



**Ti-6Al-4V ALAŞIMININ İŞLENMESİNDