak takımlarda olması gereken özellikleri şu şekilde sıralayabiliriz [30];

- Verimli işlenebilirlik ve ekonomiklik,
- Yüksek tokluğa sahip olmalı ve eğilme momenti yüksek olmalı,
- Talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan sıcaklıklara dayanabilmeli,
- Aşınma gücünün yüksek olması ve parçaya iyi nüfuz edebilmesi için sertliğinin yüksek olması ve basınç mukavemetinin iyi olması gerekmektedir.

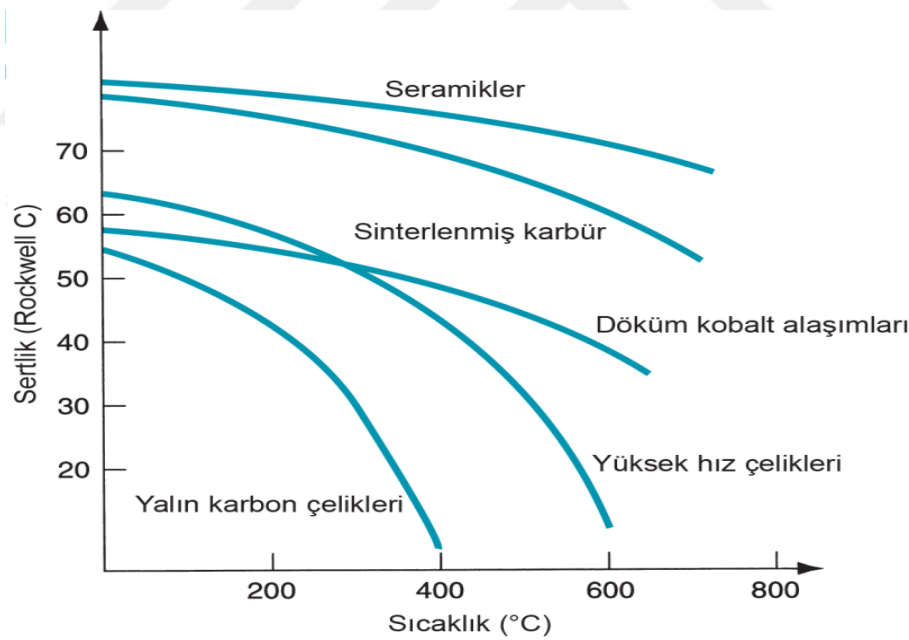
#### **4.3.1. Kesici Takım Malzemeleri**

Metallerin işlenebilirliği açısından önemli parametrelerden birisi de uygun malzeme ve takım seçimidir. Kullanılacak işe göre çok farklı kesici takım malzemesi bulunmaktadır. Talaşlı imalat proseslerinde kesici takımlar kaliteli ürün üretebilmek adına son derece önemlidir. Talaşlı imalatta kesici takım malzeme tercihi, uygun ölçülere sahip takım seçimi, işlenebilirlik verimi açısından önem arz etmektedir [38].

Kesici takım tercihi talaşlı imalatta en yüksek verimin elde edilmesi açısından büyük öneme sahiptir. Özellikle kesici takım tercihi ve geometrisi önem arz etmektedir. Fakat bunun yanı sıra işleme koşulları ve parametreleri, genel kararlılık, rijitlik olması gerektiği gibi çıkmadıysa, en doğru şekilde tercih edilmiş bir takımla bile optimum takım ömrü sağlanamayacaktır [1]. İşlenen malzeme ne olursa olsun günümüzde malzeme göre en uygun takım tercihi yapılarak kaliteli ve hızlı üretim gerçekleştirilebilmektedir.

Kesici takımlar yüksek sıcaklık, gerilme, sürtünme gibi zor şartlar altında çalıştığından kaliteli ürünler elde edebilmek için yüksek sertlikte olmalı, tokluğu yüksek olmalı, yüksek sıcaklık altında dahi sertliğini koruyabilmeli, yüzey kalitesi iyi ve uygun geometride olmalı, kesici kenarlar aşınmaya karşı dirençli olmalı, deformasyon direnci yüksek olmalı, kullanım amacına uygun ısıl özellikleri olmalı, kimyasal açıdan kararlılığı yüksek ve takım ömrü uzun olmalıdır [38]. Şekil 4.10'da kesici takımların sıcaklık sertlik ilişkisi verilmiştir.

Takımlarda kaplama malzemesi olarak Titanyum Karbür (TiC) gri renkli, Titanyum Nitrür (TiN) altın sarısı renkli, Alüminyum Oksit ( $Al_2O_3$ ) şeffaf renkli, Titanyum Karbonitrür (TiCN) violet yani koyu mor renkli, Alüminyum Titanyum Nitrür (AlTiN) siyah-füme-mor renkli kaplama malzemeleri kullanılmaktadır. İçlerinde en sert kaplama malzemesi olan Alüminyum Titanyum Nitrür bir çok özellik bakımından diğer kaplamalardan bir adım öndedir [76].

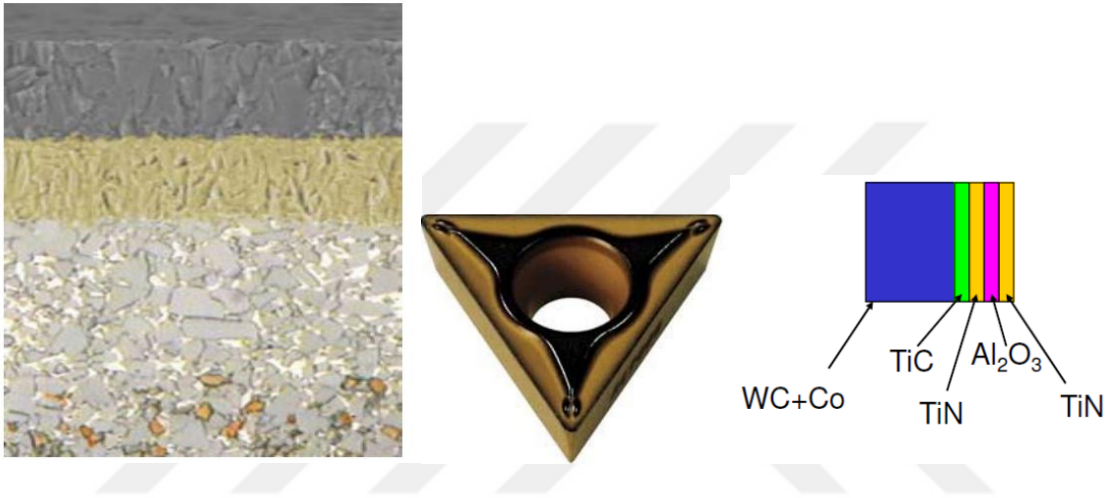


Şekil 4.10. Kesici takımların sıcaklık-sertlik ilişkisi [39]

#### 4.3.1.1. Kaplanmış Karbür Takımlar

Bu takımlar titanyum karbür (TiC), titanyum nitrür (TiN), ya da alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ) gibi aşınma direnci yüksek malzemelerden bir ya da birden fazla ince tabakalar

ile kaplı sementite karbür plaketa (insert) takımlardır. Sinterlenmiş karbür takımlarda kaplama kalınlığı 2.5-13  $\mu\text{m}$ 'dir. [39]. Tokluğunun ve yüzeyinin sert olması çok tercih edilme sebeplerindendir. Kaplama yöntemi olarak fiziksel buhar biriktirme (PVD) veya kimyasal buhar biriktirme (CVD) kaplama metodlarıyla birbirinden ayrı birkaç aşamadan meydana gelen ve farklı özelliklerde kaplamalar tatbik edilebilmektedir. Bu takımlar freze ve torna tezgahlarında çelik ve dökme demirlerin talaşlı imalatında çok sık tercih edilmektedirler (Şekil 4.11) [38].



Şekil 4.11. Kaplanmış karbür takımlar [39]

#### 4.3.1.2. Kübik Bor Nitrür Takımlar

Kübik bor nitrür takım malzemeler arasında sertlik bakımından elmasa en yakın malzeme olarak değerlendirilir [39] ve yüksek sıcaklık ve basınç altında üretilebilirler [38]. Bu takımlar çok sert çelikleri ve nikel bazlı süper alaşımları keser. Kübik bor nitrür takımlar düşük hızlarda hızlıca aşınırken, yüksek hızlarda çok iyi performans gösterir [39].

Kübik bor nitrür takımlar muhteviyatındaki kübik bor nitrür miktarına göre yüksek içerikli ve düşük içerikli olarak kategorize edilmektedir. Yüksek kübik bor nitrür maddesinde ortalama %90 kübik bor nitrür ve %10 değerinde bağlayıcı metal fazı vardır. Yüksek kübik bor nitrür takımları yüksek termal iletkenliğe ve kırılma mukavemetine sahiptir. Düşük kübik bor nitrürün bağlayıcı fazı seramik grubundan olduğu için bunların kırılma tokluğu daha düşük ve basma mukavemetleri daha yüksektir [40]. Şekil 4.12'de kübik bor nitrür takımlar gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Küçük bor nitrid takımlar [39]

#### 4.3.1.3. Yüksek Hız Çeliği

Yüksek hız çelikleri alaşımli takım içeriklerine göre daha avantajlıdır. Takım ömürleri takım çelikleriyle aynı olmasına rağmen kesme hızları standart değerini iki katına kadar çıkabilmektedir. Bundan dolayı yüksek hız çelikleri olarak isimlendirilirler. Üretim yöntemi olarak toz metalurjisi, dövme ve döküm metodlarıyla imal edilebilseler de döküm ve dövme yöntemlerinin kaba karbür partiküllerinin oluşumu ile karbür segregasyonu ve homojen olmayan bir şekilde dağılımı gibi olumsuz yönleri bulunmaktadır. Bu gibi problemleri önleyebilmek için birtakım metalurjik yöntemler kullanılarak bu sorunların önüne geçilebilir [38]. Yüksek tokluğa sahiptirler. Daha çok freze çakıları, matkap, broş, klavuz gibi takım karakteristiğini belirlemede kullanılan işlemler için tercih edilirler. Tungsten ve molibden tip olmak üzere iki temel sınıfı bulunur [39].

#### 4.3.1.4. Sermet Takımlar

Sermet takımlar sinterlenmiş karbürlerin farklı bir grubu olarak değerlendirilir ve bağlayıcı olarak nikel ya da molibden ile beraber çok yüksek hız ve kesme hızlarında kullanılan TiC, TiN ve titanyum karbonitrid grupları kullanılır. Kimyasal bileşimleri kompleks olmakla beraber uygulama alanı olarak paslanmaz çelikler ve dökme demirlerin yüksek hızda bitirme ve yarı bitirme kesme işlemlerinde kullanılırlar. Taşlama ihtiyacını ortadan kaldıracak oranda çok iyi yüzey kalitesi ortaya çıkarırlar [39]. Şekil 4.13'te sermet takımlar gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Sermet takımlar [39]

#### 4.3.1.5. Seramik Takımlar

Seramik takımlar bir bağlayıcıya ihtiyaç olmadan yüksek basınç ve sıcaklık altında preslenip sinterlenerek ince taneli  $Al_2O_3$  den plaket takım olarak üretilir. Tokluğunun düşük olması sebebiyle kaba frezeleme gibi ağır kesme işlemlerinde tercih edilmezler. Aşınma dayanımı yüksek olduğu için dökme demir ve yüksek hızlı çelik tornalama proseslerinde kullanıma uygundur [39].

Seramik kesicilerde oksidasyon direncinin yüksek olması, takım aşınmasını azalttığı için tercih edilmektedir. Basma mukavemetleri yüksektir, iş parçası ile reaksiyona girmezler. Takım ömürleri uzun ve yüksek hızlarda çalışabilirler [41].

#### 4.3.1.6. Tungsten Karbür (WC) Takımlar

Tungsten karbür takımlar son zamanlarda talaşlı imalat üretim yöntemlerinde sertliğinin iyi olması, kırılma tokluğu göstermeleri, ekonomik oluşları ve orta seviyede kesme hızını yakaladıkları için çok sık kullanılmaktadır. Sinterleme yöntemiyle üretilen tungsten karbür takımlar muhteviyatındaki kobalt miktarının değiştirilmesiyle sertlik ve tokluğu istenilen oranda ayarlanabilir. Fakat Kobalt (Co) oranının yüksek olması sıcak malzeme sertliğini ve termal deformasyona karşı direnci azaltır. Lakin bu durum tokluğu arttırıcı bir etkiye sahiptir. Standartlara uygun bir karbür kesici takımda olması gereken en ideal

Co oranı %3 - %12 arasında olmalıdır. Tane boyutu takım seçiminde önemli bir kriterdir. Şöyle ki; tane boyutunun küçük olması sertliği artırıp kırılma topluluğunu azaltır. Normal bir karbür takımın tane boyutu 1-5 µm arasındadır [40].

#### **4.3.1.7. Çoklu Kristal Elmas Takımları**

Sertliğiyle bilinen elmas takımlar kolay kolay aşınmadığı gibi keskinliğini koruyan kesici ağızlar, imalat esnasında sürtünmeyi en aza indirmesi ve termal iletkenliğinin iyi olması sebebiyle tercih edilmektedir [40]. Bu takımlar toleransı ve hassasiyeti yüksek, içerisinde demir ihtiva etmeyen metalik malzemelerin (alüminyum, bronz, bakır) imalatında kullanılırlar. Kesme basıncına ve şok darbelerine karbür içerikli kesiciler kadar mukavemet gösteremediğinden ötürü bu takımlar daha çok son yüzey bitirme işlemlerinde tercih edilmektedirler [41].

#### **4.4. Talaşlı İmalat Yönteminde Takım Aşınması**

Takım aşınması genel olarak talaşlı imalat proseslerinde işlenen bölgede yeni bir yüzeyin ortaya çıktığı ve talaş oluşumu sırasında takımdaki malzeme kaybı olarak değerlendirilir. Genel itibari ile malzeme kaybı yavaş gerçekleşse de bazı durumlarda büyük parçaların kopması şeklinde kendini gösterebilmektedir [76].

Talaş kaldırma proseslerinde, talaş kaldırma işlemi süresince başta sürtünme ve sıcaklık olmak üzere bazı etkenlerin etkisi ile kesici takım aşınır. Sürtünme, aşınmada ana etken olmakla beraber oluşan ısı aşınmaya karşı direnci azalttığı için aşınmayı hızlandıran etkenlerden biridir. Sürtünme, talaş alma sırasında takım talaş yüzeyi ile kesme kenarı arasında meydana gelir. Bunların yanı sıra aşınmayı tetikleyen diğer sebepler ise prosese uygun belirlenmeyen kesici takım, kesme derinliği, ilerleme miktarı ve soğutma sıvısıdır [32].

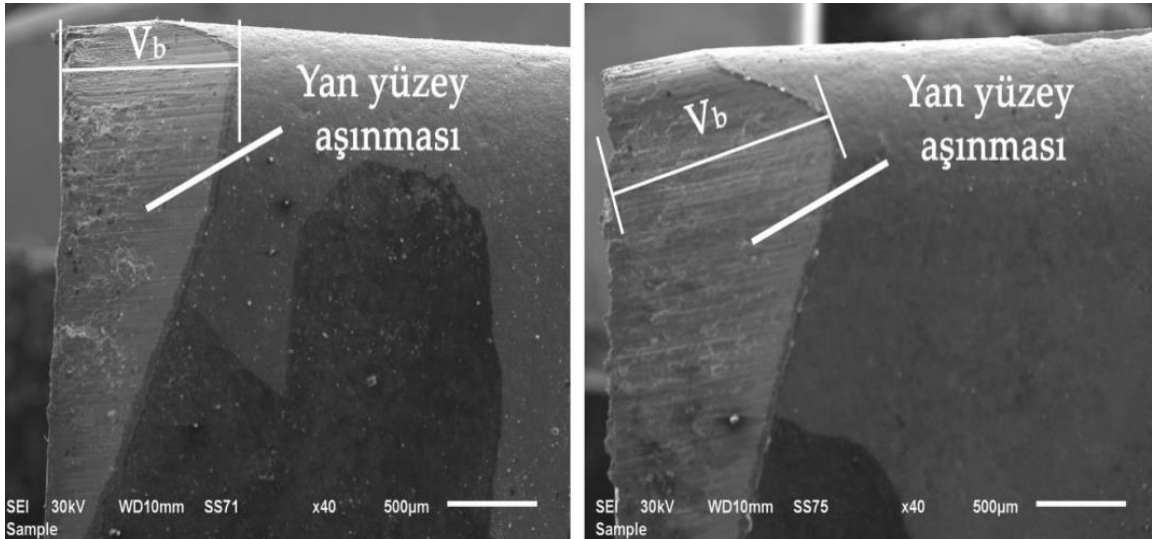
Kesici takımın aşınma durumu ve aşınmanın boyutu, işlenen iş parçasının yüzey kalitesi, takımın kalitesi kesme parametrelerinin seçimine göre farklılık gösterir. İşlenen parçanın boyut toleransı bile takım aşınması ile ilgilidir. Bu aşınma türlerini on başlık altında inceleyebiliriz [32].

#### 4.4.1. Yan Yüzey (Yanak) Aşınması

En sık karşılaşılan aşınma türü olan yan yüzey aşınması takımın yan kısmında oluşan aşınmadır. Yan yüzey bölgesi ile işlenen bölge arasında ısınma ve sürtünmeden kaynaklı ve bu bölgeye dik olacak şekilde yan yüzey kuvvetleri oluşur. Sonuç olarak kesici takımında istenmeyen deformasyonlar ve iş parçasının geometrisinde bozulmalar gözlemlenir [40].

Yan yüzeyinin aşınması neticesinde kenar bölgeler keskinliğini yitirerek sürekli aşınmaya maruz kalır ve kritik aşınma noktasından itibaren hızlı bir şekilde aşınma devam eder. Çoğunlukla yan yüzeyde meydana gelen aşınma, diğer aşınma çeşitlerine nazaran daha hızlı ilerler ve takım ömrünü belirleyici etkiye sahiptir. Bu sebepten ötürü yan yüzey aşınması belirli periyotlarla kontrol edilmelidir [40].

Takımın kullanım süresi boyunca takım kenarını daha keskin hale getirmesi sebebiyle imalat açısından olumlu olabilir, fakat belirli bir süreden sonra aşınma artacağından dolayı işlenen yüzeye karşı sürtünme artacağı için performansı olumsuz etkiler [42]. Şekil 4.14’de yan yüzey aşınması görülmektedir.

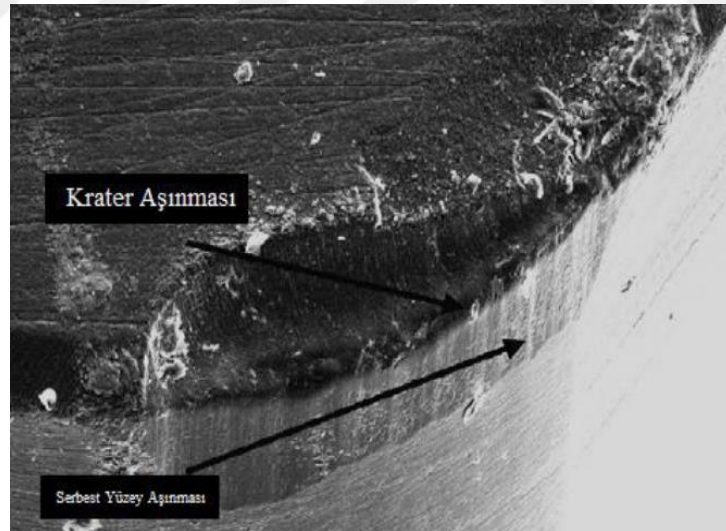


Şekil 4.14. Yan yüzey aşınması [38]

#### 4.4.2. Krater Aşınması

Bu aşınma tipi kesici takım üzerinde krater benzer boşluk şeklinde meydana gelen deformasyon türüdür. Yan yüzey aşınmasına nazaran yavaş ilerleme gösterse de kontrol altında tutulması gereklidir. Kesici takımın mekanik dayanımını azalttığı için ani kenar kırılmaları gözlemlenebilir. Bu aşınma türü çoğunlukla sürtünme neticesinde meydana gelen sıcaklıklardan kaynaklı bir difüzyon aşınması ve kimyasal aşınma türleri ile meydana gelir [40]. Krater aşınmasını minimize etmek amacıyla kesme sıvısı kullanılabilir ya da kaplamalı kesici uç kullanılabilir. Krater aşınması, takım ömrünü belirlerken serbest yüzey aşınma türünden sonra en çok kullanılan aşınma tipidir [75].

Takım malzemesinin aşınmasına neden olan difüzyon ve abrasif aşınmaları eğer kontrol altında tutulmazsa kesme geometrisinde hatalar oluşmasına sebebiyet vererek talaş oluşumuna ve kesme kuvvetlerine olumsuz şekilde tesir ederek kesici kenarın zayıflamasına yol açar [42]. Şekil 4.15'te krater aşınmasının etkileri görülmektedir.

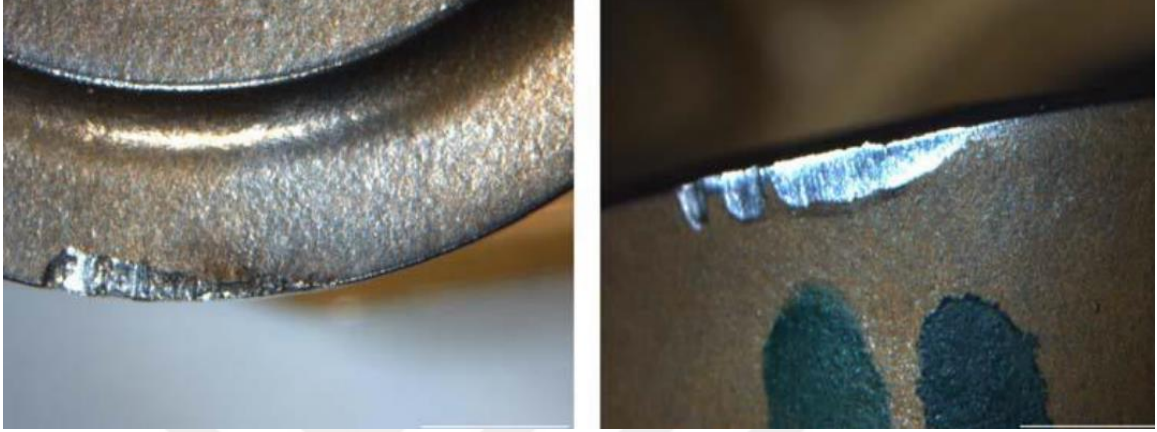


Şekil 4.15. Krater aşınması [75]

#### 4.4.3. Çentik Aşınması

Bu aşınma türü yüksek ısıya dayanımlı talaşlı imalat proseslerinde çoğunlukla kaba tornalama işlemlerinde sürekli talaşın meydana geldiği kısımlarda aşındırıcı yüzey tabakaları sebebiyle ya da daha önce yapılan işlem anında sertleşmiş olan iş parçasında

görülmektedir (Şekil 4.16) [32]. Çentik aşınmasının klasik nedenleri arasında yüksek kesme hızları ve geniş giriş açısı olduğu söylenebilir. Son işleme aşamasında normalden fazla çapaklar meydana getirdiğinden dolayı iş parçasının yüzey kalitesinde önemli bir etkisi vardır [42].

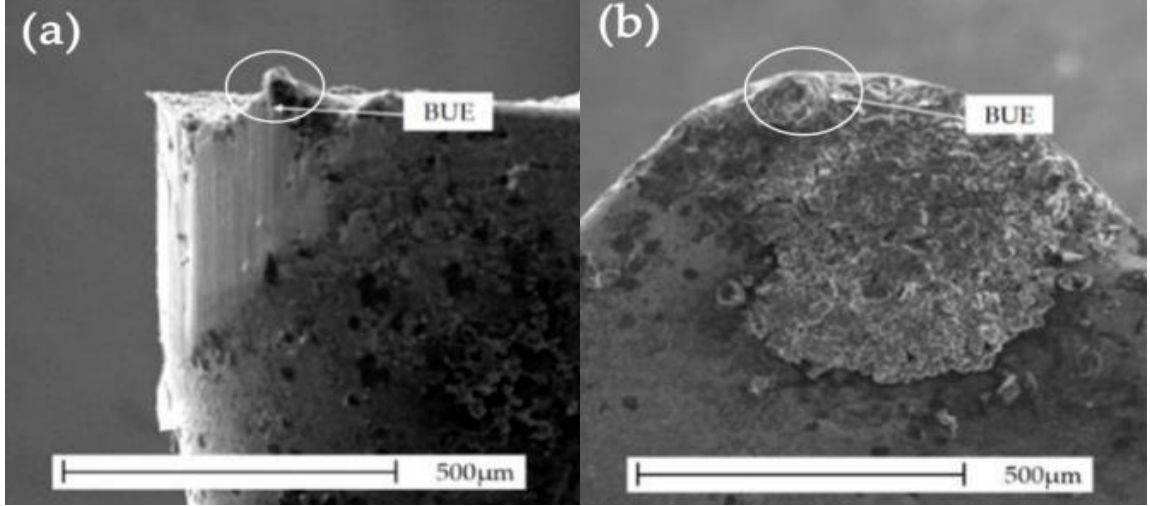


Şekil 4.16. Çentik aşınması [40]

#### 4.4.4. Talaş Yığılması (BUE)

Talaş yığılması büyük oranda sıcaklığın ve kesme hızının bir fonksiyonu olarak meydana gelen bir aşınma türüdür. Çoğunlukla sünek ya da yumuşak malzemelerin düşük hızlarda talaşlı imalatı sırasında oluşur. Kesme kenarlarında biriken talaş kesme kuvvetlerini artırarak kötü bir yüzey ortaya çıkmasına neden olur [42].

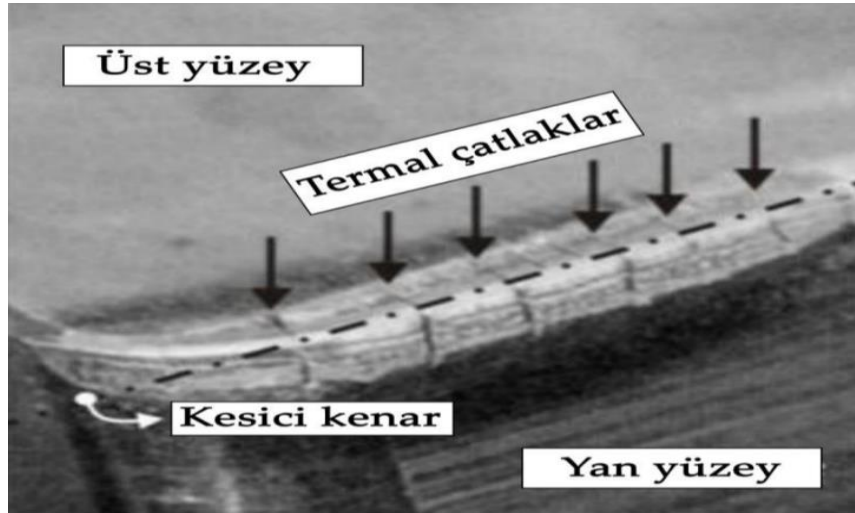
Talaş yığılmasında düşük işleme hızından dolayı kesici uç, iş parçasına yapışır ve gittikçe artan malzemedan dolayı yığılma meydana gelir. Her ne kadar takım geometrisinde farklılaşmaya sebep olduğu için kaba tornalama işleminde istenmese de aşınmayı azaltıcı yönde etki ettiği de bilinmektedir. Kesme hızının arttırılması ya da keskin olan kesme kenarı kullanarak ve talaş açılarını pozitif yönde değiştirerek talaş yığılması engellenebilir [40]. Şekil 4.17’de talaş yığılmasının takımda oluşturduğu hasar görülmektedir.



Şekil 4.17. Talaş yığılmasının kesici takım üzerinde yandan (a) ve üstten (b) görünüşü [38]

#### 4.4.5. Termal Çatlaklar

Termal çatlaklar genellikle malzeme üzerindeki ısıl farklılıklardan ötürü meydana gelen yorulma esaslı bir aşınma türüdür (Şekil 4.18). Bu çatlak türü kesici kenara 90 °C'lik bir açı ile gelir ve çatlaklar arasındaki malzeme kesici uçtan kopup ayrılır. Kesici kenarın bozulmasına kadar gidebilecek olan bu aşınma türünde takım malzemesi takımın ucundan ayrılarak takımın kırılmasına sebep olabilir. Talaş kalınlığının değişmesinden ötürü meydana gelen sıcaklık, soğutma suyu vasıtasıyla giderilmeye çalışılsa da sıcaklık farklarını arttırdığından dolayı genellikle faydasından çok zararı olabilir [1].

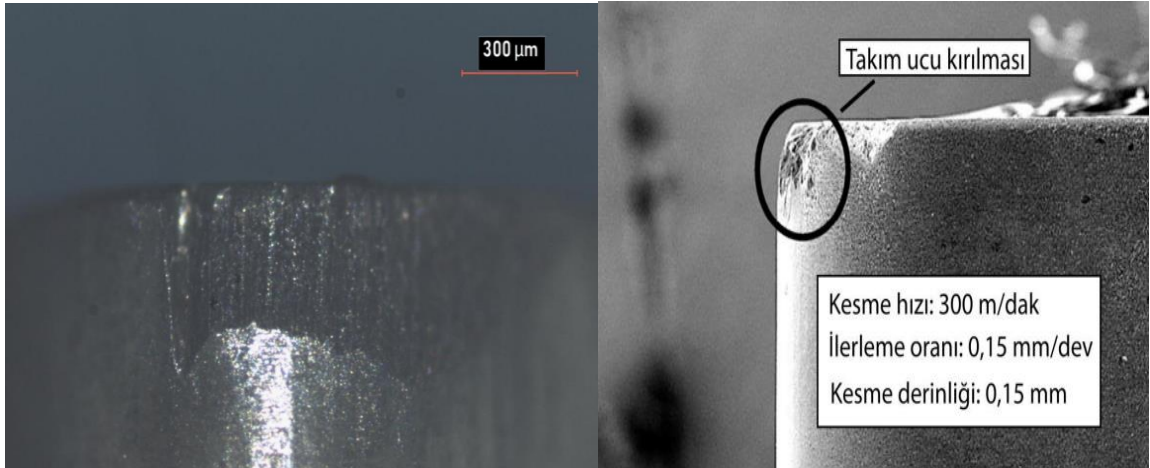


Şekil 4.18. Termal çatlaklar [38]

#### 4.4.6. Takım Kırılması

Kırılma hasarı, takım üzerinde meydana gelen aşınma etkenlerinden ötürü takımın işlevini yitirmesidir. Çoğunlukla önlem alınmayan aşınma türlerinin ilerlemesiyle meydana gelir. Parça kırılmadan önce şişkinlik oluşup kırılabilir. Mümkün olduğunca bu durumdan kaçınılmalıdır. Kenar kırılması aşınma türlerinin genellikle son aşamasıdır. Kesici kenar hatalarının oluşmasına birçok etken sebep olabilir. Kesici kenarın mukavemetinin azalması, geometrideki değişimler, sıcaklık değişimleri kesici kenar hatalarına yol açmaktadır (Şekil 4.19) [1].

Kırılğan malzemelerle imal edilen takımların ani kırılma durumları vardır. Seramik ve sinter karbür gibi kırılmaya müsait malzemelerden imal edilen takımlarla yapılan imalatlarda bu durum çok görülmektedir. Her ne kadar dış etkenler fazla olsa da takımın kırılma olasılığını minimize etmek için gelişmiş üretim yöntemleriyle imal edilen sıfır ve negatif açılı kesici takımlar kullanılabilir, daha tok uç malzemeleri tercih edilebilir ve takım ucunun iş parçasına girmesini kolaylaştıran kama açısı daha büyük tutulabilir [38,40].

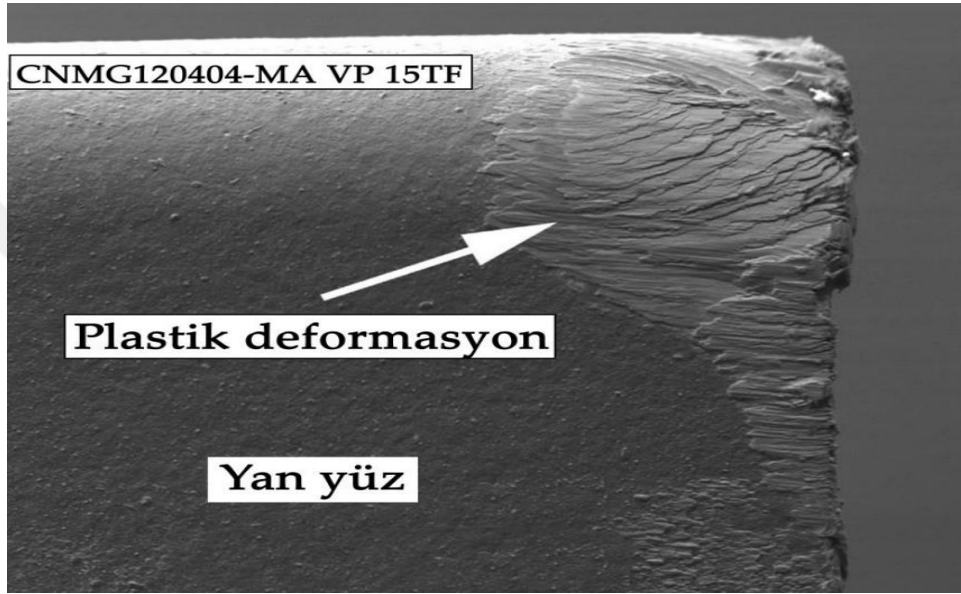


Şekil 4.19. Takım kırılması [40,42]

#### 4.4.7. Plastik Deformasyon

Kesici kenar yüzeyindeki basınç ve sıcaklığın etkileşimi neticesinde plastik deformasyon meydana gelmektedir. Takım malzemesinin bu dış etkenlere karşı direnç gösterebilmesi

ve şeklini koruyabilmesi için yüksek sıcaklık sertliğine sahip olmalıdır. Kesici kenarda meydana gelen şişme birçok parametreyi değiştirerek sıcaklığın yükselmesine, şekil geometrisinin ve talaş akışının değişmesine neden olup kritik bir seviyeye gelene kadar etkisini sürdürecektir [1]. Plastik deformasyon yüzey kalitesini negatif yönde etkilediği için ve boyutsal hassasiyetinden ötürü istenmeyen bir durumdur. Şekil 4.20’de plastik deformasyon sonucu takımda meydana gelen hasar gösterilmiştir.



Şekil 4.20. Plastik deformasyon [38]

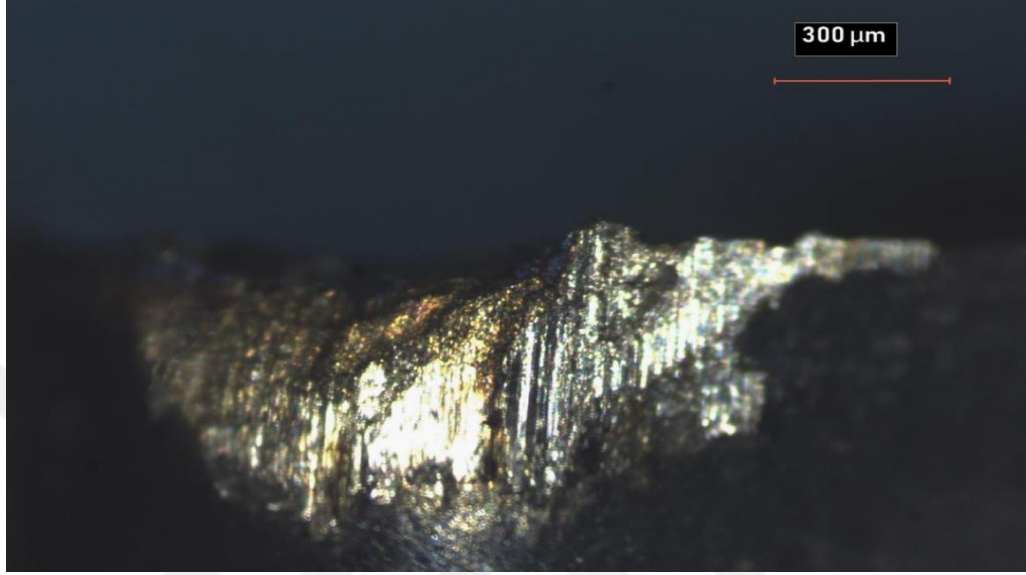
#### 4.4.8. Uç Radyüsü Aşınması

Uç radyüsü aşınması takımın uç radyüsünün yan kısmı ile birleştiği bölgeden itibaren başlar. Çoğunlukla yan yüzey aşınması ve çentik aşınmalarının birleşimi gibi görünür. Malzeme kalitesini önemli ölçüde etkileyen uç radyüsü aşınması oksidasyon, korozyon ve abrazyon temellidir [40].

#### 4.4.9. Parçacık Dökülmesi

Parçacık dökülmesi aşınma türü seramik türevi kesici takımların kullanıldığı imalatlarda ya da sert, abrasif tanecikler ihtiva eden metallerin imalatı aşamalarında meydana gelir. Kenar dökülmesinin sebebi olarak tezgahların yeterince rijit konumlandırılmaması ve

yüksek kesme kuvvetleri de gösterilebilir. Yan yüzey aşınmasını hızlandıran ve kenar kırılmasına kadar gitmesine sebep olabilecek olan parçacık dökülmesi aşınma türü frezeleme proseslerinde çok sık meydana gelmektedir (Şekil 4.21) [40].



Şekil 4.21. Parçacık dökülmesi [40]

#### 4.4.10. Talaş Hasarı

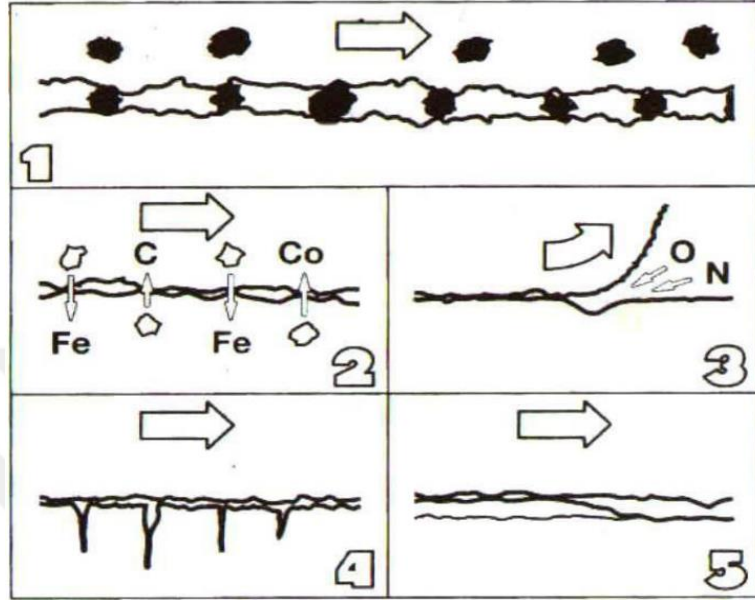
Talaş hasarı nikel içerikli alaşımlar ve paslanmaz çelik malzemeler gibi tokluğu yüksek ve abrasif aşınmanın meydana geldiği metallerin talaşlı imalatında görülür. Oluşan talaş, kopmadan kıvrılarak tekrar kesici uca sürterek takımı aşındırır ve netice itibari ile takımın kenar kısmını aşındırır. Bu tür aşınmaları bertaraf etmek için en verimli yol talaşın bu bölgeden kontrollü bir şekilde uzaklaştırılmasıdır [40].

#### 4.5. Aşınma Mekanizmaları

Talaşlı imalat işlemlerinde kesici takım üzerinde tesiri olan yük faktörlerinin bir göstergesi olarak birtakım ana aşınma türleri iş parçasından talaş alma işlemi üzerinde etkili olmaktadır. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz;

1. Atomik yer değiştirme (difüzyon) ile aşınma,
2. Aşındırıcılarla (abrasif) aşınma,

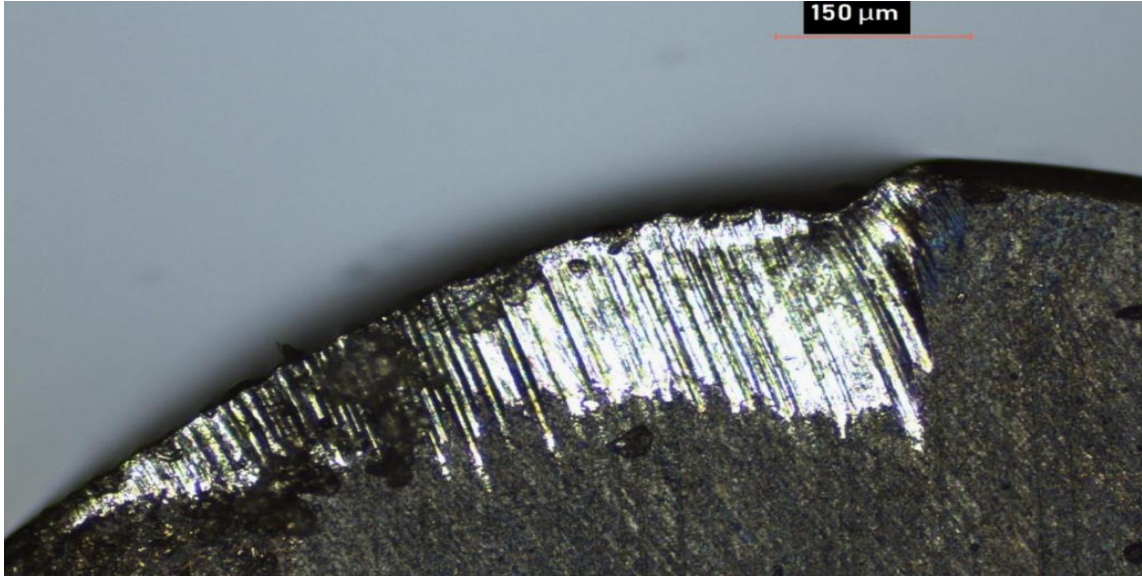
3. Kimyasal aşınma,
4. Yapışma (adhezif) ile aşınma,
5. Oksidasyon ile aşınma şeklindedir [1].



Şekil 4.22. Temel aşınma tipleri [1]

#### 4.5.1. Abrasif Aşınma

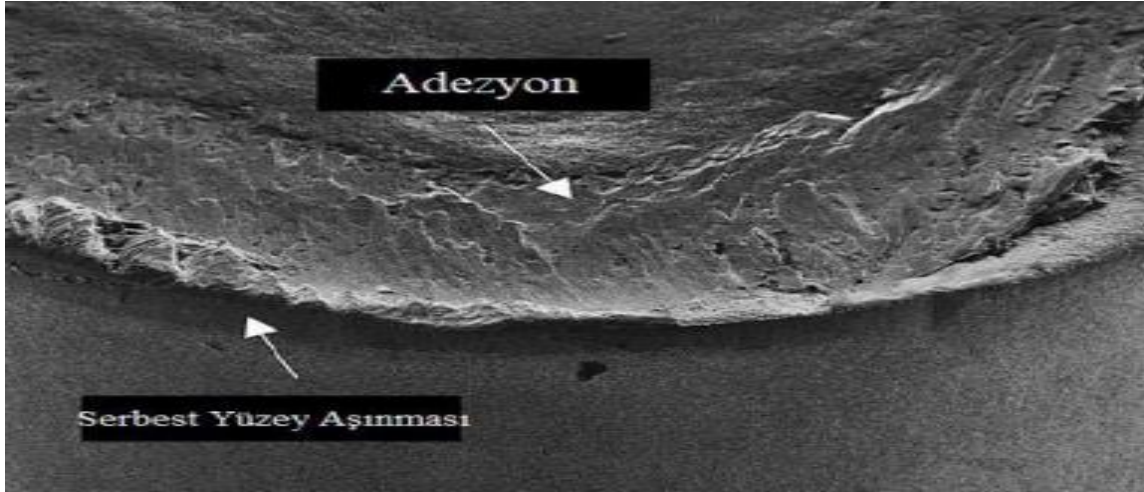
Çizilme aşınması olarak da bilinen [43] bu aşınma, takım ile iş parçasının göreceli hareket ve yüksek gerilimden dolayı sert taneciklerin kesici takım yüzeyinde kazıma şeklinde bir aşındırma oluşturmasıdır (Şekil 4.23). Oluşan sert tanecikler talaş içerisinde bulunan farklı alaşım türlerindeki serbest dolaşan silikonlar veya fiberler olabilir. Bunlara mukabil takımdan kopan parçacıklar ya da takımla iş parçası arasındaki etkileşimle meydana gelen partiküller abrasif aşınmaya sebebiyet verebilir. Abrasif aşınma türü genel anlamda çentik aşınması, uç radyüsü aşınması ve yanak aşınması üzerinde tesirli olduğu söylenebilir. Aynı şekilde abrasif aşınmaya örnek olarak talaş yüzeyi aşınmasını da gösterebiliriz. Eğer bu aşınma tipinin azaltılması yönünde bir şeyler yapılmak istenirse takım sertliği artırılarak ya da talaş açısı düşürülerek bu aşınmanın önüne geçilebilir. Ancak talaş açısını düşürmek kesici kenarı zayıflatacağından dolayı kenar dökülmesine yol açabilir [40].



Şekil 4.23. Abrasif (çizilme) aşınması [40]

#### 4.5.2. Adhezif Aşınma

Adeziv aşınma özellikle düşük hızlarda sünek malzemelerle yapılan talaşlı imalatlarda en çok meydana gelen aşınma türüdür. Bu tür aşınma talaşlı imalatta takım ve iş parçasının birbirine sürekli temas etmesi ve aradaki basınçtan ötürü küçük boyutlardaki parçaların kesici takıma yapışması ve daha sonra bu parçaların daha büyük parçaları koparması şeklinde gerçekleşir [40]. Ovalanma ve kavrama aşınması olarak da bilinmektedir [43]. Bu aşınma türü daha çok krater aşınmasına neden olsa da fazla miktarda talaş birikmesi talaş yığılması (BUE)'na sebebiyet vermektedir [75]. Adhezif aşınma her ne kadar mekanik etkenlere bağlı olsa da, termal sebeplerinde etkisine maruz kaldığından dolayı kesme hızının artırılması ile bu aşınmanın etkisi azaltılabilir [40-75]. Şekil 4.24'te adhezif aşınmanın etkisi görülmektedir.



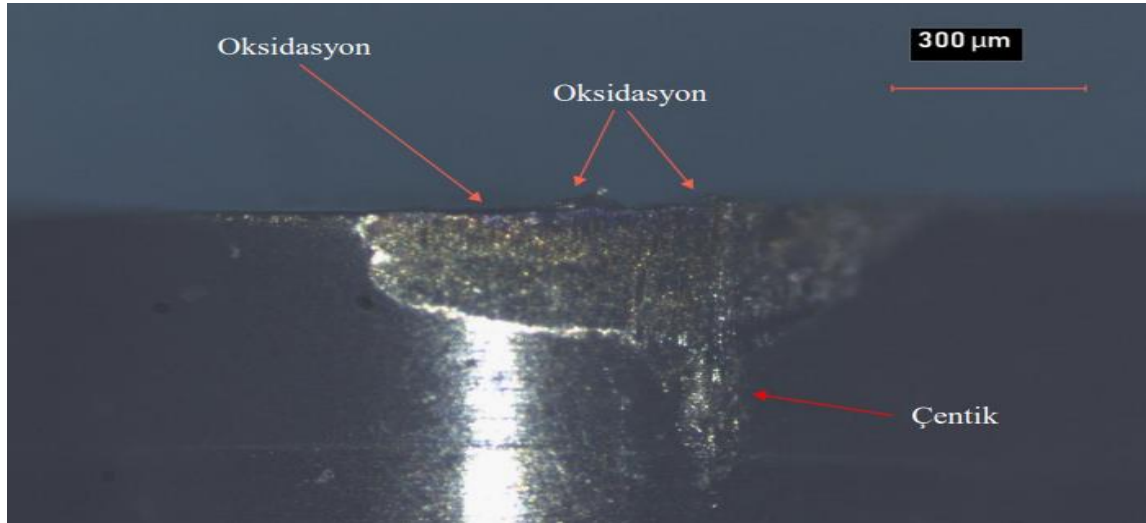
Şekil 4.24. Adhezif aşınma [75]

#### 4.5.3. Difüzyon (Çözelti) Aşınması

Difüzyon aşınması diğer aşınma türlerindeki fiziksel etkenlerin dışında kimyasal etkilerin daha fazla olduğu bir aşınma türüdür. Kesme takımı ile iş parçası arasındaki etkileşim, aşınma mekanizmasını belirleyici etkiye sahiptir. Malzeme sertliği etkili olmamakla beraber malzemeler arasındaki kimyasal münasebet aşınmanın derecesini belirler. Çok farklı takım malzemesi olduğundan bazı malzemeler birbirlerine karşı birleşme eğilimi içindeyken bazılarına karşı da nőtürdürler. Difüzyon aşınmasını gördüğümüz tungsten karbür ve çelik, karşılıklı etkileşime girerek takımın talaş yüzeyinde bir girinti meydana gelmesine sebep olur. Aradaki etkileşim sıcaklıkla doğrudan ilgili olduğu için yüksek kesme hızlarına çıktıkça daha fazla görülür [1]. Difüzyon yani çözelti aşınması takımda krater aşınması görülmesine neden olur [75].

#### 4.5.4. Oksidasyon Aşınması

Kesici takımı meydana getiren bileşenlerin atmosferdeki oksijen gazı ile birleşmesiyle oksidasyon meydana gelir. Bu aşınmanın görüldüğü bölge takım yüzeyinin en sıcak bölgesi olan takımla talaş arasındaki alanda gerçekleşir (Şekil 4.25). Önemli ölçüde çentik aşınmasına sebep olarak etkili olduğu bölgede renk değişimi şeklinde kendini gösterir. Aynı zamanda takımların oksitlenmesi ile ortaya çıkan oksit parçaları abrasif aşınmaya neden olurlar [40].



Şekil 4.25. Oksidasyon aşınması [40]

#### 4.5.5. Kimyasal Aşınma

Bu aşınma birbirleriyle etkileşime giren talaşlı imalat prosesindeki tüm bileşenlerin kimyasal tepkimesi neticesinde gerçekleşir. Daha çok krater ve yanak aşınması türlerinde tesirli olan bu aşınma, kesme hızının artmasıyla beraber artış eğilimine girer. Tepkime neticesinde iş parçasının yüzeyine yapışan ürünler diğer aşınma yöntemlerinin devreye girmesiyle beraber parça yüzeyinden temizlenir [40].

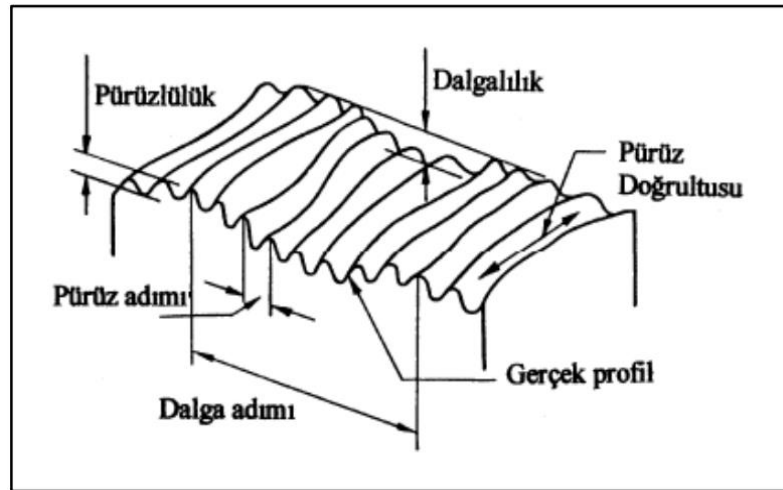
#### 4.6. Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey kalitesi parametresi işlenen parça yüzeyinde kesici takımın uyguladığı temastan ötürü yüzeyde dalgalanma, pürüzlülük şeklinde kendini gösterir (Şekil 4.26). Talaş kaldırma proseslerinde işlenen yüzeylerde bu tür deformasyonların oluşması istenmese de kaçınılmaz bir durumdur. Aynı malzemeyi farklı yöntemlerle işlese bile yüzey pürüzlülüğü parametreleri birbirine yakın değerde çıkmaktadır. Fakat belirli şartlar altında takımın ucundaki aşınma oranı korozyon, sürtünme gibi sebeplerden ötürü yüzey pürüzlülüğü oranlarında farklılık görülmektedir. Bu sebepten dolayı yapılan imalatta malzemenin yüzey pürüzlülüğünü ifade ederken nasıl bir imalat yöntemi kullanıldığı da açıklanmalıdır [31].

Talaşlı imalat proseslerinde yüzey pürüzlülüğü ve dalga şeklinde yüzey sapması türleri meydana gelmektedir. Geometrik sapmalar dalga olarak nitelendirilir ve işlenen parça yüzeyindeki yüzey kalitesi pürüzlülük ile direkt ilgilidir. Standartlara uygun olarak yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yüzey kalitesini net bir şekilde ortaya çıkarır. Yüzey pürüzlülüğü ele alınan bir numunenin yüzeyine dik olan bir bölümünde referans aldığımız profile ve bu profilin ortalama çizgisine göre tayin edilir.

Bilindiği gibi makine parçalarında yüzey pürüzlülüğü ve boyut toleransı kalitenin bir göstergesidir. Talaşlı imalatta malzeme yüzeyinde makro ve mikro hatalar meydana gelebilir. Tezgahtaki kusurların bir ürünü olan makro hatalar ve kesici takımdan kaynaklı mikro hatalar malzeme üzerindeki hata parametrelerindedir. Yüzey pürüzlülüğü mikro hata olarak değerlendirilebilir ve kesme hızındaki artışla bu belirli nispette ortadan kaldırılabılır [44].

Yüzey kalitesi üzerinde etkili olan birçok parametre vardır. İmalat sırasında takım hatalarından ötürü ya da titreşimler sebebiyle iş parçası üzerinde geometrik hatalar oluşması muhtemeldir. Takımın hatalı konumlandırılması, kesme kuvvetinin tesiriyle takımın kesme sırasında şeklinin değişmesi kesici takım hataları olarak karşımıza çıkmaktadır [45].



Şekil 4.26. Yüzeyde oluşan yüzey pürüzlülüğü ve dalgalanma [12]

#### 4.6.1.Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Faktörler

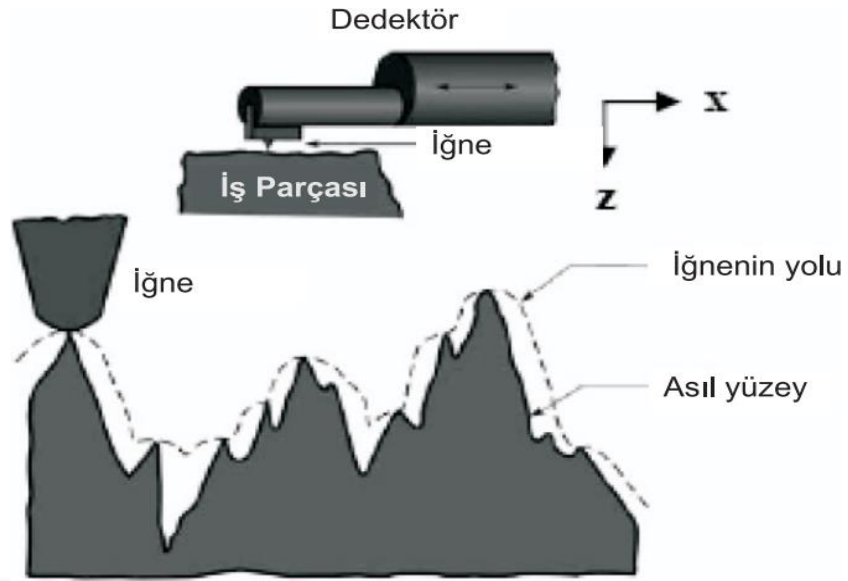
Talaşlı imalat proseslerinde çeşitli etkenlerden ötürü malzeme yüzeyinde istenmeyen birtakım izler meydana gelebilir. İmalatı yapılan parçanın amacına uygun olarak kullanılabilmesi için yüzey pürüzlülüğü değerlerine dikkat edilmesi gerekmektedir. Yüzey pürüzlülüğüne; kesici takım yüzeyindeki titreşimler ve takım geometrisi, kesme hızı, talaş derinliği, bir önceki yüzey kalitesi, takıma talaş yapışması, ilerleme oranı, iş parçası üzerinde oluşan titreşim ve balans, imalatı yapılan ürünün süreksiz talaş vermesi gibi faktörler sayılabilir [37].

#### 4.6.2. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Yöntemleri

Yüzey kalitesini tespit edebilmek amacıyla kullanılan yöntemler esas olarak karşılaştırma ve direkt ölçüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Literatürde bu ölçüm cihazları temassız ve temaslı ölçüm cihazları olarak da sınıflandırılmaktadır. Bakacak olursak temaslı cihazlar iğne uçlu ve yüzeye temas eden objektiflere sahip cihazlardır. Parça yüzeyine temas etmeyen optik ölçüm cihazları da temassız olarak adlandırılır. Bu ölçüm metotları arasında en çok tercih edileni temas uçlu ölçme metodudur [46].

##### 4.6.2.1. Temas Uçlu Ölçüm Metodu

Malzemelerin yüzey dokusunun araştırılması için geliştirilen iğne uçlu ölçme yöntemi, bu alanda öncü bilim adamlarından olan G. Schmaltz tarafından 1929 yılında kullanılmıştır. Son zamanlarda bu ölçme yöntemi vasıtasıyla daha küçük yüzey pürüzlülüğüne sahip değerler elde edilmektedir. Bu yöntemde dedektör cihazın sürücü birimine bağlıdır ve bir motor aracılığıyla yatay bir şekilde iş parçasının ölçülmek istenen yüzeyi üzerinde bir takım ritmik hareketler yapar. Dedektörün iş parçasına temas eden yüzeydeki yatay yönlü hareketi sırasında yüzeydeki ölçülecek olan pürüzlü bölgeye temas eden dedektöre bağlı elmas uca sahip iğnenin, dikey yönlü hareket etmesiyle meydana gelen mekanik farklılıkların, sürücü vasıtasıyla elektrik sinyallerini dönüştürüp yükseltilmesi sayesinde yüzey pürüzlülüğü tespit edilmiş olur (Şekil 4.27) [47].



Şekil 4.27. Temas uçlu ölçme yöntemi [47]

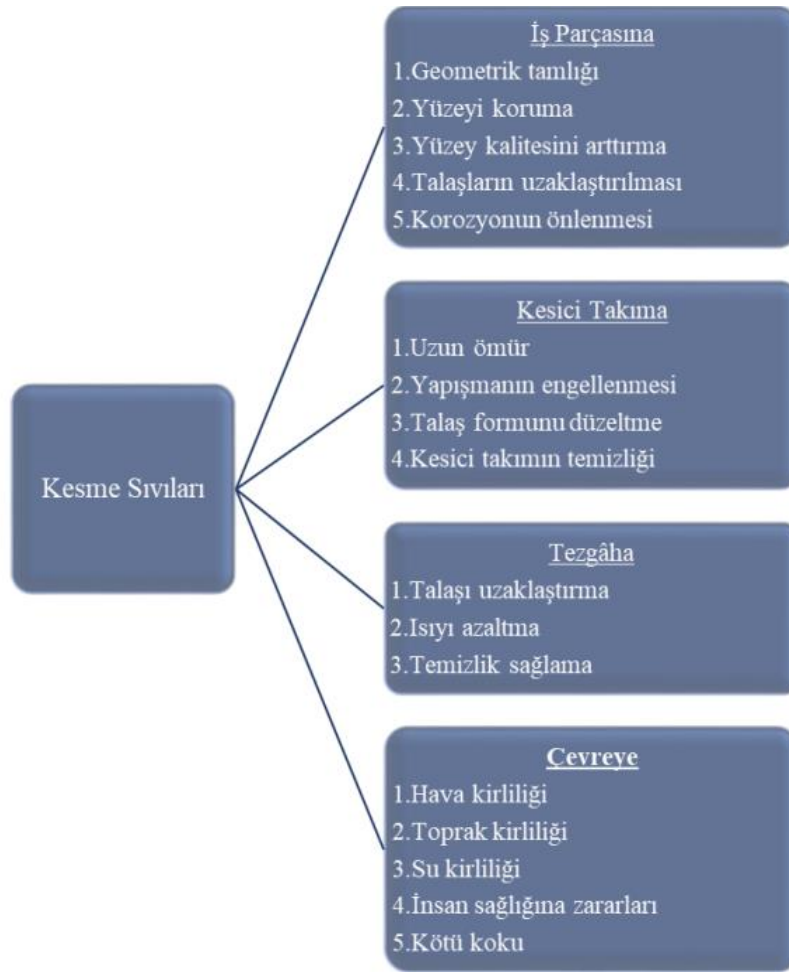
Temas uçlu ölçme yöntemleri dışında; x ışını yoluyla ölçme, kesit olarak ölçme yöntemi, hidrolik yöntem, optik yansıtma yöntemi, dokunma yöntemi, kapasitans yöntemi, mekanik yöntem, optik parazit aletleri yöntemi gibi yöntemler de bulunmaktadır [47].

## 5. KESME SIVILARI VE MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA

Talaşlı imalatta kesme sıvılarının soğutma ve yağlama gibi temel fonksiyonları bulunmaktadır. Kesme sıvıları sayesinde takım ömrü uzar ve malzemede meydana gelen ısıl gerilmelerde absorbe edilerek boyut hassasiyeti sağlanmış olur ve kaliteli bir yüzey ortaya çıkar [48]. Çünkü bu aşamada, kesme sıvıları işleme bölgesinde meydana gelen ısıyı azaltırken, yağlama etkisi sayesinde takım ile talaş ara yüzeyinde oluşan sürtünmeyi de minimize eder [49].

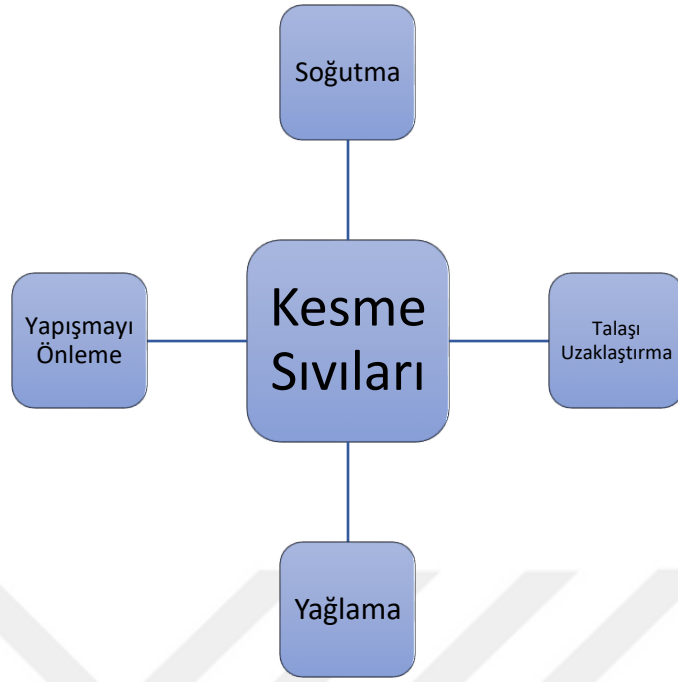
Bu konuda ilk olarak 1894 yılında yüksek hız çeliği ile ilgili yapılan imalat esnasında kesme bölgesinde su kullanılmıştır. Su kullanılarak yapılan deney sonucunda kesme hızı %33 oranında arttığı halde takım ömründe değişikliğe neden olmamıştır. Her ne kadar soğutma amacıyla kullanılsa da malzeme ve takım üzerinde korozyon gibi olumsuz yönleri de görülmüştür. Kesme sıvıları talaşlı imalatta yaklaşık 150 yıldır kullanılmakta ve gelişen teknolojiyle beraber bu konuda önemli bir sektör olmuştur. Prosese uygun kesme sıvıları hem soğutma hem de yağlama ihtiyaçlarını karşılayabilecek durumdadır. Verimlilikleri; yapılan imalata, kesme parametrelerine ve işlemin nasıl yapıldığına göre değişmektedir [33].

Kesme sıvıları talaşlı imalatta iş parçasıyla takım arasına girerek soğutma ve yağlama sağlar. Bununla da kalmayıp çok yüksek kesme hızlarına çıktığında ve yüksek sıcaklıklarda bile soğutma ve yağlama vazifesini iyi bir şekilde yerine getirebilir. Kesme sıvıları soğutma yağlama vazifesinin haricinde işleme alanından talaşların bertaraf edilmesi gibi amaçları da vardır. Genel itibarıyla değerlendirildiğinde kesme sıvılarının takımın kullanım ömrüne pozitif etki etme, takım aşınma miktarını olabildiğince azaltma, verimliliği artırma, istenmeyen talaşların işleme bölgesinden bertaraf edilmesi, korozyonu önleme gibi bazı işlevleri vardır [33]. Şekil 5.1’de üretimde kullanılan kesme sıvılarının etkileri verilmiştir.



Şekil 5.1. Üretimde kullanılan kesme sıvılarının etkileri [33]

Kesme sıvılarının yağlama etkisi sebebiyle arada film tabakası oluşturarak tezgahlarda güç tüketimini azaltması gibi bir fonksiyonu da vardır. Çünkü kesme sıvısı malzeme yüzeyine yapışarak bir tribo film tabakası oluşturup sürtünmeyi minimize ederek imalattan istenilen verimliliği üst seviyeye çıkarmış olur [33].



Şekil 5.2. Kesme sıvılarının işlevi

Genel bilgiler ışığında kesme sıvılarının kullanılması sebebiyle oluşabilecek etkileri de değerlendirerek kesme sıvılarında olması gereken özellikleri şu şekilde ifade edebiliriz;

- Isıyı iyi iletirmeli ve etkin bir yağlama özelliğine sahip olmalıdır,
- Uzun süreli muhafazaya uygun olmalıdır,
- Antikorozyon özelliği olmalı, yani paslanmaya yol açmamalıdır,
- Yanma tehlikesi olmamalıdır,
- Çevre dostu olmalıdır,
- Takıma ve tezgâha zarar vermemelidir,
- Köpürme gibi olumsuz yönleri olmamalıdır,
- İş parçası ve takım arasına girerek bir tabaka oluşturabilmeli, şeklinde özetleyebiliriz [30,33].

## 5.1. Kesme Sıvılarının İşlevleri

### 5.1.1. Soğutma İşlevi

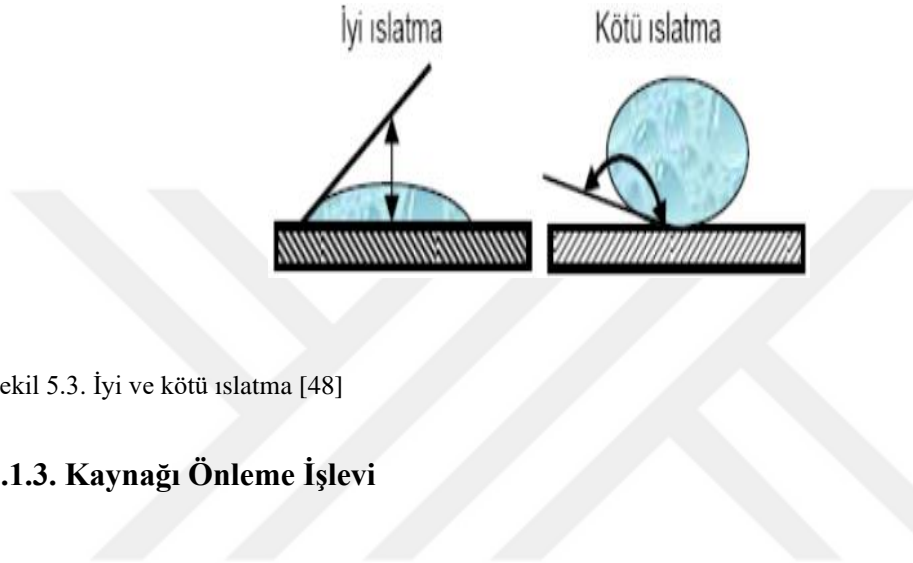
Soğutucu sıvılar talaşlı imalat proseslerinde kesme bölgesinde meydana gelen ısıyı bertaraf etmek amacıyla kullanılmaktadır. Soğutma sıvıları özgül ısılarının yüksek olması ve ısıyı iyi iletme özellikleri sebebiyle meydana gelen ısıyı ve talaşları bölgeden uzaklaştırır [51]. Meydana gelen ısıyı mümkün olduğunca en kısa sürede işleme bölgesinden taşımak veya o bölgenin sıcaklığını azaltmak amacıyla uygun soğutma sıvısı kullanılmalıdır [52].

### 5.1.2. Yağlama İşlevi

Kesme sıvıları talaşlı imalat proseslerinde takım ile iş parçası arasında yağ filmi meydana getirerek yağlama görevini yerine getirirler. Sürtünme katsayısını önemli oranda düşürerek takım ile iş parçası arasında meydana gelen aşınmayı minimuma indirir. Ayrıca işlenmiş yüzeyde koruyucu bir tabaka meydana getirerek yüzey kalitesini de önemli oranda iyileştirir. Bu iyileştirme işlevi yağda bulunan sülfür, klor ve fosfor gibi minerallerin, ısınmada etkisi ile açığa çıkarak yüzeyde ince bir film tabakası oluşturmasındandır [51].

Yağlama vazifelerini yerine getirebilmek için kesme sıvılarının sürtünme yüzeylerinde birkaç molekül büyüklüğünde bir sıvı tabakası oluşturarak yüzeye yapışması gerekmektedir. Islatma kabiliyeti denilen bu özellik sıvıların kimyasal yapısıyla da ilgilidir. Verimli bir kesme sıvısı yüzeye yayılarak iyi bir ıslatma sağlamalıdır. Islatma kabiliyeti zayıf olan sıvılar Şekil 5.3'te görüldüğü gibi genel olarak tesbih tanesine benzerken, ıslatma kabiliyeti iyi olan sıvılar ise yüzeye yayılmaktadırlar. Sıvıların ıslatma kabiliyetini arttırmak için katık adı verilen maddeler ilave edilmelidir. Katık adı verilen bu maddeler yağlara, olması gereken bazı özellikleri kazandırmak, mevcut özelliklerini daha iyi seviyelere getirmek ve olumsuz özelliklerini de minimize etmek ya da ortadan kaldırmak için kullanılırlar [48]. Kullanım amacına uygun olarak oksidasyon önleyici, köpük önleyici, pas önleyici, viskozitesini arttırıcı katıklar gibi çeşitleri mevcuttur [55].

Genel anlamda kesme sıvılarının birbirlerini dolaylı olarak etkilemeleri söz konusudur. Soğutucular işleme yüzeyindeki sürtünmeden meydana gelen ısıyı bertaraf ederken yağlayıcılar ise işleme bölgesinde sürtünmenin olumsuz etkilerini azaltarak dolaylı yoldan da olsa ısıyı bertaraf etme vazifesi görür [51]. Talaşlı imalat sürecinde, kesme sıvıları ve yağlayıcılar işlenebilirliği pozitif yönde etkileyerek, takım aşınmasını minimize edip, takım ömrünü istenilen seviyelere getirerek verimliliğe katkı sağlar [50].



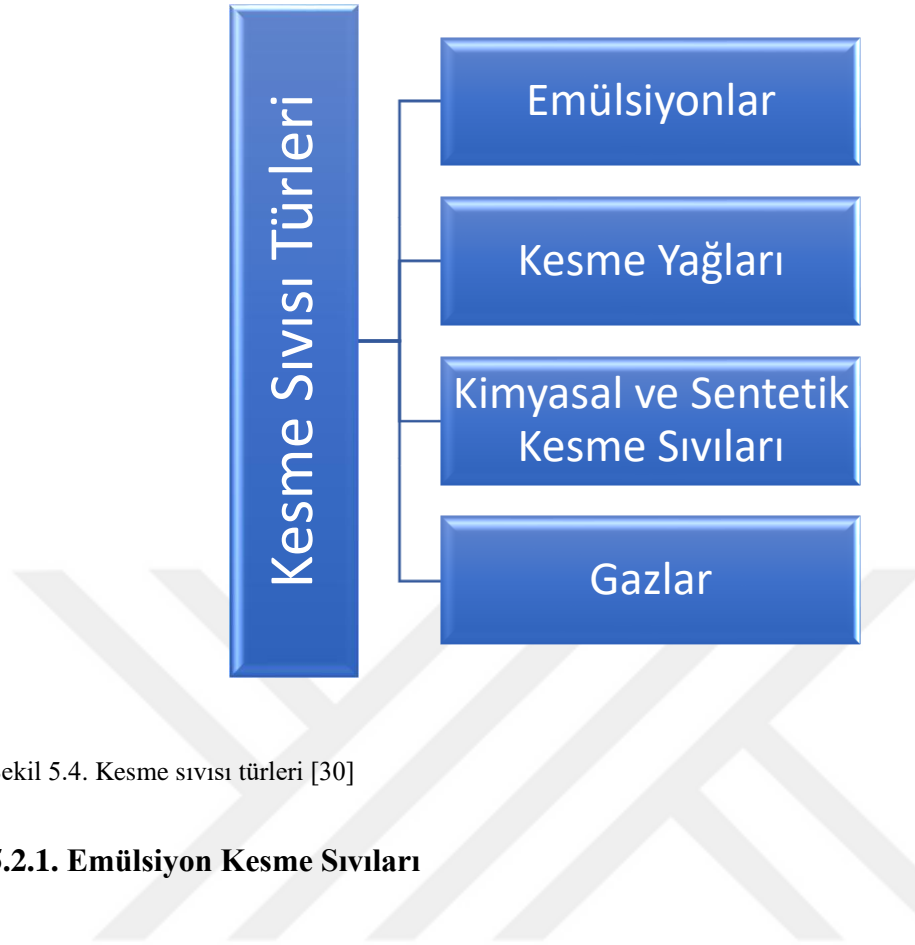
Şekil 5.3. İyi ve kötü ıslatma [48]

### 5.1.3. Kaynağı Önleme İşlevi

Kesme sıvılarının soğutma ve yağlama kabiliyetine rağmen kesici takım ve iş parçası yüzeyinde sürtünme meydana gelir bu bölgede meydana gelen ısı, açığa çıkan metal zerreciklerinin iş parçası ve takım yüzeyine kaynamasına sebebiyet verecek derecededir. Bunun önüne geçmek için sülfür, klorür ve diğer bileşikler kesme sıvılarına ekleyerek yüzeyde sabun benzeri metalik bir film tabakası ile kaplayarak metal zerreciklerinin kaynaması engellenebilir [53].

### 5.2. Kesme Sıvısı Türleri

Genel manada kesme sıvıları yağlar, emülsiyonlar, kimyasal ya da sentetik kesme sıvıları olarak gruplandırılırsalarda bunlara ilaveten gazları da ekleyebiliriz (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Kesme sıvısı türleri [30]

### 5.2.1. Emülsiyon Kesme Sıvıları

Bor yağı olarak da isimlendirilen bu kesme sıvıları içinde karışımı kolaylaştıracak katkı maddeleri ihtiva eden su yağ karışımlarıdır. Soğutma yeteneği yüksek olan bu sıvılara aditif denilen katıklar ya da yüksek basınç aditifleri (EP) ilave edilerek istenilen yağlama özellikleri elde edilir. Genel itibariyle süt renginde bir görünümü olan bu kesme sıvılarının özellikleri şöyle sıralanabilir;

- Soğutma kabiliyetleri oldukça yüksektir,
- Çalışma ortamında oldukça temizdir,
- Üretim maliyetleri içindeki yeri çok azdır,
- Alev alma tehlikesi söz konusu değildir,
- Nispeten insan sağlığı açısından zararı azdır.

Bu saydığımız nedenlerden ötürü emülsiyon bazlı kesme sıvıları ağır talaş alma prosesleri haricinde genel anlamda tüm hızlarda imalatlarda tercih edilmektedir. Fakat bu sıvılarda

bazı durumlarda köpürme görülebilir ve bu durumun önüne geçebilmek için köpürmeyi engelleyen aditifler yani katıklar kullanılabilir [30].

### 5.2.2. Kesme Yağları

Kesme yağları daha çok mineral esaslı yağlar olmakla beraber bunlara ilave edilen hayvansal esaslı domuz yağı ya da kunduz yağı gibi polar katıklı ya da kükürt, klorit gibi kimyasal katıklı yağlardan ibaret olup, bu açıdan bu yağ grubu;

- Mineral esaslı saf yağlar,
- Kükürt içerikli mineral yağlar,
- Katıklı yani aditifli mineral yağlar (domuz ve kunduz yağı),
- Bünyesinde klorit barındıran mineral yağlar,
- Kükürt ve klorit'i beraber barındıran mineral yağlar olarak sınıflandırılabilirler.

Mineral kesme yağları daha çok magnezyum, alüminyum ve kükürt içerikli otomat çeliklerinin imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır. Katıklı yani aditifli yağlar ise ağır imalat olarak adlandırılan diş açma, broşlama ve vida açma proseslerinde sıkça kullanılmaktadır. Fakat bu katıklı yağların kullanımı yaygın olsa da maliyetlerinin diğer yağlara göre yüksek oluşu, yanma tehlikesi, doğaya ve insana zararlı olması dezavantajları arasındadır [30].

Bu yağ grubu iyi yağlama sağlaması ve iyi korozyon direnci oluşturmasına rağmen, yüksek sıcaklık ortamlarında içeriği bozulabilir ve bu sebepten ötürü magnezyum, pirinç ve düşük karbonlu çeliklerin imalatlarında kullanım alanı sınırlı olabilir. İşlemede kullanılan yağlar parçanın yüzeyine yapışıp çok ince bir film katmanı meydana getirerek parçaların birbirine sürtünüp aşınmasını engeller ve atmosferik şartlara maruz kalıp korozyona uğramasına engel olmaktadır [55]. Mesela titanyum alaşımının imalatında kullanılan kesme sıvısındaki klorun varlığı malzeme yüzeyinde korozyon meydana getirebilir ve imal edilmiş olan malzemenin çalışma süresini etkileyebilir [9].

### 5.2.3. Kimyasal ve Sentetik Kesme Sıvıları

Bu sıvılar suyla bir takım kimyasal maddelerin karıştırılması ile oluşturulur. Görünüş itibariyle emülsiyonlara nazaran daha berrak bir görüntüsü olmakla beraber bu sıvılar muhteviyatına göre katı ve katıksız olarak iki gruba ayrılırlar. Katı olan grupta soğutma özelliğinin iyi olmasının yanında yüksek korozyon direnci ve yağlayıcı etkisi vardır. Yüksek basınç yani EP aditiflerinin ilave edilmesi ile yağlama yetenekleri daha da artmaktadır. Kimyasal ve sentetik kesme sıvıları standart üstü kesme sıvısı ihtiyacı duyulan proseslerde (frezeleme, raybalama, broşlama) ve CNC tezgahlarda da tercih edilmektedir. Bu sentetik kesme sıvıları her ne kadar yüksek antikorozyf yapısı ve üstün soğutma özelliği olmasına rağmen, aditifli olanlara göre yağlama kabiliyeti yönünden istenilen performansı gösterememektedir. Bu sebeplerden ötürü taşlama işlemlerinde tercih edilmektedirler [30].

Yağlayıcı yetenekleri iyi olmadığından ötürü bu özelliklerinin geliştirilmesi maksadıyla içlerine belirli oranda yağ ilave edilerek yarı kimyasal kesme sıvıları oluşturulabilir. Aşındırıcı özelliği olan sentetik kesme sıvıları deride tahriş ve alerjiye sebebiyet verebilir ve bazı durumlarda köpüklenme de yapabilir [30]. Ayrıca bu sıvılar kimyasal madde ihtiva ettiği için atmosferik ortamda insan sağlığı açısından olumsuz yönleri vardır [54].

### 5.2.4. Gazlar

Talaşlı imalatta hava, hem soğutma hem de çok az miktarda yağlama etkisi meydana getirir. Hal böyleyken kuru işlemede ortamda bulunan hava kesme sıvısı vazifesi görür. Aynı zamanda bazı durumlarda verimliliği arttırmak adına kompresör vasıtası ile kesme bölgesine basınçlı hava gönderilir. Sadece hava ile kalmayıp argon, nitrojen helyum ve deney aşamasında olan karbondioksit gazı da kullanılmaktadır[30].

Kesme sıvısı yerine gaz kullanımı daha çok havacılık ve uzay sanayisinde kuru kalması gereken proseslerde uygulanır. Maliyetinin düşük olması sebebiyle sık kullanılan hava cebri taşınımıyla soğutma yapabilmek için sıkıştırılarak kesme bölgesine gönderilir. Basınçlı kullanılan hava talaş uzaklaşma görevini yerine getirebilir, fakat basınçlı hava kullanılan yöntemlerde gürültü istenmeyen bir durumdur. Karbondioksit kesme bölgesine

sıkıştırılarak gönderilirse buharlaşma vasıtasıyla soğutma yapmış olur. Paslanmaz çelik ve inconel malzemelerde, kriyojenik yöntemler uygulanarak verimli sonuçlar elde edilmektedir [56].

Su temelli kesme sıvısı zerreciklerinin hava ile karışımından ibaret olan hava-yağ sisi, çoğu uygulamada kesme sıvısı vazifesini görür. Bu uygulama daha çok parmak freze ile yapılan küçük bölgede çalışılan kesme işlemlerinde kullanılmaktadır [57].

### 5.3. Kesme Sıvılarının İnsan Sağlığına Olumsuz Etkileri

Talaşlı imalatta kullanılan kesme sıvıları amacına uygun kullanıldıkları sürece talaş kaldırma poroselerini önemli ölçüde kolaylaştırırlar. Fakat bu avantajlarının yanında birçok dezavantajı vardır. Kesme sıvılarının içeriği kimyasal olduğu için insan ve doğaya verdiği zararlar yadsınamaz [58]. Bu sıvılar insanlarda önemli cilt ve solunum yolu hastalıklarına sebep olmaktadır. Meydana gelen cilt rahatsızlıklarının %80'i kimyasalların cilde doğrudan temas etmesi dolayısıyla olur. Temas hastalığı olarak da bilinen bu rahatsızlık çoğunlukla tahrişlere sonuçlanan sıvı konsantrasyonunun fazla olduğu veya cilde çok uzun süre temas ettiği durumlarda gözlemlenir [59].

Kullanılan kesme sıvılarının raf ömürlerine uygun süre içerisinde kullanmak operatör sağlığı açısından büyük önem arz etmektedir. Zamanında ve amacına uygun olarak kullanılmayan sıvılarda bakteri oluşumu, sıvının kimyasal yapısının değişmesi, kirlenme gibi etkileri görülmektedir. Kesme sırasının bozulması ürün kalitesi başta olmak üzere takım, tezgâh ve operatör sağlığı açısından olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bunlardan ötürü bakanlığın bu konuda yayınladığı talimatlarda minimum miktarda artık oluşturarak soğutma sıvısı kullanımını teşvik etmektedir. Bu sıvıların sebep olduğu sağlık sorunları birçok faktöre bağlıdır [60].

Soğutma sıvıları insan vücuduna farklı şekillerde temas etmesiyle, çeşitli hastalıklara sebep olur. Özellikle çalışma ortamındaki havalandırmanın zayıf olması işçilerin yoğun bir şekilde kimyasalın etkisi altında kalmasına neden olur. Eldivensiz bir şekilde sıvıya dokunmak, maskesiz çalışmak ve yapılan işe uygun iş kıyafeti kullanılmaması sebebiyle cilt problemlerine, deride tahriş ve kızarıklığa, şişme ve kabarıklık oluşumuna sebep olur.

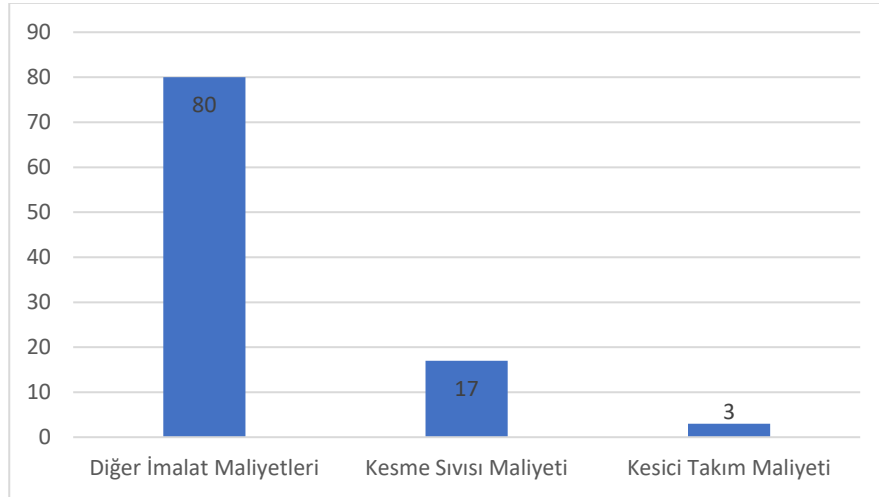
Cilt tahrişlerinin derecesi ise temasla orantılıdır [61]. Kesme sıvılarının yanlış ve kontrolsüz kullanımı neticesinde; dermatit (dermatitis), folliculitis, cilt kanseri ve solunum yolu problemleri gibi olumsuz durumlarla karşılaşmaktadır [57].

#### **5.4. Sürdürülebilir Soğutma Yağlama Yöntemleri**

Kesme sıvısını oluşturan maddeler her ne kadar tek başlarına güvenli olsalar da birbirleriyle birleştikten sonra tahrişlere ve alerjiye sebep olabilmektedirler. Endüstride kullanılan sıvıların neredeyse tamamı petrol türevi olduğundan, toksik ve biyolojik anlamda dönüşemediğinden dolayı solunum yolu rahatsızlıklarına, cilt hastalıklarına ve kansere bile sebep olmaktadır. Kuru kesme koşulları, kesme sıvısı kullanımını sınırlandıran en önemli etkidir. Fakat talaşlı imalat yöntemlerinde meydana gelen ısının bertaraf edilmesi kuru kesme metoduyla mümkün olmadığından, kesici takımın ısınması gibi olumsuz etkileri olmaktadır. Dolayısıyla bu yüksek ısı özellikle takımda farklı aşınmalara sebep olmaktadır. Kesme sıvısının minimum düzeyde kullanılması ve yarı kuru üretim yönteminin tercih edilmesi sayesinde kuru üretim yöntemine nazaran daha iyi sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır [33].

#### **5.5. Minimum Miktarda Yağlama (MMY)Yöntemi**

Kesme sıvıları malzeme yüzeyinde yağ tabakası meydana getirip, kesici takım ve malzeme arasında yağlama vazifesine ek olarak soğutma da yaparak, ısıdan ötürü meydana gelebilecek tahribatları ve mekanik bozuklukları en aza indirirken, takım ömrünü de pozitif yönde etkiler. İşleme verimliliği yönünden bakıldığında takım ömrüne katkı sağlaması, yüzey kalitesini iyileştirmesi ve meydana gelen kesme kuvvetlerini en aza indirmesi sebebiyle kesme sıvıları kullanımı ön plana çıkmaktadır. Küresel anlamda bakıldığında kesme sıvılarının üretimdeki rolü çok büyüktür (Şekil 5.5) [63].



Şekil 5.5. Kesme sıvısı maliyetinin toplam üretim maliyetindeki yeri (%) [49]

Kesme sıvılarının imalat sektöründe üretim maliyetleri önemli bir paya sahip olmakla beraber, kullanımının minimum seviyelere indirilmesi insan ve çevreye verdiği zararları düşündüğümüzde elzemdir. Bu yöntem kesme sıvılarının kullanımını en aza indirmek için alternatif bir yöntem olarak ele alınmalıdır. Yarı kuru işleme olarak bilinen bu yöntem 20 ml/saat gibi az miktarda bir yağın kesme bölgesine nozul aracılığıyla aerosol sis buharı olarak basınçlı bir şekilde gönderilmesi yöntemidir. Fakat minimum miktarda yağlama sisteminde sıvı durumdaki partiküller operatör sağlığını olumsuz etkilememesi için püskürtme miktarı 10 µm'den daha büyük olması gerekmektedir. Sıvının kesme bölgesine gönderilme hızı ortalama 10-100 ml/saat'tir. Minimum miktarda yağlamadaki bu akış hızı çoğunlukla sulu kesmeyle kıyasladığımızda yirmi bin kat daha azdır. Bundan dolayıdır ki bu yöntemde kullanılan sıvı miktarları çok azdır [63].

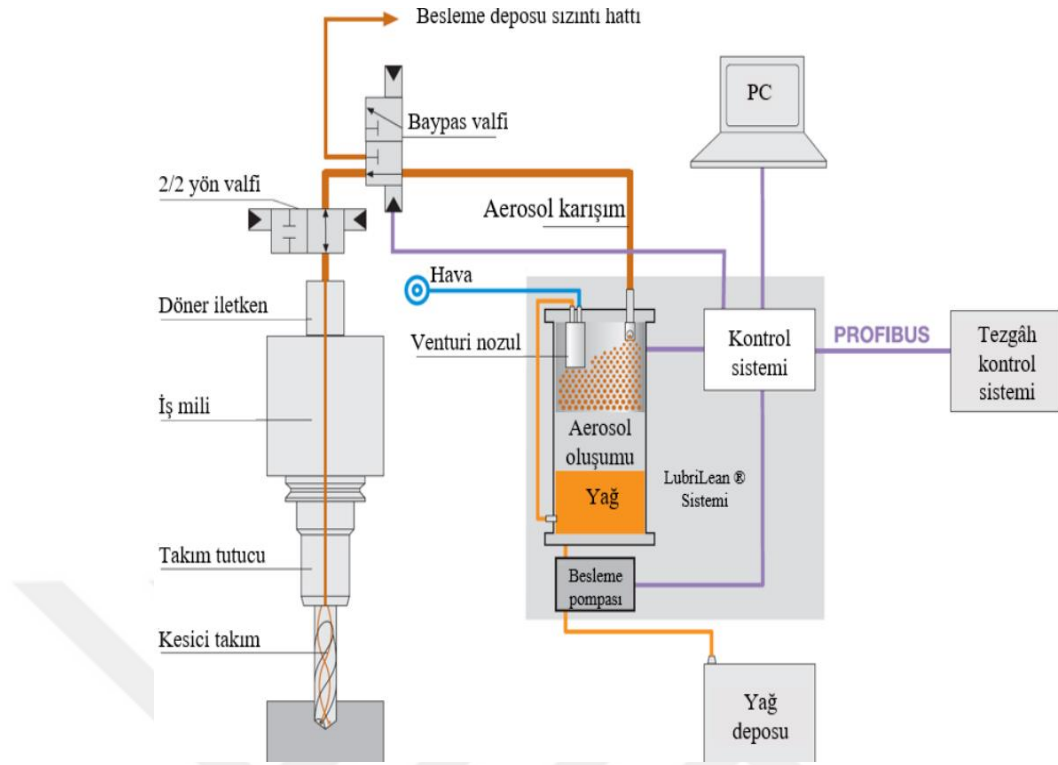
Minimum miktarda yağlama yöntemi sürdürülebilirlik çalışmaları neticesinde 1996 yılında W. D. Hewson ve G. K. Gerow isimli bilim adamları tarafından uygulanmaya başlanmıştır [62]. Minimum miktarda yağlama yöntemi ile ilgili yapılan çalışmalarda ford motor şirketi açıkladığı belgelerinde minimum yağlama yönteminin %13 oranında üretim maliyetlerini azalttığını belirtmiştir. Bu yöntem talaşlı imalatın hemen hemen her prosesinde kuru ve ıslak işleme yöntemlerini bir arada barındırarak avantajlı bir yöntem haline gelmiştir. Bu sayede istenilen üretim maliyeti hedeflerine ulaştırmakta ve çevreye verdiği zarar da en aza indirilmektedir [33].

Minimum miktarda yağlama yönteminde ihtiyaç olan yaklaşık 10 barlık basınçlı havayı karşılayabilmek için bir kompresör kullanılır. Kompresör vasıtasıyla alınan yüksek basınçlı hava sıvı haznesine gönderilir. Küçük ve esnek olan bir tüp ile hazneler birbirine bağlanmış ve bu sayede karıştırılan kesme sıvısı-hava birleşimi basınçlı hava yardımıyla kesme bölgesini gönderilir [65].

Minimum miktarda yağlama yöntemi kesme sıvısının bölgeye gönderilme şekline göre içeriden ve dışarıdan olmak üzere 2 farklı şekilde uygulanabilir. Sıvının dışarıdan gönderildiği yöntemde atomizerde bulunan aerosol takıma dışarıdan monte edilerek bir nozul yardımıyla işleme alanına püskürtülmektedir. Sıvının içeriden gönderildiği yöntemde ise takımın içine yerleştirilmiş bir kanal vasıtasıyla kesme yapılan alana kesme sıvısı püskürtülmektedir [64].

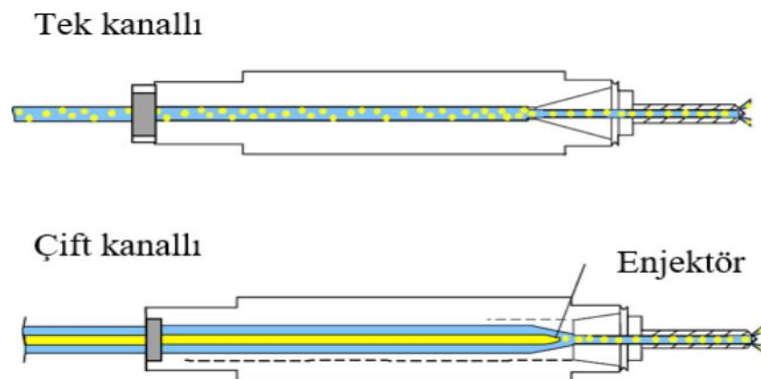
#### **5.5.1. Kesici Takım İçinden Uygulanan MMY Yöntemi**

Bu yöntemde soğutma işlemi havayla yapılmakta, yağlama ise havanın içinde bulunan aerosol adı verilen küçük yağ damlacıkları ile yapılmaktadır. İçeriden uygulanan bu sistemde, içeride üretilen aerosol hortumlar vasıtasıyla döner milin içine gönderilir. Takımın içinde bulunan soğutma kanalları vasıtasıyla sıvı işleme parçasına gönderilmiş olur (Şekil 5.6) [65].



Şekil 5.6. Kesici takımın içinden uygulanan minimum miktarda yağlama yöntemi [65]

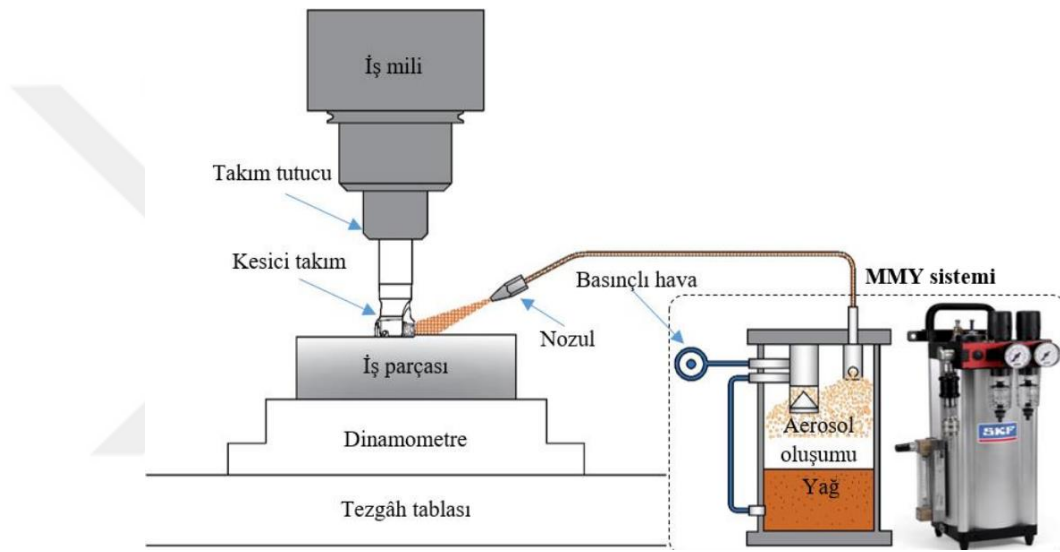
Bu yöntemde kendi içinde tek ve çift kanallı olarak 2 farklı gruba ayırabiliriz (Şekil 5.7) Tek kanallı sistemin işleyişinde, dışarıda hazırlanmış olan yağ hava karışımını takıma püskürtülür, çift kanallı sistemde de takım içerisine ayrı ayrı gelen yağ ve hava burada karıştırılır. Dahili MMY sisteminde özel bir yöntemle aerosol oluşturulduğu için damlacık boyutu  $0,3-1 \mu\text{m}$ 'ye kadar indirilebilmektedir. Haliyle damlacıkların boyutu küçük olduğu için bunları üreten malzemeler de küçük olmakta ve takımda istenilen noktalara tesir edebilmektedirler [65].



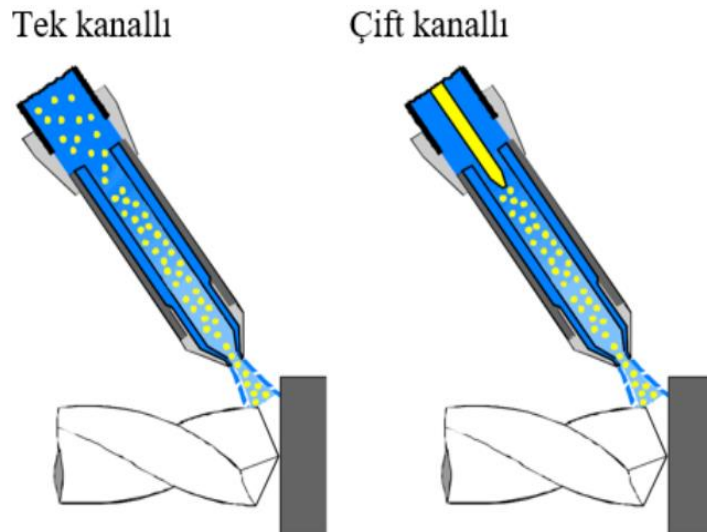
Şekil 5.7. Kesici takımın içinden uygulanan MMY kanalları [33]

### 5.5.2. Kesici Takım Dışından Uygulanan MMY Yöntemi

Kesici takım dışından uygulanan minimum miktarda yağlama yönteminde sabit nozullar vasıtasıyla dışarıdan soğutma sıvısı enjekte edilerek yapılır. Bu sistem püskürtme ağzı, soğutma hortumları ve çoklu karışım düzenleyicisinden oluşur. Kompresör vasıtasıyla gönderilen basınçlı hava sisteme verilir ve böylece nozuldaki basınç artar. Basınçlı hava vasıtasıyla hava ile kesme sıvısı birbirine karışmadan kesme bölgesine gönderilir (Şekil 5.8) [65].



Şekil 5.8. Kesici takımın dışından uygulanan MMY sistemi [33]



Şekil 5.9. Kesici takımın dışından uygulanan MMY kanalları [33]

Dahili yöntem gibi, harici yöntemde de tek ve çift kanallı yöntemler vardır. Tek kanallıda yağ ile hava dışarıda ayrı bir yerde hazırlanarak enjekte edilirken, çift kanallıda ise yağ ile hava ayrı ayrı nozul ya da takım içerisine gelerek burada karışması sağlanır. Dıştan püskürtmeli yöntemin kullanıldığı işlemlerde aerosol takımın dış kısmından ihtiyaca göre bir ya da birden fazla nozulla enjekte edilir. Burada esas parametreler nozulun yönü, düzeni ve sayısıdır. Bu yöntem daha çok tornalama proseslerinde, kesme işlemlerinde ve parmak ve alın frezeleme yöntemlerinde uygulanmaktadır. Diş açma, raybalama ya da delme proseslerinde sadece uzunluk/çap'ın birbirine oranı  $1/d < 3$  gibi bir değer olması halinde dıştan püskürtme yöntemi uygulanabilir (Şekil 5.9) [66].



## 6. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan bu tez çalışması kapsamında deneyler Bingöl Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi laboratuvarında bulunan CNC freze tezgâhı ve diğer ölçme ekipmanları vasıtası ile gerçekleştirilmiştir. Materyal ve metot bölümünde deneylerin tasarlanması, aşamaları (Tablo 6.1), malzeme seçimi, deneylerin yapılması, ölçme ve verilerin toplanması, deneylerde kullanılan ekipman ve malzemeler hakkında bilgi verilecektir.

Tablo 6.1. Deney aşamaları

Parametreler	Birinci aşama	İkinci aşama	Üçüncü aşama	Dördüncü aşama
<b>Kesme koşulu</b>	Kuru	MMY (saf kesme yağı)	%0,1 SiO <sub>2</sub>	%0,2 SiO <sub>2</sub>
<b>Kesme hızı (m/dak)</b>	100-130	100-130	100-130	100-130
<b>İlerleme hızı (mm/dev)</b>	0,08-0,1	0,08-0,1	0,08-0,1	0,08-0,1
<b>Kesme derinliği (mm)</b>	0,7	0,7	0,7	0,7

### 6.1. Deneylerde Kullanılan Malzeme ve Ekipmanlar

#### 6.1.1. Deneyde Kullanılan Malzemeye Ait Özellikler

Deneylerde, 50x50x25 mm boyutlarında yüksek molibden oranına sahip CPOH soğuk iş iş çeliği kullanılmıştır. CPOH çelik malzeme; darbe çeliklerinin darbe özelliklerini ve %12 kromlu çelik malzemenin üstün aşınma dayanımını barındıran bir soğuk iş takım çeliğidir. Bu malzemenin tokluk değeri 1.2379 (X153CrMoV12) çeliğine nazaran daha iyidir. En yüksek sertlik değeri yaklaşık olarak 63R<sub>C</sub>'dir ve bu değer 520-560 °C sıcaklıkta menevişleme ile elde edilmektedir. Ortalama çalışma sertliği; 58-62 R<sub>C</sub>' dir [77]. Ayrıca malzeme içindeki molibden demir çelik sanayisinde sıkça kullanılan bir elementtir. Çelik malzemelere sertlik kazandırarak direncin artmasını sağlar ve kullanıldığı malzemenin ateş karşısında dayanımını artırır [78].

CPOH soğuk iş takım çeliğinin sanayideki kullanım alanlarına bakacak olursak; cıvata sektöründe ovalama makinalarında, talaşlı imalatta kesme takımlarında, demir çelik

sektöründe hadde makinalarında, derin çekme kalıplarında, 10 mm'ye kadar kalınlıktaki sacların kesme kalıplarında, soğuk zımbalarda, silindirik yonga bıçakları imalatında, kırılma dayanımı düşük olan bölgelerde, mobilya sektöründe ağaç işleme takımlarında, makas bıçağı üretiminde ve aşındırma kabiliyeti yüksek plastiklerin kalıplarında yaygın olarak kullanılmaktadır [68]. CPOH soğuk iş takım çeliğinin kimyasal analizi tablo 6.2'de görülmektedir.

Tablo 6.2. CPOH çeliğinin kimyasal analizi (%) [68]

CPOH Çeliği				
% C	% Cr	% MO	% V	% diğer
1	8	2.5	0.30	

### 6.1.2. Deneyde Kullanılan Kesme Sıvısı

Deneyde MMY sisteminde kesme sıvısı tercihi; püskürtme sistemlerinde yaygın kullanılan, içerik olarak yüksek dirençli katkıları barındıran hidrodinamik yağlama özelliği yüksek olan kesme ve talaş kaldırma proseslerinin yanında diş açma, zımbalama gibi işlemlerde de tercih edilen KT-2000 sentetik yağ kullanılmıştır. Kesme sıvısına ait özellikler tablo 6.3'te verilmiştir.

Tablo 6.3. KT-2000 Sentetik yağ özellikleri [71]

KT – 2000 Sentetik Yağ				
Kesme Yağı Kodu	Yoğunluk (20°C g/ml)	Viskozite (40°C, mm <sup>2</sup> /sn)	Parlama Noktası (°C)	Görünüş
KT-2000	0,85	12	>175	Açık Kırmızı

### 6.1.3. Deneyde Kullanılan Takım ve Takım Tutucular

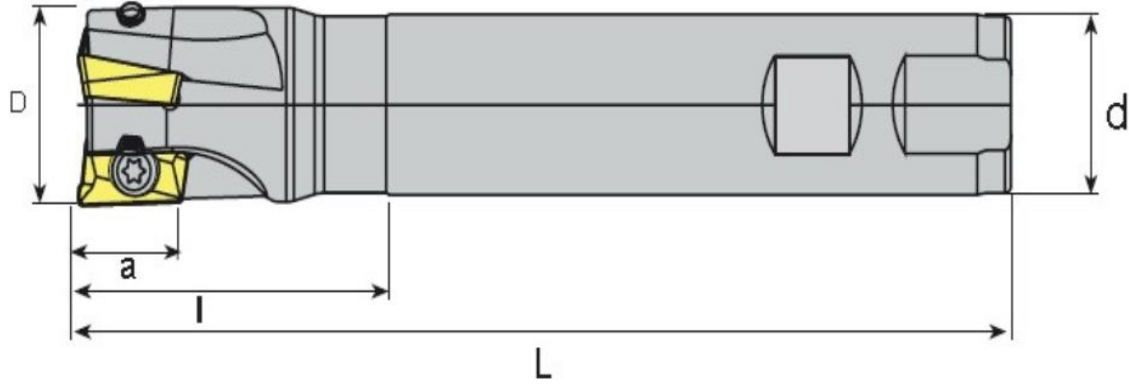
Deneylerde ISCAR firmasına ait AI-TiN kaplamalı HM 90 APKT 1003PDR IC908 kesici uç kullanılmıştır. Kesici ucun takıldığı Smoxh marka ST90 AP10 D12 W12 L 120 Z01 seri numaralı freze takımı ise tek dişlidir. Kullanılan takım tutucu ise MAS 403 BT 40 olup takım tutucuya 40 mm sıkma uzunluğu ile bağlanmıştır. Deneylerde kullanılan kesici uç ve freze takımına ait ölçüler tablo 6.4 ve tablo 6.5'te verilmiştir.

Tablo 6.4. Kesici uca ait ölçüler

ISCAR AL-TİN	Ölçüler (mm)
Kesici uç uzunluğu	11,45
Kesici uç genişliği	6,76
Kesici uç kalınlığı	3,53
Köşe radyusu	0,8



Şekil 6.1. Deneylerde kullanılan kesici uç



Şekil 6.2. Deneylerde kullanılan freze takımı [72]

Tablo 6.5. Deneylerde kullanılan freze takımına ait ölçüler [72]

Ürün kodu	Ölçüler (mm)					
	D	d	Z	L	l	a
ST90 AP10						
ST90 AP-D12-W12-L120-Z01	12	12	1	120	30	10

#### 6.1.4. Deneyde Kullanılan İşleme Tezgâhı

Frezeleme işlemleri, Bingöl Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan 3 eksenli Dahlih MCV-860 marka dik işleme merkezinde yapılmıştır (Şekil 6.3). CNC frezenin kontrol ünitesi FANUC Series Oi-MD'dir. Hava ihtiyacının ortaklaşa kullanıldığı deneylerde iki ayrı kesme hızında (100 m/dak-130 m/dak) ve iki farklı ilerleme hızında (0,08 mm/dev-0,1 mm/dev) kuru, minimum miktarda yağlama ve nano partikül ilaveli kesme sıvısı ile deneyler yapılmıştır.

Kesme parametreleri seçiminde takım katalogunda yer alan veriler dikkate alınmış olup her deney öncesinde malzeme yüzeyi temizlenmiştir. Deneyler sabit (0,7 mm) kesme derinliği ve sabit (12 mm) kesme genişliğinde yapılmıştır. CNC freze işleme tezgahına ait teknik özellikler tablo 6.6'da verilmiştir.



Şekil 6.3. Deneyde kullanılan CNC freze tezgâhı [70]

Tablo 6.6. Deneyde kullanılan CNC tezgahına ait teknik özellikler [70]

Model	Dahlih MCV-860
İş mili devri	10.000 rpm
X-Y-Z Ekseninde hareket	860-550-550 mm
X-Y-Z Eksenlerinde hareket hızı	40-40-30 m/dak
X-Y-Z Eksenlerinde kesme hızı	10-10-10 m/dak
X-Y-Z Eksenlerinde motor gücü	3-3-4 kW
İş mili motor gücü	11/7,5 kW
Hava ihtiyacı	6 bar
Tabla iş mili mesafesi	150-700 mm
Takım sayısı	24
Max. Takım ağırlığı	7 kg

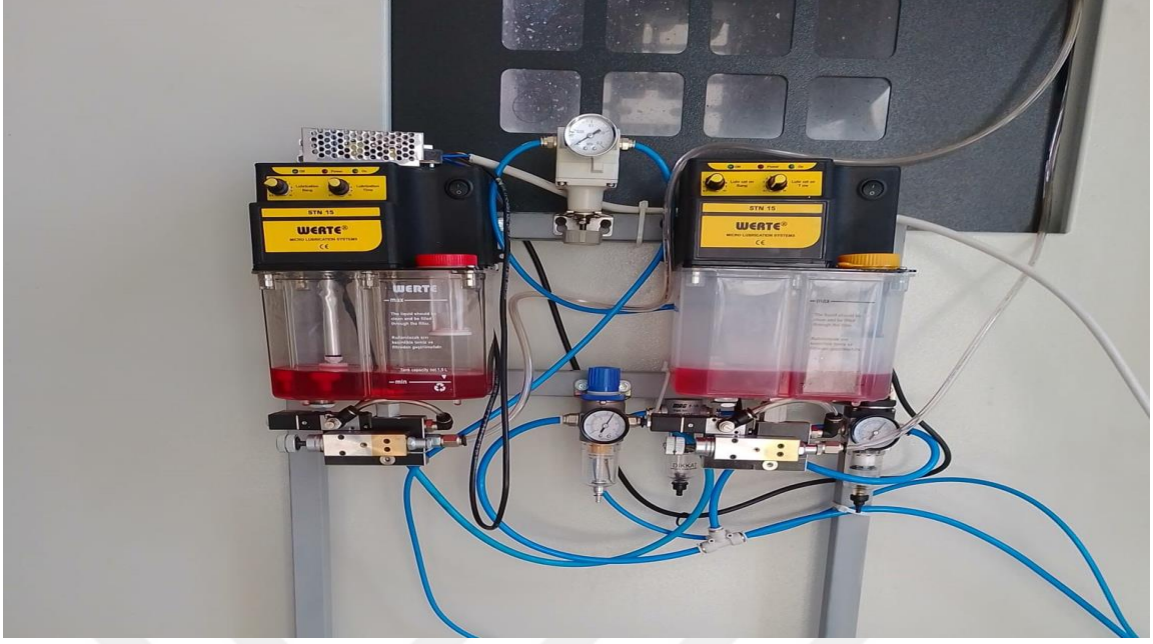
### 6.1.5. Minimum Miktarda Yağlama Sistemi

Deneylerde Werte marka STN15 model harici Minimum Miktarda Yağlama sistemi (Şekil 6.4) kullanılmıştır. Sisteme ait yağ haznesi deney öncesi temizlenmiş ve deneye hazır hale getirilmiştir. Numunelerin tamamının işlenmesinde Minimum miktarda yağlama sistemi hava basıncı 6.5 bar'da sabit olarak ayarlanmıştır. Sistemde kullanılan nozul 3 mm iç çapa sahip olup, nozulun kesme bölgesine uzaklığı yaklaşık 60 mm'dir.

Deneylerde kullanılan Minimum Miktarda Yağlama sistemine ait özellikler tablo 6.7'de verilmiştir.

Tablo 6.7. Minimum miktarda yağlama sisteminin teknik özellik tablosu [69]

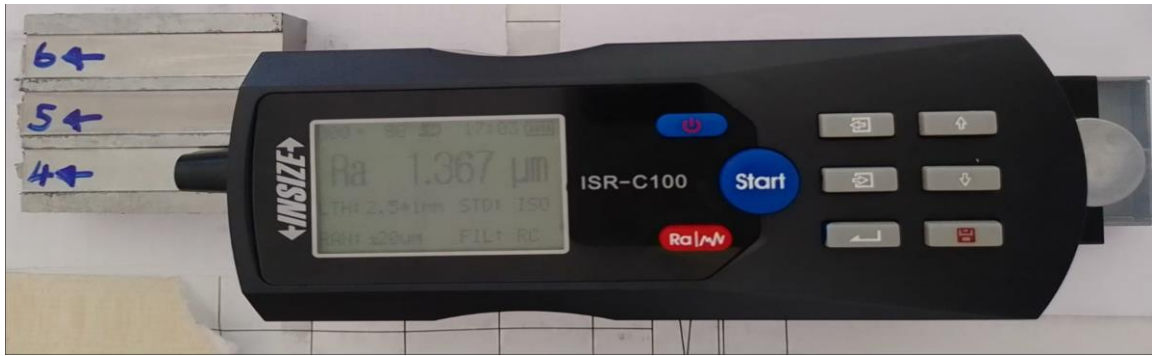
Özellik	Değer
Model	STN15
Kapasite	1.5 lt
Gövde	Plastik
Güç Tüketimi	5 Watt
Hava Basıncı	4-8 bar
Yağ Miktarı Ayarı	24 Kademe
Yağ Miktarı Min.	0.0012 ml
Yağ Miktarı Maks.	0.028 ml
Çalışma Sıcaklığı	-15C°-70C°
Vizkozite Aralığı	2-30 cst
Çalışma Voltajı	230 V – 24V AC/DC



Şekil 6.4. Minimum miktarda yağlama sistemi

### 6.1.6. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Numunelere uygulanan frezeleme işlemi sonrasında yüzeylerde meydana gelen pürüzlülüğü tespit etmek amacıyla INSIZE marka ISR-C100 model profilometre kullanılmıştır (Şekil 6.5). Yüzey pürüzlülüğü ile ilgili yapılan ölçümler ISO 4288 standartlarına göre yapılmıştır. Ölçümlerde hata oranını minimize etmek amacıyla numunenin farklı noktalarından ölçümler alınıp bu değerlerin aritmetik ortalamasına göre yüzey pürüzlülük oranları ( $R_a$ ) tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazına ait teknik bilgiler tablo 6.8’de verilmiştir.



Şekil 6.5. Deneysel olarak kullanılan yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

Tablo 6.8. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı teknik özellikleri

Parametreler	Oran
Limit	0.25 mm
n*limit	51
Standart	ISO
Oran	$\pm 80 \mu\text{m}$
Filtre	RC
Ekran	Ra

### 6.1.7. Kesme Sıcaklığı Ölçüm Cihazı

İmalat esnasında, yüzey boyunca kesici takımla iş parçası ve takım ile talaş arasındaki sürtünme ve yüksek basınç sebebiyle ısı oluşumu görülmektedir. Kesme bölgesinde meydana gelen bu ısının az bir kısmı iş parçası ve kesici takıma geçerken, büyük bir kısmı ise talaş ile bölgeden tahliye edilir [75]. Meydana gelen bu sıcaklıklar yüksek değerlere ulaştığında takım ömrü azalmakta ve yüzey kalitesinde istenmeyen deformasyonlara sebep olmaktadır [33]. Ayrıca aşınmanın ilerlemesiyle takım ile iş parçası arasındaki temas artarak sıcaklığın yükselmesine sebep olmaktadır. Bu sebeplerden ötürü kesme bölgesindeki bu sıcaklığının belli değerlerde tutulması gerekmektedir. Yapılan deneylerde, yüzeylerde meydana gelen kesme sıcaklıklarının tespiti için Testo 885 marka termal kamera kullanılmıştır (Şekil 6.6). Görüntüler işleme sırasında frezeleme işlemi tamamlanmadan hemen önce yaklaşık 500 mm mesafeden kayıt altına alınmıştır. Deneylerde kullanılan termal kamera ile ilgili teknik özellikler tablo 6.9'da verilmiştir.



Şekil 6.6. Testo 885 termal kamera [50]

Tablo 6.9. Termal kamera teknik özellikleri [73]

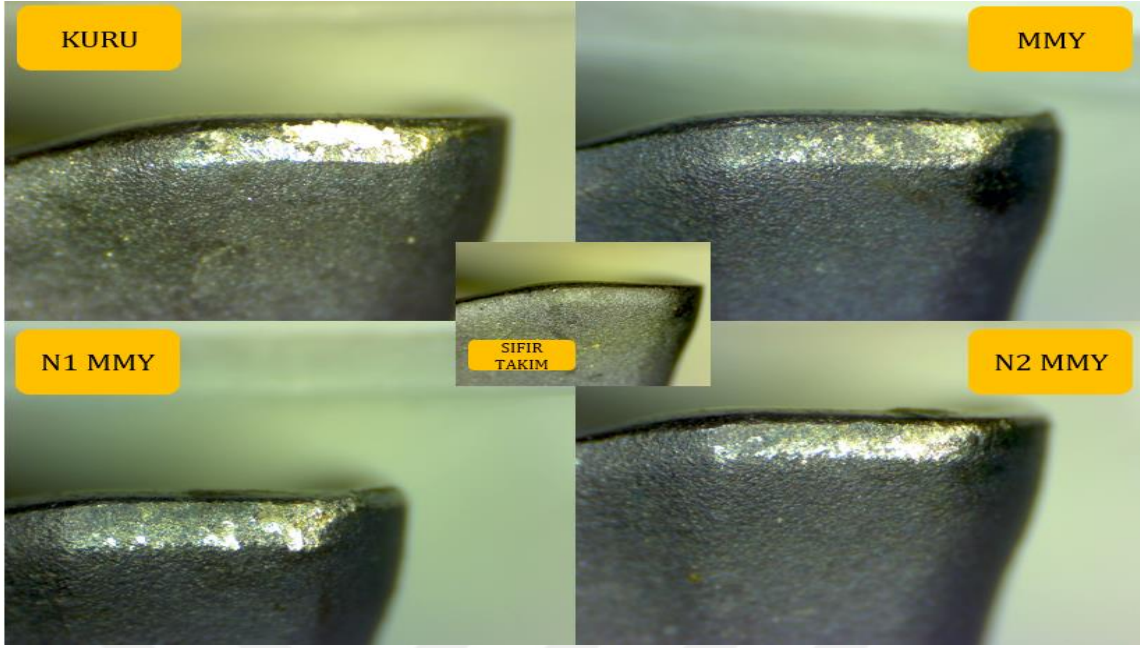
Testo 871 özellikleri	Değer
Emisivite	0.01-1
Sıcaklık Ölçüm Aralığı	-30...+100°C - 0...+650°C
Dijital zom	1x3
Görüş Alanı	30° x 23°
Spektral Aralık	7.5 ... 14µm
Ekran Seçeneği	IR görüntü Gerçek Görüntü
Infrared Çözünürlük	272 x 480 Piksel
Dedektör tipi	240x320 Piksel
Termal Duyarlılık	30 mK

### 6.1.8. Kesici Takım Aşınma Değeri Ölçümü

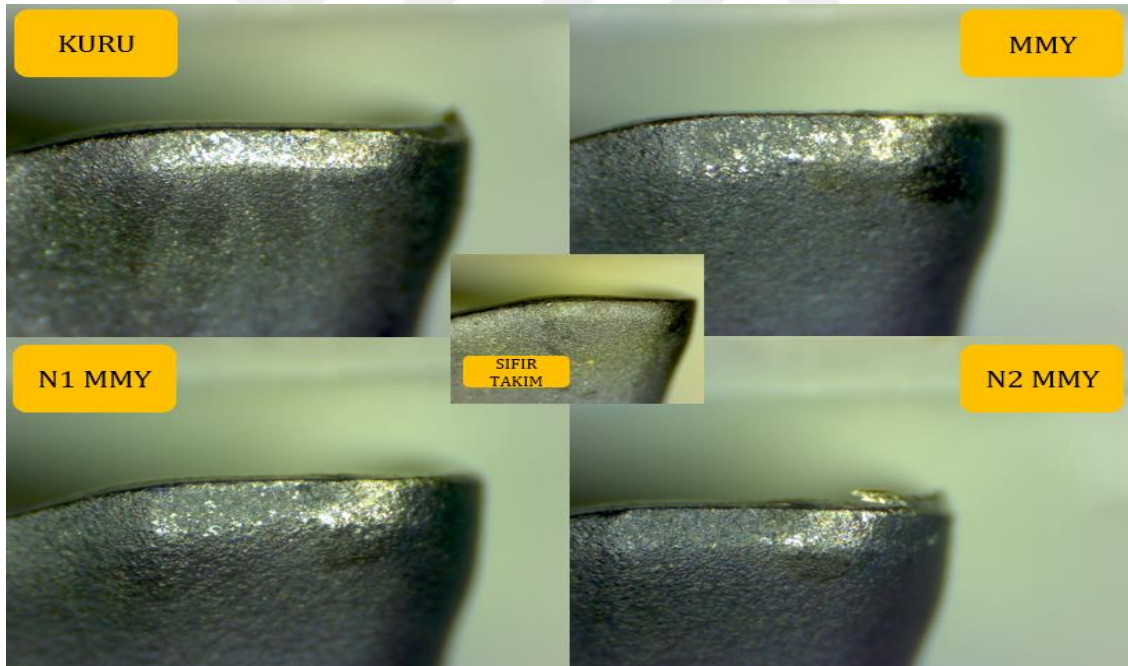
Yapılan deneylerin her birinde farklı kesici uç kullanılmış ve bu uçlarda meydana gelen aşınma miktarı ( $V_b$ ) Bingöl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi laboratuvarında bulunan insize ISM PM200SB (insize, Suzhou New Distric, Çin) dijital ölçüm kamerasıyla tespit edilmiştir (Şekil 6.7).



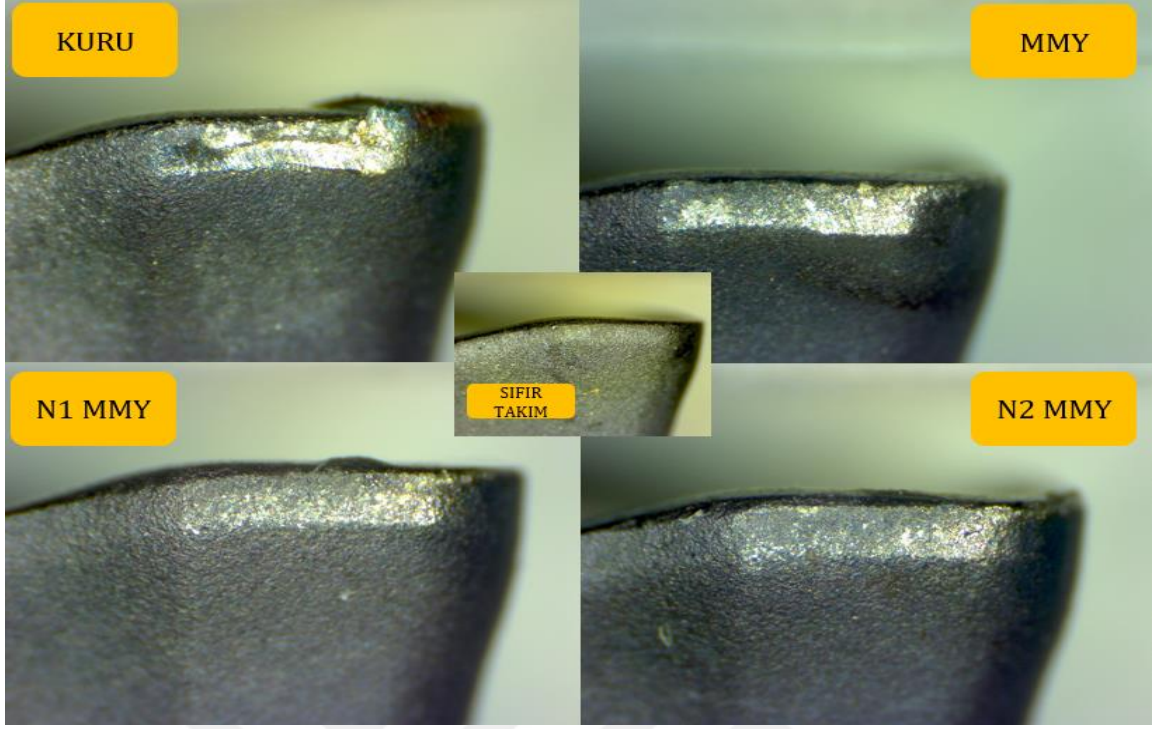
Şekil 6.7. Dijital ölçüm mikroskobu [50]



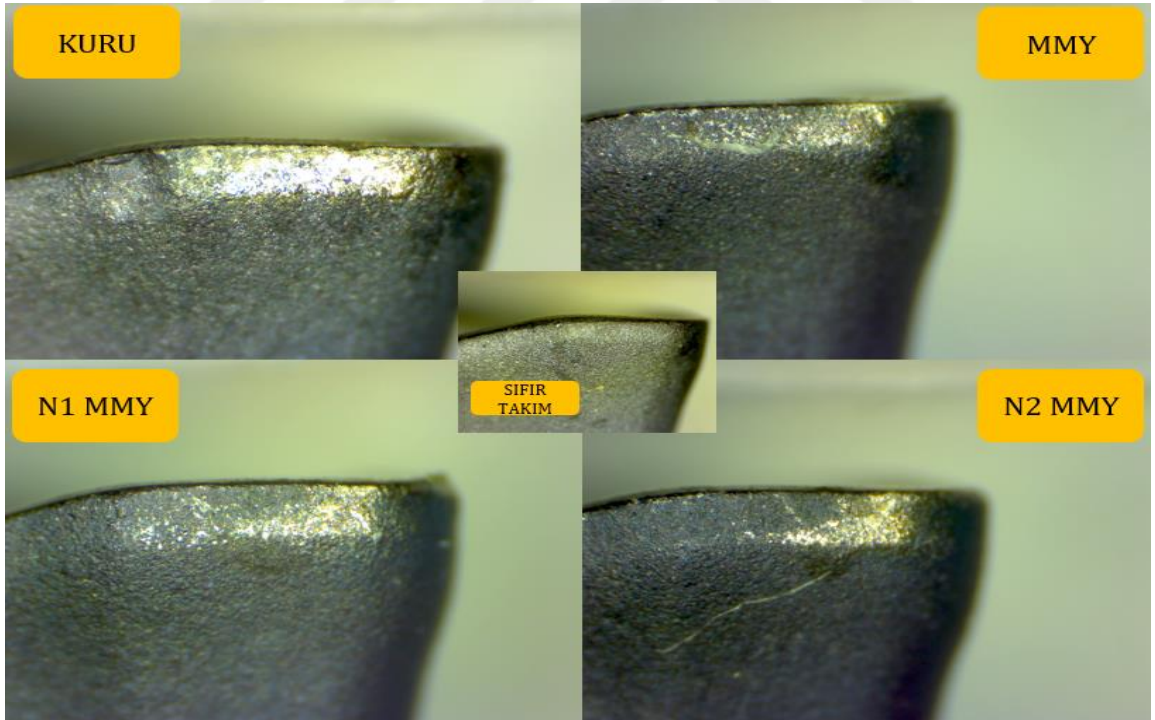
Şekil 6.8. 100 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/dev ilerleme hızlarında serbest yüzey aşınması



Şekil 6.9. 100 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme hızlarında serbest yüzey aşınması



Şekil 6.10. 130 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/dev ilerleme hızlarında serbest yüzey aşınması



Şekil 6.11. 130 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme hızlarında serbest yüzey aşınması

Yukarıdaki şekillerde kesici takımın tüm kesme ortamlarında, iki farklı kesme (100 m/dak-130 m/dak) ve iki farklı ilerleme (0,08 mm/dev-0,1 mm/dev) hızlarında yan yüzeylerinde meydana gelen aşınması miktarları görülmektedir.

### 6.1.9. Güç Ölçümü

Deneyde güç ölçümleri HIOKI PW 3198 marka güç analizörü kullanılarak yapılmıştır (Şekil 6.12). Cihaz aktif güç olarak gösterdiği sonuçları üç fazdan akım- gerilim değerlerini ölçerek verir [50]. Güç analizörüne ait teknik bilgiler tablo 6.10'da verilmiştir.

Tablo 6.10. Güç analizörü teknik özellikleri

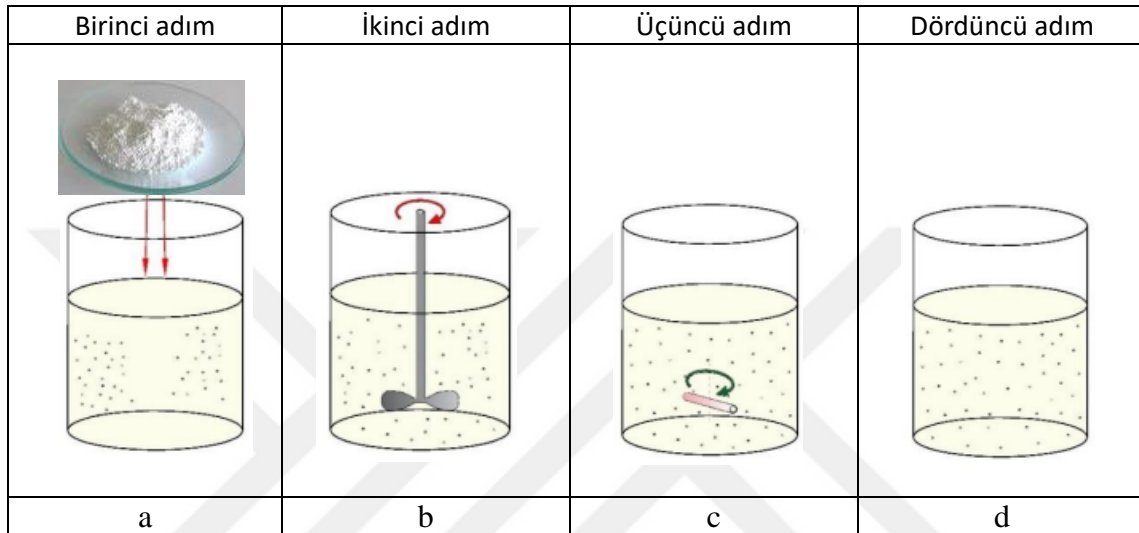
Güç analizörü özellikleri	Değer
Büyütme	10X-200X
Odak mesafesi	Kısa odak mesafesi
Stand	Standart
Odak desteği	Dahil
Kalibrasyon cetveli	Hassasiyet 0,1 ve 1 mm
Piksel	2M(çözünürlük 1600x1200)



Şekil 6.12. Güç analizörü

### 6.1.10. Nanoakışkan Hazırlanması

Nanoakışkanlar, nanopartikül ve baz akışkların belirli oranlarda karıştırılması ile oluşturulur. Deneyler için kullanacağımız nanoakışkanda nanopartikül olarak lipofilik, yani yağda çözünebilir bir nanopartikül olan  $\text{SiO}_2$  kullanılmış, baz akışkan olarak sentetik esaslı kesme sıvısı kullanılmıştır.



Şekil 6.13. Nanoakışkanın hazırlanması a) Nanopartikülün ( $\text{SiO}_2$ ) eklenmesi, b) Mekanik karıştırıcı ile karıştırma c) Manyetik karıştırıcı ile karıştırma, d) Nanoakışkan [33]

Oda sıcaklığı ortam şartlarında sentetik kesme sıvısına ağırlıkça %0,1 ve %0,2 oranında  $\text{SiO}_2$  eklenerek iki farklı karışım hazırlanacaktır. Homojen bir karışım elde edebilmek için karıştırma işlemi 4 aşamada gerçekleştirilecektir. Karıştırma işleminin birinci aşamasında 500 ml sentetik esaslı yağ, bir kaba alınmıştır ve daha sonra  $\text{SiO}_2$  sentetik esaslı yağ içine eklenmiştir. (Şekil 6.3-a). İkinci aşamada ise mekanik karıştırıcı vasıtasıyla 30 dakika boyunca karıştırılmıştır (Şekil 6.3-b). Üçüncü aşamada manyetik karıştırıcı ile 30 dakika karıştırılarak karıştırma işlemi son bulmuştur (Şekil 6.3.c). Dördüncü ve son aşamada ise elde edilen karışım çökme olup olmadığını kontrol etmek amacıyla 24 saat bekletilmiştir. Yapılan gözlem neticesinde çökme olmadığı anlaşılmış ve homojen bir karışım elde edilmiştir (Şekil 6.3-d).

Nanopartikül ile hazırlanan nanoakışkanlarda homojen bir yapı elde etmek amacıyla surfactant (surface active agent) isimli yüzey aktif madde adı verilen farklı kimyasallar kullanılmaktadır [79]. Kullanmış olduğumuz nanopartikül lipofilik, yani yağda çözünme

kabiliyeti olduğu için homojen olarak sentetik esaslı yağda çözüldüğünden dolayı yüzey aktif madde kullanmamıza gerek kalmamıştır.

### 6.1.11. Deney Parametreleri

Tablo 6.11. Deney Parametreleri

Parametreler	
Deney Sayısı	16
Kesme Hızı (m/dak)	100-130
İlerleme Hızı (mm/dev)	0,08-0,1
İşleme Derinliği (mm)	0,7
İş Parçası Malzemesi	CPOH
Nozul Uzaklığı (mm)	60
Nozul Açısı (derece)	45
Kesme Sıvısı	Sentetik esaslı yağ+MMY
Nanopartikül	SiO <sub>2</sub>

Yapılan deneylerle ilgili parametreler tablo 6.11’de verilmektedir. Bu parametrelere uygun olarak 2 değişkenli ve 4 aşamadan oluşan deney planlaması yapılmıştır. Seçilen deney parametrelerine ait değerler takım kataloğunda belirlenen sınırlar içinde kalmak şartıyla bir takım ön deneyler yapılarak tespit edilmiştir. Deney planı hazırlanırken belirlenen parametreler doğrultusunda her bir deneye karşılık gelen değişkenler tablo 6.12’de verilmiştir.

Tablo 6.12. Deneylerde kullanılan değişkenler

Deney No	Parametreler		
	S/Y Koşulu	İlerleme Hızı	Kesme Hızı
1	Kuru	100	0,08
2	Kuru	100	0,1
3	Kuru	130	0,08
4	Kuru	130	0,1
5	MMY	100	0,08
6	MMY	100	0,1
7	MMY	130	0,08
8	MMY	130	0,1
9	N1-MMY (%0,1)	100	0,08
10	N1-MMY (%0,1)	100	0,1
11	N1-MMY (%0,1)	130	0,08
12	N1-MMY (%0,1)	130	0,1
13	N2-MMY (%0,2)	100	0,08
14	N2-MMY (%0,2)	100	0,1
15	N2-MMY (%0,2)	130	0,08
16	N2-MMY (%0,2)	130	0,1

## 7. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, iki farklı kesme hızı ve ilerleme hızı kullanılarak farklı S/Y koşulları altında sanayinin birçok alanında kullanılan CPOH soğuk iş takım çeliğinin işlenebilirliği incelenmiştir. Kesme ve ilerleme hızları ön deneyler sonucu 100 m/dak-130 m/dak ve 0,08 mm/dev-0,1 mm/dev olarak belirlenmiştir. Gerçekleştirilen bu deneylerde kesme derinliği ise 0,7 mm olarak belirlenmiş ve sabit tutulmuştur. Deneyler kuru, MMY (saf sentetik yağ), ağırlıkça %0,1 SiO<sub>2</sub> katkılı nanoakışkan ve ağırlıkça %0,2 SiO<sub>2</sub> katkılı nanoakışkan kullanılarak minimum miktarda yağlama yöntemi ile dört farklı şekilde yapılmıştır.

Her bir kesici uç ile bir deney yapılmıştır. Güç tüketimi, kesme sıcaklığı verileri deney boyunca, yüzey pürüzlülüğü ve kesici takım aşınma verileri ise deneylerden sonra elde edilmiştir. Elde ettiğimiz veriler doğrultusunda yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığı, güç tüketimi ve yanak aşınması parametreleri detaylı bir şekilde açıklanmıştır (Tablo 7.1).

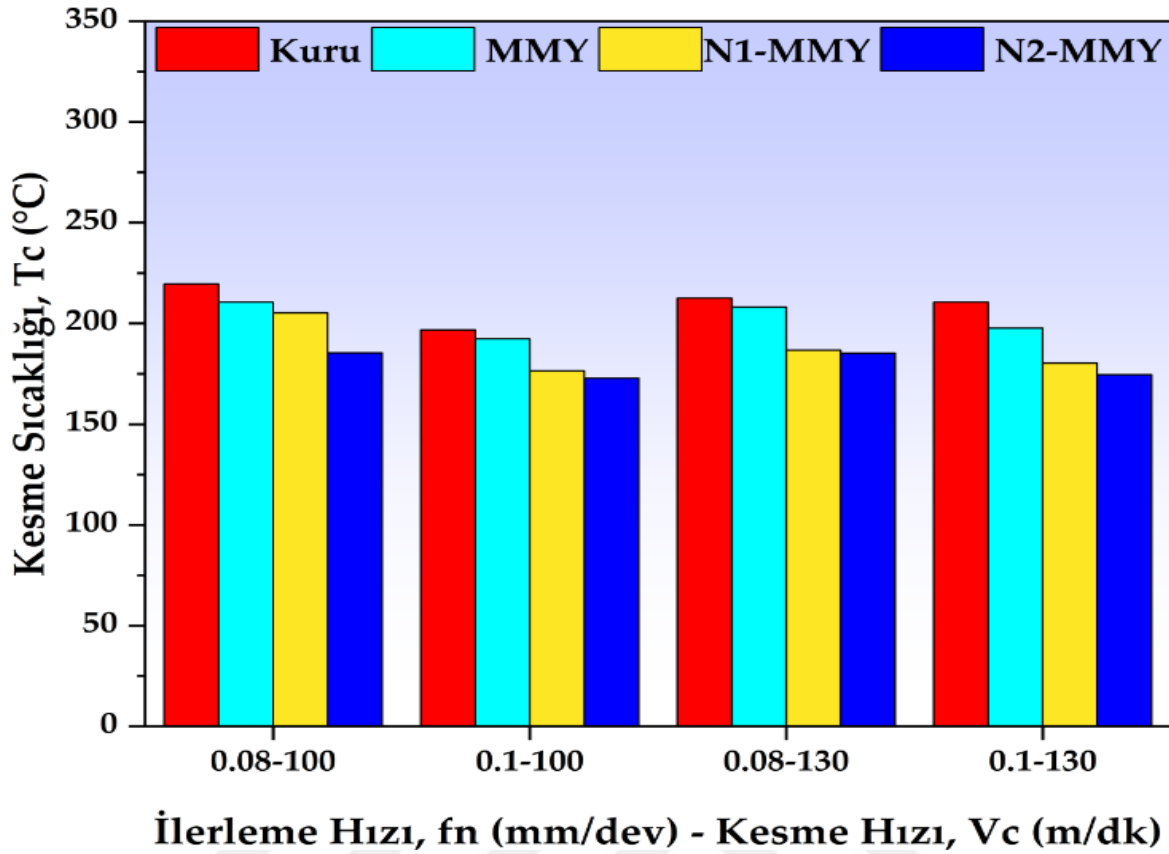
Tablo 7.1. Deneý sonuçları

Deneý No	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme Hızı (mm/dev)	S/Y Koşulu	Kesme Sıcaklığı (°C)	Yüzey Pürüzlülüğü (µm)	Güç Tüketimi (kJ)	Yan Aşınma (mm)
1	100	0,08	Kuru Kesim	<b>219,5</b>	1,25	64,44	0,372
2	100	0,1	Kuru Kesim	196,8	1,359	57,1	0,377
3	130	0,08	Kuru Kesim	212,5	1,471	61,8	<b>0,42</b>
4	130	0,1	Kuru Kesim	210,5	<b>1,511</b>	<b>52,12</b>	0,381
5	100	0,08	Sentetik Yağ	210,5	1,21	<b>79,06</b>	0,362
6	100	0,1	Sentetik Yağ	192,3	1,198	60,31	0,327
7	130	0,08	Sentetik Yağ	208,1	1,414	68,86	0,364
8	130	0,1	Sentetik Yağ	197,7	1,476	57,9	0,298
9	100	0,08	N <sub>1</sub> -MMY	205,2	1,119	68,49	0,32
10	100	0,1	N <sub>1</sub> -MMY	176,4	1,049	59,2	0,295
11	130	0,08	N <sub>1</sub> -MMY	186,7	1,122	66,4	0,325
12	130	0,1	N <sub>1</sub> -MMY	180,2	1,198	57,1	0,295
13	100	0,08	N <sub>2</sub> -MMY	185,4	0,846	67,1	0,303
14	100	0,1	N <sub>2</sub> -MMY	<b>172,8</b>	<b>0,696</b>	58,1	<b>0,258</b>
15	130	0,08	N <sub>2</sub> -MMY	185,2	1,152	65,3	0,311
16	130	0,1	N <sub>2</sub> -MMY	174,5	1,458	55,9	0,276

## 7.1. Kesme Sıcaklığı Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yüksek kesme sıcaklıkları işlenebilirlik açısından istenmeyen bir durumdur. Kesme sıcaklığı başta takım ömrü olmak üzere iş parçası için de önem arz etmektedir [80]. İşleme esnasında takım ile iş parçası arasında bir direnç oluşmakta ve önemli ölçüde sürtünme meydana gelmektedir. Sürtünme neticesinde ise ısı oluşmaktadır [81]. Meydana gelen bu aşırı ısı takım malzemesini olumsuz yönde etkileyerek, takımın daha çabuk aşınmasına sebep olurken iş parçasının da fiziksel ve mekanik özelliklerinin zayıflamasına neden olur. Verimli S/Y yöntemleri bu sürecin iyi yönetilmesini sağlayarak, takım ömrüne olumlu yönde katkı yapar [82]. Şekil 7.1’de görüldüğü gibi kuru kesme ortamından itibaren, 0,08 mm/dev ilerleme hızı için; 100 m/dak kesme hızından 130 m/dak kesme hızına geçişlerde N<sub>2</sub>-MMY ortamına doğru gidildikçe soğutma yağlama sıvılarının kesme sıcaklıklarını azalttığı görülmüştür. Sürtünme ve plastik deformasyonun bir sonucu olarak oluşan ısının etkisi kuru işleme ortamında daha fazla görülmektedir. Şekil 7.1 incelendiğinde, genel olarak N<sub>2</sub>-MMY kesme ortamında üretilen sıcaklık değerlerinin daha düşük seviyelerde olduğu görülmektedir.

Soğutma yağlama koşullarında ilerleme hızlarına baktığımızda 0,08 mm/dev ilerleme hızından 0,1 mm/dev ilerleme hızına geçişlerde, kesme sıcaklıklarında genel olarak bir azalma olduğu gözlemlenmiştir. Yani bütün soğutma yağlama koşullarında her iki kesme hızı içinde ilerleme hızı arttıkça kesme sıcaklıklarının azaldığı söylenebilir. Burada kesme sıcaklığının azalmasının nedeni; ilerleme hızının artmasıyla iş parçası ile kesici takım arasındaki temas süresi azalır. Böylece daha az ısı açığa çıkar ve kesme sıcaklığını düşürür [50,83]. Bununla beraber ilerleme hızının artmasıyla birim zaman da üretilen talaş artar. Bundan dolayı talaşla birlikte daha fazla ısı atılmış olur [50].



Şekil 7.1. Kesme sıcaklığının kesme parametreleri ile değişimi

0,08 mm/dev ilerleme hızı için kesme hızı arttıkça tüm soğutma yağlama ortamları için kesme sıcaklığının düştüğü gözlemlenmiştir. Çünkü kesme hızı arttıkça birim zamanda üretilen talaş miktarı da artacağından dolayı daha fazla ısı atılmış olur [50]. Fakat 0,1 mm/dev ilerleme hızı için kesme hızının artmasıyla tüm soğutma yağlama ortamlarında kesme sıcaklığının arttığı gözlemlenmiştir. Bu durumun aşağıdaki kesme hızı-sıcaklık bağıntısı ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Fakat bağıntı ilerleme hızını dikkate almadığından kesme sıcaklıklarının değişimi, kesme hızıyla birlikte ilerleme hızına bağlı olduğu görülmüştür.

$$T = K v^m \quad (7.1)$$

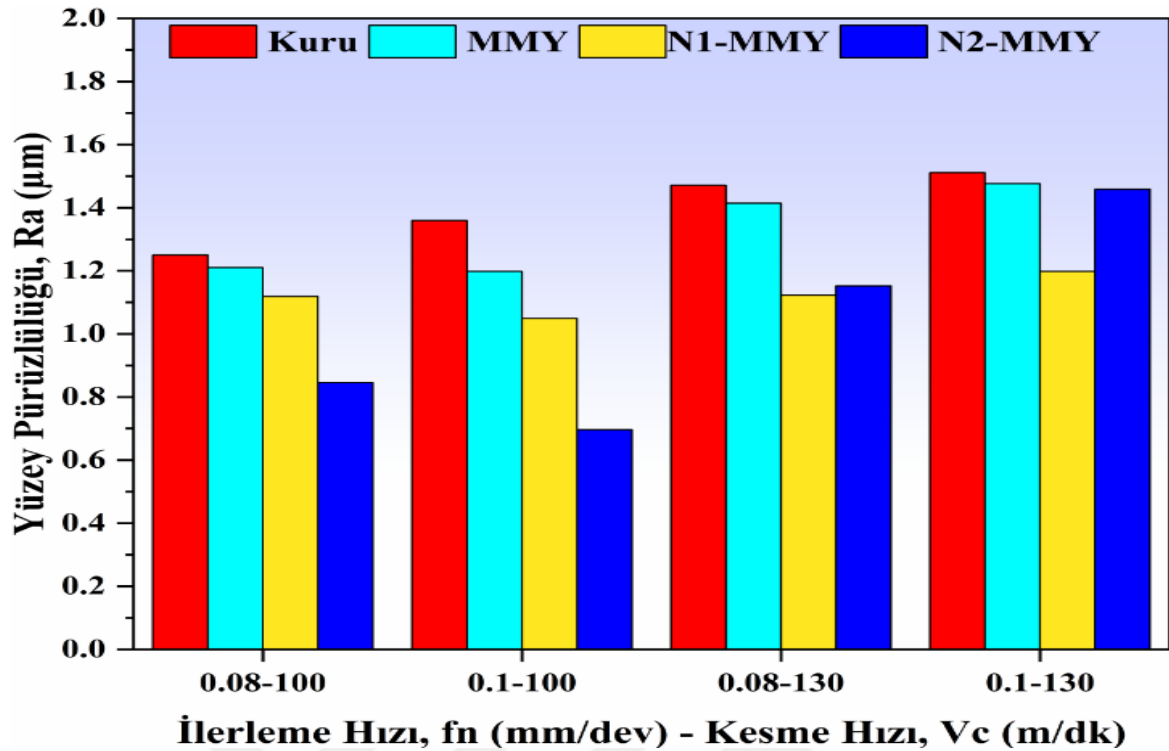
Kuru kesme ortamında iş parçasıyla takım arasında termal gerilmeler meydana gelmektedir [84]. Oluşan termal gerilmeleri absorbe edecek bir soğutma yağlama sıvısı olmadığı için bu ortamda en yüksek sıcaklık değerlerine ulaşılmıştır [84]. Optimum değerler ise nanoakışkan katkılı MMY kesme ortamlarında görülmüştür. Genel anlamda

bir değerlendirme yapılırsa doğru soğutma yağlama yöntem tercihi, frezeleme işleminin verimliliğini doğrudan etkiler [86]. En yüksek kesme sıcaklığı, kuru kesim şartlarında 100 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında 219,5 °C olarak ölçülürken, nanoakışkan katkılı N<sub>2</sub>-MMY ortamında aynı kesme ve ilerleme hızlarında 185,4 °C olarak ölçülmüş ve yaklaşık %16 oranında bir sıcaklık düşüşü olmuştur. 100 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında, N<sub>1</sub>-MMY ortamından N<sub>2</sub>-MMY ortamına geçişlerde ise %10'luk bir sıcaklık düşüşü olurken, 130 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında %1 oranında bir sıcaklık düşüşü gözlemlenmiştir. 130 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme hızında; kuru kesme ortamı, N<sub>1</sub>-MMY ve N<sub>2</sub>-MMY koşulları kıyaslandığında kuru kesme ile N<sub>1</sub>-MMY ortamı arasında %14'lük bir sıcaklık düşüşü var iken, kuru kesme ile N<sub>2</sub>-MMY ortamı arasında %17'lik bir sıcaklık düşüşü olduğu görülmüştür. Kısacası ağırlıkça %0,2 nanopartikül katkılı nanoakışkan kullanılan MMY yönteminin, kesme sıcaklığını kayda değer oranda iyileştirdiği söylenebilir. Çünkü kullanılan soğutma yağlama sıvıları MMY yöntemi ile basınçlı bir şekilde aerosol olarak iş parçası ile takım ara yüzeyine nüfuz edip, ince bir film tabakası oluşturarak sürtünmenin ve neticesinde kesme sıcaklığının düşmesini sağlamıştır [33,85]. Ayrıca gerçekleştirilen bir çalışmada baz sıvı içinde artan SiO<sub>2</sub> oranının ısıl iletkenliğini arttırdığı ve bu durumun kesme sıcaklığının düşürülmesinde rol oynadığı belirtilmiştir [86].

Elde edilen deneysel veriler değerlendirildiğinde düşük kesme-ilerleme hızlarında ve kuru kesim şartlarında CPOH malzemesinin kesme sıcaklığı açısından verimli olmadığı söylenebilir.

## 7.2. Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçlarının Değerlendirilmesi

İşlenebilirliği etkileyen en önemli parametrelerden olan yüzey pürüzlülüğü, beraber çalışan takım parçalarının çalışma verimini, ömrünü ve kalitesini etkileyen önemli bir belirleyici unsurdur [33]. Bu sebeplerden ötürü kaliteli bir imalat için yüzey pürüzlülüğü olabildiğince minimum seviyelerde tutulmaya çalışılmalıdır [33,86]. CPOH malzemesinin farklı kesme koşullarında frezelenmesi ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri şekil 7.2'de verilmiştir.



Şekil 7.2. Yüzey pürüzlülüğünün kesme parametreleri ile değişimi

Yüzey pürüzlülük değerleri 0,696  $\mu m$  ile 1,511  $\mu m$  arasında değişmektedir. En düşük yüzey pürüzlülük değeri N<sub>2</sub>-MMY koşullarında 100 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme hızında 0,696  $\mu m$  olarak tespit edilmiştir. En yüksek pürüzlülük değerlerinin ise kuru kesme ortamında 130 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme hızında 1,511  $\mu m$  olduğu görülmüştür. Kesme sıvısı kullanılmadan yapılan işlemlerde iş parçası ve takım arasında direnç meydana gelmektedir. Bu durum ise yüksek kesme sıcaklıklarına sebebiyet vererek takımın daha fazla aşınmasına ve yüzey kalitesinde istenmeyen kusurlara sebep olmaktadır. Doğru soğutma yağlama yöntemi tercihi, verimlilik açısından belirleyici olmaktadır [86]. Nanoakışkan kullanımının daha iyi sonuçlar ortaya çıkardığı söylenebilir [50]. 100 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme hızında kuru kesme ortamından N<sub>2</sub>-MMY ortamına geçişte yüzey pürüzlülüğü değerinde %49 oranında iyileşme olurken, 130 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme hızında yüzey pürüzlülüğünde %4 oranında bir iyileşme olmuştur. Bu durum, kullanılan soğutma yağlama sıvılarının MMY yöntemi ile basınçlı bir şekilde aerosol olarak iş parçası ile takım ara yüzeyine nüfuz edip, ince bir film tabakası oluşturarak sürtünmeyi azaltması neticesinde yüzey kalitesinin artması şeklinde yorumlanabilir [85]. Düşük kesme hızlarında N<sub>2</sub>-MMY ortamında elde edilen sonuçlar N<sub>1</sub>-MMY ortamında elde edilen

sonuçlara göre daha iyi çıkmıştır. Yüksek kesme hızlarında ise  $N_1$ -MMY ortamında elde edilen sonuçlar  $N_2$ -MMY ortamında elde edilen sonuçlardan daha iyi çıkmıştır. Çünkü nano partiküllerin eklenmesi, akışkanın viskozitesini değiştirebilir. Baz sıvıya nanopartikül eklenmesiyle viskozitenin arttığı bilinir [33]. Yüksek kesme hızlarında, daha düşük viskoziteli akışkanlar, kesme bölgesine daha kolay nüfuz ederek etkili bir soğutma ve yağlama sağlayabilir. Düşük kesme hızlarında, daha yüksek viskoziteli nano akışkanlar daha iyi bir yağlama tabakası oluşturarak takım aşınmasını azaltabilir ve böylece daha kaliteli yüzeyler elde edilebilir [90]. Kısacası kuru kesim yöntemine göre ağırlıkça %0,2 nanopartikül katkılı nanoakışkan kullanılan MMY yöntemi işleme performansını kayda değer oranda arttırdığı söylenebilir.

Kesme hızlarının artmasıyla birlikte dört ortam türü içinde yüzey pürüzlülüğü değerlerinin arttığı gözlemlendi. Yüksek kesme hızlarında takımın titreşim artışı nedeniyle aşınma daha fazla olmaktadır. Bu durum ise yüzey pürüzlülüğü değerlerini arttırmaktadır [50]. Bu artış miktarı kuru ortamda 0,08 mm/dev ilerleme hızı için, 100 m/dak kesme hızından 130 m/dak kesme hızına çıkıldığında %15, 0,1 mm/dev ilerleme hızı için ise %10 oranında olduğu gözlemlenmiştir.  $N_2$ -MMY ortamında ise 0,08 mm/dev ilerleme hızı için, 100 m/dak kesme hızından 130 m/dak kesme hızına çıkıldığında %26, 0,1 mm/dev ilerleme hızı için ise %52 oranında arttığı gözlemlenmiştir.

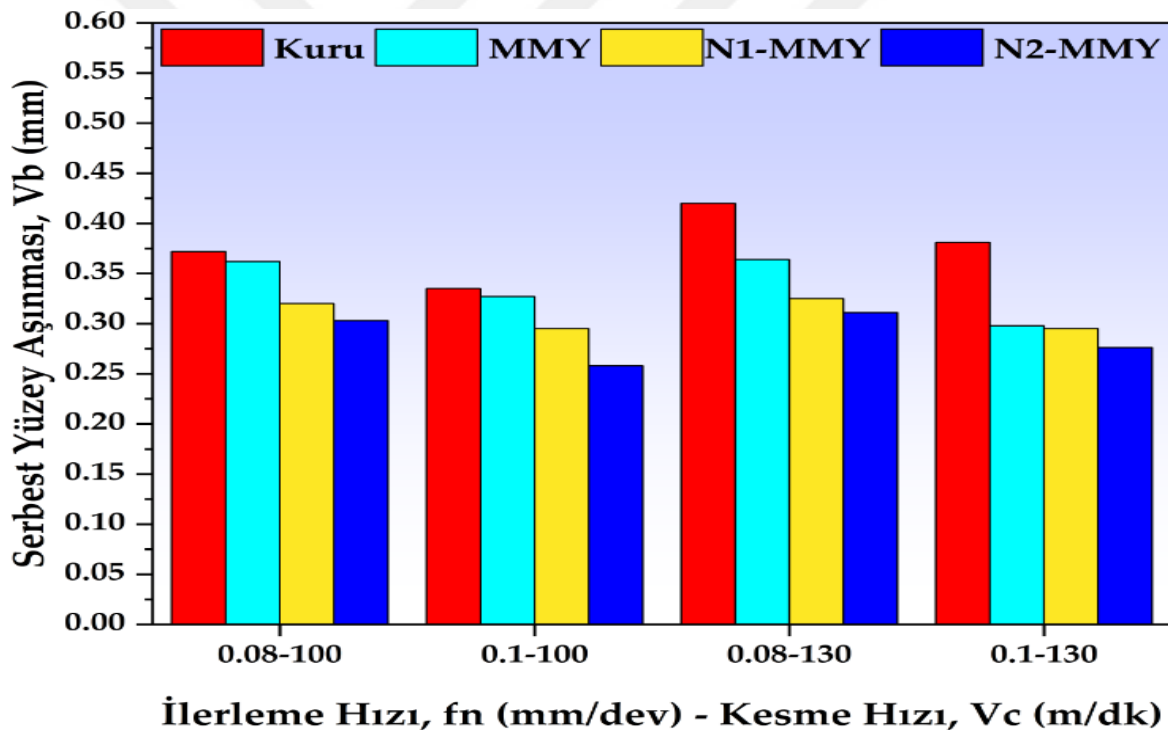
İlerleme hızlarına bakıldığında, sadece kuru ortamda ilerleme hızı artınca yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. Kuru kesmede; 100 m/dak kesme hızı için 0,08 mm/dev ilerleme hızından 0,1 mm/dev ilerleme hızına çıkınca yüzey pürüzlülüğü %8 artarken, 130 m/dak kesme hızı için 0,08 mm/dev ilerleme hızından 0,1 mm/dev ilerleme hızına çıkınca yüzey pürüzlülüğü %3 artmaktadır. Diğer üç kesme ortamında ise yüzey pürüzlülüğü değerleri değişkenlik göstermektedir. Bu durumun kullanılan soğutma yağlama sıvısı ve değişen konsantrasyon oranlarından kaynaklandığı söylenebilir. Yüzey pürüzlülüğü kesme hızı ve ilerleme hızları yönünden değerlendirildiğinde kesme hızlarındaki artışlar, ilerleme hızına nazaran yüzey pürüzlülüğünü daha çok arttırdığı anlaşılmaktadır.

Genel olarak yüzey pürüzlülüğü açısından verimliliği en yüksek değerlerin, düşük kesme ve ilerleme hızlarında olduğu gözlemlenmiştir. Çünkü yüksek kesme ve ilerleme

hızlarında kesici takım ile iş parçası arasında aşırı direnç meydana gelir ve bu durum yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olur. [82,87].

### 7.3. Serbest Yüzey Aşınması Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Serbest yüzey aşınması takım ömrünün belirlenmesinde önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmakta ve malzemenin işlenebilirlik özelliği konusunda büyük öneme sahiptir. Kesici takımlardaki aşınma, kimyasal, termal ve mekanik etkilerle olabilmektedir. İşlenebilirlik açısından değerlendirildiğinde büyük öneme sahip olan takım aşınması kesici takım ömrü ile ilgilidir ve malzemenin işlenebilirliği konusunda fikir sahibi olmamızı sağlar [50].



Şekil 7.3. Serbest yüzey aşınmasının kesme parametreleri ile değişimi

Şekil 7.3'te serbest yüzey aşınmasının kesme parametreleri ile nasıl değiştiği görülmektedir. Farklı soğutma yağlama ortamlarında aşınma değerleri farklı olsa da birbirine yakın değerler görülmektedir. Genel olarak kesme ve ilerleme hızlarını değerlendirdiğimizde kesme hızının artmasıyla aşınma değeri arttığı gözlemlenirken,

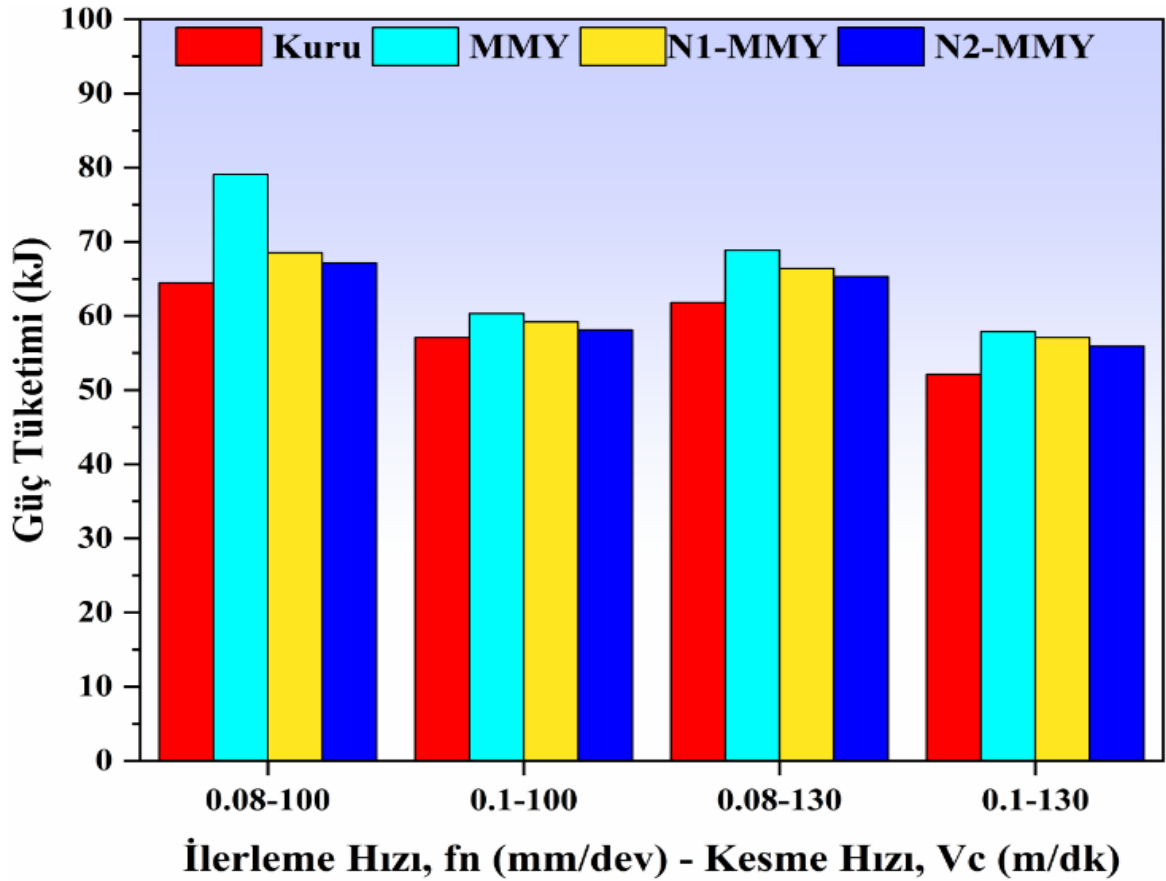
ilerleme hızının artmasıyla serbest yüzey aşınması değerlerinde düşüş meydana gelmektedir.

Deney verilerine göre en fazla yanak aşınma değeri kuru kesim şartlarında maksimum seviyeye (0,42 mm) çıkmıştır. Kesme ortamında bir soğutma yağlama elemanının olmaması yüksek kesme sıcaklıkları ve yüksek kesme kuvveti meydana getirmekte, bu durum termal gerilmelerin oluşmasına sebep olmakta ve dolayısı ile takım direncinin azalmasına ve aşınmanın artmasına yol açmaktadır [50]. En düşük aşınma değeri N<sub>2</sub>-MMY koşullarında (0,258 mm) elde edilmiştir. Çünkü MMY ortamlarında kullanılan nanoakışkanlar takım talaş arayüzüne girerek bir film tabakası oluşturup sürtünme kuvvetinin olumsuz etkilerini azaltıcı yönde etki eder [85]. Bu sebepten ötürü aşınma değerleri MMY koşullarında daha düşük seviyelerdedir. 100 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/dev ilerleme hızlarında kuru kesme ortamıyla N<sub>2</sub>-MMY ortamı serbest yüzey aşınması açısından kıyaslandığında serbest yüzey aşınması %19 azalırken, 100 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme hızında serbest yüzey aşınmasında %32 oranında iyileştiği görülmüştür. Bu durum nanoakışkanların kesme sıcaklıklarını düşürmesi ve takım talaş ara yüzeyindeki sürtünmeyi azaltmasıyla açıklanabilir. Serbest yüzey aşınması değerlerinin iyileşmesinde nanopartikül kullanımının bir miktar etkili olduğu literatür araştırmalarında da görülmüştür [83]. 100 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/dev ilerleme hızlarında N<sub>1</sub>-MMY ortamından N<sub>2</sub>-MMY ortamına geçişlerde serbest yüzey aşınması değerlerine baktığımızda serbest yüzey aşınması %5 oranında azalırken, 100m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme hızında serbest yüzey aşınması %13 oranında azalmıştır. Bu durum ise artan nanopartikül konsantrasyonuna bağlanabilir. Yağda çözünen nanopartikül oranının artması, sürtünmeyi azaltarak takım aşınması değerlerinin düşmesinde etkili olduğu söylenebilir.

MMY (saf sentetik yağ) ortamında 0,1 mm/dev ilerleme hızında kesme hızının artışı ile aşınma oranının azaldığı görülmektedir. 0,08 mm/dev ilerleme hızından 0,1 mm/dev ilerleme hızlarına geçişlerde tüm ortamlarda aşınma oranlarında azalma olduğu görülmektedir. Bu durum için şu yorum yapılabilir; ilerleme hızının artmasıyla iş parçası ile kesici takım arasındaki temas süresi azalmaktadır. Temas süresi azaldığı için daha az ısı açığa çıkacaktır ve takım iş parçasıyla daha az etkileşime gireceği için aşınma oranı azalacağı söylenebilir [50,83].

#### 7.4. Güç Tüketimi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Doğal kaynakların azaldığı günümüz koşullarında sürdürülebilirlik için enerji büyük öneme sahiptir. İlk başta verimlilik ve maliyet hesabı için enerjinin ölçülmesi kaçınılmazdır. Bu amaçla bu alanda kontrol sağlamak için yenilikçi S/Y yöntemleri kullanılması önem arz etmektedir [50].



Şekil 7.4. Güç tüketiminin kesme parametreleri ile değişimi

Şekil 7.4'te farklı S/Y koşullarının ve diğer parametrelerin enerji tüketimine olan etkileri görülmektedir. Enerji tüketimi en fazla MMY (saf kesme sıvısı) koşullarında 79,06 kJ olarak belirlenmiştir. En düşük değer ise kuru işleme koşullarında 52,12 kJ olarak belirlenmiştir. Bu durum kuru kesim ortamında MMY yöntemlerinde olduğu gibi ekstra enerji harcayan bir sistem bulunmamasıyla açıklanabilir. 100 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında kuru kesim ortamından MMY (saf sentetik yağ) ortamına geçişte güç tüketiminde %18 artış olduğu tespit edilmiştir. 100 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme hızında ise güç tüketiminde %5 oranında bir artış olduğu

gözlemlenmiştir. N<sub>1</sub>-MMY ortamından N<sub>2</sub>-MMY ortamına geçişlerde tüm kesme ve ilerleme hızlarında yaklaşık olarak %2 oranında bir enerji tasarrufu sağlanmıştır. Nanoakışkanlar iş parçasıyla kesici takım arasında film tabakası oluşturarak sürtünmeyi azaltacağından dolayı daha az kesme kuvvetine ihtiyaç duyulacak ve bu durumda haliyle enerji tüketimini azaltacaktır. N<sub>1</sub>-MMY ve N<sub>2</sub>-MMY ortamlarının MMY (saf sentetik yağ) ortamına göre enerji tasarrufu sağlaması bu şekilde açıklanabilir.

Kesme-ilerleme hızları incelendiğinde her iki kesme hızı için de ortam fark etmeksizin ilerleme hızının artmasıyla güç tüketim değerleri azalmaktadır. Aynı şekilde kesme hızlarında da her iki ilerleme hızı değerinde ortam fark etmeksizin kesme hızı artınca güç tüketiminin azaldığı görülmektedir. Bunun sebepleri arasında kesme ve ilerleme hızındaki artış frezeleme süresini azaltacağından dolayı toplam harcanan enerji sarfiyatı azalabilir [50]. Kuru kesme ortamını değerlendirmesek diğer üç ortam arasında en verimli sonuçların N<sub>2</sub>-MMY ortamında çıktığını söyleyebiliriz.

## 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında CPOH soğuk iş takım çeliği kullanılarak, freze tezgahında başta kuru kesim olmak üzere MMY (saf sentetik yağ), ağırlıkça %0,1 SiO<sub>2</sub> nanopartikül katkılı nanoakışkan ve ağırlıkça %0,2 SiO<sub>2</sub> nanopartikül katkılı nanoakışkan kullanılmıştır. Ayrıca farklı kesme (100 m/dak–130 m/dak) ve ilerleme (0,08 mm/dev–0,1 mm/dev) hızlarında 16 deney yapılarak işlenebilirlik çıktı parametrelerinden kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü, güç tüketimi ve serbest yüzey aşınması sonuçları elde edilmiştir. Deneylerde farklı değişkenlere göre kıyaslama yapılarak sonuçlar karşılaştırılıp incelenmiştir. Çalışmanın temel amacı yağda çözünebilen SiO<sub>2</sub> katkılı nanoakışkanların CPOH malzemesinin işlenebilirliğine etkisini incelemektir. Bu bölümde yapılan deneysel sonuçlara ait yorumlar şu şekildedir;

**Kesme Sıcaklığı:** Nanopartiküller her ne kadar değişkenlik gösterse de bir baz akışkanla birlikte nanoakışkan olarak kullanıldıklarında kesme bölgesindeki ısıyı atarak kesme sıcaklığının düşmesine yardımcı olmuştur. Yapılan tüm deneylerde en yüksek sıcaklık değeri kuru kesim koşullarında 100 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında 219,5 °C olarak ölçülmüştür. MMY koşullarında yapılan deneylerde sıcaklığın düştüğü gözlemlenmiştir ve en düşük değer 100 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme hızında N<sub>2</sub>-MMY koşullarında 172,8 °C olarak ölçülmüştür. En uç veriler göz önünde bulundurulduğunda 130 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme hızında kuru ortamdan N<sub>2</sub>-MMY kesme ortamına geçildiğinde kesme sıcaklığında %17'lik bir düşme olduğu gözlemlenmiştir. Nanopartikül konsantrasyon oranlarının artması tüm çıktı parametreleri üzerinde olumlu etki göstermiştir.

**Yüzey Pürüzlülüğü:** İşlenebilirliği etkileyen en önemli parametrelerden biri olarak değerlendirilen yüzey pürüzlülüğü, beraber çalışan takım parçalarının çalışma verimini, ömrünü ve kalitesini etkileyen önemli bir belirleyici unsurdur. Bu çalışmada nanoakışkanların farklı ağırlık oranlarında kullanılmasıyla yüzey kalitesi üzerinde farklı etkileri görülmüştür. Kuru kesim şartlarına göre MMY koşullarının yüzey kalitesinin iyileşmesine yardımcı olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri kuru

kesim şartlarında 130 m/dak kesme hızında ve 0,1 mm/dev ilerleme hızında 1,511  $\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür. Nanoakışkan dahil edildiğinde ise yüzey pürüzlük oranları düşmeye başlamış ve optimum değer olan  $\text{N}_2$ -MMY kesme ortamında 100 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme hızında 0,696  $\mu\text{m}$  olarak tespit edilmiştir. Kuru kesim ortamından  $\text{N}_2$ -MMY kesme ortamına geçildiğinde 100 m/dak ilerleme hızında ve 0,1 mm/dev ilerleme hızında yüzey pürüzlülüğünde %49 oranında bir iyileşme sağlanmıştır.

**Serbest Yüzey Aşınması:** Malzemelerin işlenebilirlik özellikleri konusunda etkili olan serbest yüzey aşınması takım ömrünün belirlenmesi bakımından önem arz etmektedir. Genel olarak baktığımızda aşınma, yüksek sıcaklıklarda daha fazla görülmektedir. En yüksek sıcaklık değerleri kuru kesim yapılan ortamlarda görülmekte ve aşınma oranlarının en yüksek olduğu ortam ise yine kuru kesim ortamıdır. Doğal olarak aşınmayı azaltmak için sıcaklık değerini düşürmek önemlidir ve bunu da MMY yöntemleri kullanarak yapmak makul çözüm olarak gösterilebilir. Deney sonuçları da bu yorumu ispatlar niteliktedir. MMY ortamlarında kuru kesim koşullarına göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Nanopartikül konsantrasyon oranlarının artırılması ile de yüzey kalitesi artmıştır.

**Enerji Tüketimi:** Kesme sıvısı kullanımı imalata ek bir enerji sarfiyatı olarak düşünüldüğünde güç tüketimini arttırdığı söylenebilir. Deneysel verilere baktığımızda en fazla güç tüketiminin MMY yöntemlerinde olduğu görülmektedir. Kuru işleme enerji tüketimi yönünden avantajlı olsa da çıktı parametreleri göz önüne alındığında işlenebilirlik açısından değerlendirildiğinde avantajlı olmadığı görülmüştür.

Sonuç olarak ifade edecek olursak elde ettiğimiz deneysel bulgular ve teorik bilgiler ışığında, imalat sürecinde nanoakışkan kullanımı CPOH soğuk iş takım çeliğinin işlenebilirlik özelliklerinde kayda değer oranda iyileşmeler sağladığı görülmektedir. Nanoakışkanların artan konsantrasyon oranları da daha iyi sonuç alınmasını sağlamıştır. CPOH soğuk iş takım çeliği malzemesinin MMY yöntemiyle nanoakışkan kullanılarak frezelenmesi tavsiye edilmektedir. Ayrıca deney sonuçları ele alındığında CPOH soğuk iş takım çeliği malzemesinin işlenebilirliği açısından değerlendirildiğinde düşük talaş kaldırma oranlarının ve kuru ortamın kullanılmaması daha uygun olacaktır.

- Literatürde CPOH soğuk iş takım çeliği ile ilgili fazla çalışma olmadığından dolayı bu konudaki çalışmalar genişletilebilir,
- Kesici takım tercihleri değiştirilerek çıkan sonuçların farklı takımlarda nasıl etki ettiği araştırılabilir,
- Farklı özellikte ve boyutlarda nano partikül kullanılabilir,
- Minimum miktarda yağlama yönteminde farklı nozul açıları ve farklı viskozite değerine sahip kesme sıvıları kullanılarak çalışma detaylandırılabilir,
- Kesme sıvısı olarak farklı kesme sıvıları kullanılabilir, hibrit nano akışkan kullanılarak çalışma zenginleştirilebilir,
- Farklı debilerde ve farklı ağırlık oranlarında deneyler yapılabilir,
- Nanopartikül oranlarının doygunluk değerlerini belirlemek amacıyla nanopartikül oranlarına göre çalışmalar yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Yürekli, Y. (2012). Frezeleme İşleminde Eş Yönlü ve Ters Yönlü Talaş Kaldırmanın CVD/PVD Kaplanmış Sert Metal Uçların Ömrüne Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.
- [2] Korkmaz, M. (2018). Nikel Esaslı Süper Alaşımın (Nımonıç 80A) Malzeme Yapısal Denklem Parametrelerinin Belirlenmesi ve Uygulanabilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi.
- [3] Çalışkan, F. (2022). Sığ ve Derin Kriyojenik İşlemin CPOH Takım Çeliğinin Aşınma ve Darbe Performansına Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi.
- [4] Özcan, A. (2018). Ardışık Kalıplarda Kalıp Malzemesinin Kalıp Aşınması ile Ürün Geometrik Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi.
- [5] Kıvak, T. (2012). Kesici Takımlara Uygulanan Kriyojenik İşlemin Ti-6al-4v Alaşımının Delinebilirliği Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi.
- [6] Korkmaz, M. (2015). Sertleştirilmiş Soğuk İş Takım Çeliğinin İşlenmesinde Kesici Takımda Oluşan Gerilmelerin Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi.
- [7] Demiren, F. (2015). Östenitik ve Martenzitik Paslanmaz Çeliklerin Nanoakışkan Kullanılarak Minimum Miktarda Yağlama Yöntemi ile Sürdürülebilir Frezelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [8] Çetin, Ş. (2016). 15-5 Ph Paslanmaz Çeliğin Tormalanmasında İşleme Parametrelerinin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi.
- [9] Öndin, O. (2019). Ph 13-8 Mo Çeliğinin Tormalanmasında MQL Sisteminde Kullanılan Bitkisel Esaslı Kesme Yağına Çok Duvarlı Karbon Nanotüp İlavesinin İşleme Çıktıları Üzerindeki Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi.
- [10] Çelik, E., Kıvak, T. (2016, Kasım). 17-4 ph Paslanmaz Çeliğin Tormalanmasında Minimum Miktarda Yağlamanın Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkileri, 7. International Symposium On Machining, İstanbul.
- [11] Uysal, A. (2017). Ferritik paslanmaz çeliğin çok duvarlı karbon nanotüp katkı kesme sıvısı kullanılarak minimum miktarda yağlama yöntemi ile frezelenmesinde kesme sıcaklığının incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), 645-650.

- [12] Ali, M. A. M., Khalil, A. N., Azmi A. I., Salleh, H. M. (2017). Optimization of cutting parameters for surface roughness under MQL, using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanolubricant, during turning of inconel 718. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 226(1), 1-7.
- [13] Altın, A. (2005). Nikel Esaslı Inconel 718 Süper Alaşımının İşlenebilirliğinin İncelenmesi, Doktora tezi, Gazi Üniversitesi.
- [14] Günan, F. (2019). Hastelloy c276 Alaşımının Frezelenmesinde Minimum Miktarla Yağlamanın Yüzey Pürüzlülüğü ve Takım Aşınması Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi.
- [15] Sharma, A.K., Singh, R.K., Dixit, A.R., Tiwari, A.K. (2016). Characterization and experimental investigation of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticle based cutting fluid in turning of AISI 1040 steel under minimum quantity lubrication (MQL). *Materials Today: Proceedings*, 3(6), 1899-1906.
- [16] Tosun, N. and Hüseyinoğlu, M. (2010). Effect of MQL on surface roughness in milling of AA7075-T6. *Materials and Manufacturing Processes*, 25(8), 793-798.
- [17] Prasad, M.M.S. and Srikant, R.R. (2013). Performance evaluation of nano graphite inclusions in cutting fluids with MQL technique in turning of AISI 1040 steel. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2(11), 381-393.
- [18] Yıldırım, Ç.V., Şirin, Ş., Kıvak, T. (2019). Waspaloy süper alaşımının frezelenmesinde nanopartikül katkılı yağlamanın takım aşınması üzerindeki etkisinin araştırılması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7, 466-476.
- [19] Şahin, F. (2016). Farklı Nanoakışkanların Isı Değiştiricilerindeki Isıl Performanslarının Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Samsun 19 Mayıs Üniversitesi.
- [20] Şen, Y. (2021). Eş Merkezli İç İç Borulu ve Plakalı Isı Değiştiricilerde Grafen Nano Plaka GNP – CUO / Saf Su Hibrit Nano Akışkanın Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.
- [21] Dirlik, A. (2018). Nanoakışkanlarda Doğal Taşınımın Isı Transferinin Sayısal Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [22] Karabulut, K. (2018). Isı Değiştiricilerde Isı Aktarımının Nanoakışkanlar Kullanılarak Arttırılması, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi.
- [23] Durmuş, Z. (2021). Üç Borulu Isı Değiştiricisinde Farklı Nanoakışkan Kullanımlarının Had Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar üniversitesi.
- [24] Sartori, S., Ghiotti, A., Bruschi, S. (2018). Solid lubricant-assisted minimum quantity lubrication and cooling strategies to improve Ti6Al4V machinability in finishing turning. *Tribology International*, 118, 287–294.

- [25] Özçatalbaş, Y. (2020). Machinability of steels: the relationship between machinability and chemical composition, microstructure and also mechanical properties. *Journal of Polytechnic*, 23(2), 457-482
- [26] Özçatalbaş, Y. (1996). 1050, 4140 ve 8620 Çeliklerinin Isıl İşleme Değişen Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Bağlı İşlenebilirlikleri, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi.
- [27] Özçatalbaş, Y. (2008). Mühendislik Malzemelerinin İşlenebilirliği. Erişim tarihi: 01.12.2023. <https://avesis.gazi.edu.tr/ozcatalbas/dokumanlar>.
- [28] Altın, A., Gökkaya, H., Nalbant, M. (2013). İşleme parametrelerinden kesme hızının Inconel 718 süper alaşımın işlenebilirliğine etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(3), 581-586.
- [29] İnan, A. (2015). İmalat mühendisliği ders notları. Bingöl Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bingöl.
- [30] Akkurt, M. (2012). Talaş kaldırma bilimi ve teknolojisi cnc takım tezgâhları ve üretim otomasyonu (s 531). İstanbul: Birsen yayın evi.
- [31] Günan, F. (2019). Hastelloy C276 Alaşımının Frezelenmesinde Minimum Miktarda Yağlamanın Yüzey Pürüzlülüğü ve Takım Aşınması Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi.
- [32] Aykut, Ş. (2005). Kobalt Esaslı Süper Alaşımlı Çeliklerin Düzlem Yüzey Frezelenmesinde Talaş Kaldırma Parametrelerinin İşlenebilirliğe Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi.
- [33] Şirin, Ş. (2020). Sürdürülebilir İmalat İçin Inconel X-750 Süper Alaşımının Frezelenmesinde Yenilikçi Soğutma/Yağlama Tekniklerinin İşleme Performansı Üzerindeki Etkileri, Doktora Tezi, Düzce Üniversitesi.
- [34] Yıldız, S. (2024). Talaşlı imalat yöntemleri frezeleme. Erişim tarihi: 10.11.2023. <https://tf.selcuk.edu.tr/dosyalar/files/033003/TALA%C5%9ELI%20%C4%B0MALAT%20Y%C3%96NTEMLER%C4%B0-FREZELEME.pdf>.
- [35] Kuntoğlu, M. (2022). Measurement and analysis of sustainable indicators in machining of armox 500t armor steel. Proceeding of the institution of mechanical engineers, part C: *Journal of Mechanical Engineering Science*. 236(13), 7330-7349.
- [36] Fischer, U. (1995). Metal meslek bilgisi. Erişim tarihi: 15.12.2023. [https://www.bilimuygula.com/FileUpload/bs774731/File/017-metal\\_meslek\\_bilgisi.pdf](https://www.bilimuygula.com/FileUpload/bs774731/File/017-metal_meslek_bilgisi.pdf).
- [37] Şirin, E. (2010). AISI D2 Soğuk İş Takım Çeliğinin Frezede İşlenebilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.

- [38] Şap, S. (2022). Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilen Ti-B-SiC takviyeli Cu Metal Matrisli Kompozitlerin Mekanik ve İşlenebilirlik Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Bingöl Üniversitesi.
- [39] Gülmez, T. (2024). Kesme takımı teknolojisi. Erişim tarihi: 29.11.2023. <https://web.itu.edu.tr/gulmezt/IMAL%20USULLERI/ch23-Takim%20Teknolojisi.pdf>.
- [40] Kaya, E. (2019). Farklı Kesici Takım Malzemeleri Kullanarak NiTi Şekil Hafızalı Alaşımların İşlenebilirlik Davranışlarının Araştırılması ve Performans Parametrelerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi.
- [41] Gökoğlu, M. (2016). Talaşlı imalatta kullanılan kesici takımlar. Erişim tarihi: 16.09.2023. <https://meryemgokoglu.files.wordpress.com/2016/11/4kesici-takim-malzemeleri.pdf>.
- [42] Salak, A., Selecka, M., Danninger, H. (2005). *Machinability Of Powder Metallurgy Steels* (pp 100-132). 536 Cambridge: Printed in the UK at the university press.
- [43] Abrazyon aşınması. (b.t). Aşınma mekanizmaları. [https://tr.wikipedia.org/wiki/Abrazyon\\_aşınması](https://tr.wikipedia.org/wiki/Abrazyon_aşınması).
- [44] Yalılı, H. (2019). AISI 9041 Paslanmaz Çeliğin MQL Yöntemi Kullanılarak Tornalanmasında Nanografen Katkılı Kesme Yağının İşleme Performansı Üzerindeki Etkisi, Yüksek lisans tezi, Düzce Üniversitesi.
- [45] Uluğ, D. (2012). Kaplamalı ve Kaplamasız Sementit Karbür Takımlar İçin Taylor Takım Ömrü Modelindeki “N” Üstel Değerinin Deneysel Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.
- [46] Ganioglu, O., Yandayan, T., Aksulu, M. (2019, Kasım). Pürüzlülük ve form ölçüm cihazı propları için yeni izlenebilirlik yolları, Ölçüm Bilim Sempozyum ve Sergisi, Tepekule Kongre ve Sergi Merkezi, İzmir.
- [47] Demircioğlu, P. (2011). Talaşlı imalat yöntemi ile imal edilen iş parçalarında yüzey pürüzlülüğünün yüksek hassasiyette iğne uçlu ve optik ölçüm sistemleriyle değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makina Dergisi* 52(613), 81-91.
- [48] Çetin, M. H. (2010). Bitkisel Esaslı Kesme Sıvılarının Tornalamadaki Performansının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi.
- [49] Çakır, A., Kavak, N., Şeker, U. (2017). Sürdürülebilir üretim için talaşlı imalatta kullanılan kesme sıvılarının geri dönüşümü. *Mühendis ve Makina Dergisi* 58(684), 15-30.
- [50] Usca, Ü. A. (2023). The effect of cellulose nanocrystal-based nanofluid on milling performance: an investigation of dillimax 690T. *Polymers*, 15(23), 21-45.
- [51] Kılınçarslan, S. (2019). Nanogümüş ve Organik Borat Katkılı Kesme Sıvılarının Frezeleme İşlemindeki Performansının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi.

- [52] Ovalı, S. (2008). Metal Kesme İşleminde Soğutucu Akışkanın Isıl Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi.
- [53] Dal, M. (2009). Bitkisel Esaslı Kesme Sıvılarının Frezelemedeki Performansının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi.
- [54] Kılıçarslan, E. (2020). Nano Gümüş Katkılı Bitkisel Esaslı Kesme Sıvısının Frezeleme İşlemindeki Performansının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi.
- [55] Toprak, S. (2007). Malzemeleri (Çelik, Çinko, Kurşun, Pirinç, Alüminyum) Koruyan Koruyucu Yağların Zamanla Değişen Fizikokimyasal Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi.
- [56] Akben, U. (2009). Minimum Miktarda Yağlama (MMY) ile Kesmenin Takım Aşınması ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [57] Buyruk, M. (2017). Minimum Miktarda Yağlama Yönteminin AISI 304 Paslanmaz Çeliğin İşlenebilirliğine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi.
- [58] Demir, İ. (2022). AISI 329 Paslanmaz Çeliğin Frezelenmesinde CuO ve Grafit Katkılı Nanoakışkan Yağlayıcıların İşleme Performansı Üzerindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi.
- [59] Bakırcı, B. (2014). Kesme Sıvılarının Karakterizasyonu ve Elektrokoagülasyon ile Atık Sulardan Arıtımı, Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi.
- [60] 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.
- [61] Özen, K. (2022). Grafen Nanopartikül MQL Soğutma ve Yağlama Tekniği Kullanarak Ti-6AL-4V Alaşımının Sürdürülebilir İşlenebilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi.
- [62] Çağan, S. Ç., Buldum, B., Özkul, İ. (2019). Hafif metallerde minimum miktarda yağlama sisteminin kullanımı. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(2), 582-590.
- [63] Gürbüz, H., Baday, Ş., Gönülaçar, Y. E. (2017). Minimum miktarda yağlamanın frezeleme işlemleri üzerine etkisinin araştırılması: Derleme. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 7(2/2), 59-79.
- [64] Zeyrek, K. (2021). Talaşlı İmalatta Kullanılan Nanoparçacık İçeren Kesme Sıvılarının Titanyum Alaşımının İşlenebilirliğe Etkilerinin Araştırılması, Yüksek lisans tezi, Kırıkkale üniversitesi.

[65] Yıldırım, V. (2017). Waspaloy Süper Alaşımının Farklı Soğutma Teknikleri Kullanarak Frezeleme Yöntemi ile İşlenebilirliğinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Düzce Üniversitesi.

[66] Yaral, T. (2015). Genel Hecke Gruplarının Kuvvet Alt Gruplarının Komütatör Alt Grupları, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi.

[67] Aşkan, A. (2021). Applications of cutting fluid in drilling operations:A review study. *Journal of Aerospace Science And Management*, 1(1), 36-63.

[68] Koçak, V. (2024). Metallerin dünyası. [https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/gonderi\\_dosya\\_ekleri/dea1f810a6512c3\\_ek\\_2.pdf](https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/gonderi_dosya_ekleri/dea1f810a6512c3_ek_2.pdf).

[69] Minimum miktarda yağlama sisteminin teknik özellikleri. (b.t). Werte endüstriyel mikro ve merkezi yağlama sistemleri kataloğu. <https://www.promakmakina.com/web/attachments/article/112/Merkezi%20Ya%C4%9Flama%20Sistemleri.pdf>.

[70] CNC freze tezgahı teknik özellikleri. (b.t). Tezmaksan ürün kataloğu. <https://tezmaksan.com/tr/urun/cnc/cnc-isleme-merkezi/dik-isleme-merkezi/dahlih-mcv-860>.

[71] Kesme sıvısı teknik özellikleri. (b.t). Kar Tes KT-2000 ürün kataloğu. <https://kar-tes.com.tr/urunlerimiz/kesme-sivisi/kt-2000/>.

[72] Freze takımı teknik özellikleri. (b.t). SMOXH cutting tools ürün kataloğu. <https://www.smoxx.com.tr/tr/urunler/detay/ST90-3PKT-0603..-1004../390>.

[73] Deneylerde kullanılan sıcaklık ölçme cihazı teknik özellikleri. (b.t). Testo ürün kataloğu. <https://www.testo.com/tr-TR/testo-871/p/0560-8712#tab-technicalData>.

[74] Kuntoğlu, M. (2016). Tornalamada Akustik Emisyon ve Kesme Kuvveti Sinyalleri Kullanarak Takım Kırılması ve İlerleyen Takım Aşınmasının Tahmin Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi.

[75] Kuntoğlu, M. (2020). Talaşlı İmalatta Sensör Füzyonuna Dayalı Takım Durumu İzleme, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi.

[76] Ataşımşek, S. (2004). *CNC Metal İşleme Kitabı* (pp. 27-161). İstanbul: Birsen Yayınevi.

[77] CPOH takım çeliği. (b.t). CPOH malzeme. [https://www.saglammetal.com/tr/celik/takim-celikleri/soguk-is-takim-celikleri/yeni-nesil-takim-celikleri/cpoh-malzeme?gad\\_source=1&gclid=CjwKCAjwxLKxBhA7EiwAXO0R0BAIC1PDA4gWNAGZIIgtjPwFRFd3MQDUrfNae7h7GfKPYjaanme11RoCgPEQAvD\\_BwE](https://www.saglammetal.com/tr/celik/takim-celikleri/soguk-is-takim-celikleri/yeni-nesil-takim-celikleri/cpoh-malzeme?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwxLKxBhA7EiwAXO0R0BAIC1PDA4gWNAGZIIgtjPwFRFd3MQDUrfNae7h7GfKPYjaanme11RoCgPEQAvD_BwE).

- [78] Molibden nedir. (b.t). Molibden hangi alanlarda kullanılır. <https://www.karacapaslanmaz.com/molibden-nedir>.
- [79] Babite, Sharma, S.K., Gupta, S.M. (2016). Preparation and evaluation of stable nanofluids for head transfer application: A review. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 79, 202-212.
- [80] Abukhshim, N.A., Mativenga, P.T., Sheikh, M.A. (2006). Heat generation and temperature prediction in metal cutting: A review and implications for high speed machining. *International Journal of Machine Tools Manufacture*, 46, 782-800.
- [81] Binali, R., Demirpolat, H., Kuntoğlu, M., Salur, E. (2023). Different aspects of machinability in turning of AISI 304 stainless steel: a sustainable approach with MQL technology. *Polymers*, 13(6),1088.
- [82] Binali, R., Demirpolat, H., Kuntoğlu, M., Sağlam, H. (2023). Machinability investigations based on tool wear, surface roughness, cutting temperature, chip morphology and material removal rate during dry and MQL-assisted milling of nimax mold steel. *Lubricants*, 11(3), 101.
- [83] Şap, S., Usca, Ü.A., Uzun, M., Kuntoğlu, M., Salur, E., Pimenov, D.Y. (2022). Investigation of the effects of cooling and lubricating strategies on tribological characteristics in machining of hybrid composites. *Lubricants*, 10(4), 63.
- [84] Gupta, MK., Mia, M., Pruncu, C.I., Kaplonek, W., Nadolny, K., Patra, K., Mikolajczyk, T., Pimenov, D.Y., Sarıkaya, M., Sharma, V.S. (2019). Parametric optimization and process capability analysis for machining of nickel-based superalloy. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 102, 3995–4009.
- [85] Şirin, Ş. ve Kıvak, T., Effects of hybrid nanofluids on machining performance in MQL-milling of Inconel X-750 superalloy. *J. Manuf.*, 70, 163–176.
- [86] Şencan, A.Ç., Şirin, Ş., Selayet, E.N., Erdoğan, B., Koçak, M.R. (2024). Evaluation of machining characteristics of SiO<sub>2</sub> doped vegetable based nanofluids with Taguchi approach in turning of AISI 304 steel. *Tribology International*, 191, 109122.
- [87] Aslan, A., Salur, E., Kuntoğlu, M. (2022). Evaluation of the role of dry and MQL regimes on machining and sustainability Index of Strenx 900 Steel. *Lubricants*, 10(11), 301.
- [88] Fratila, D. and Caizar, C. (2011). Application of taguchi method to selection of optimal lubrication and cutting conditions in face milling of AlMg<sub>3</sub>. *Journal of Cleaner Production*, 19(6-7), 640–645.
- [89] Ghadimi, A., Saidur, R., Metselaar, H.S.C. (2011). A review of nanofluid stability properties and characterization in stationary conditions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54(17-18), 4051–4068.

[90] Duc, T.M., Tran, U., Chien, T.Q. (2019). Performance evaluation of MQL parameters using  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and nanofluids in hard turning 90CrSi steel. *Lubricants*, 7(5), 40.

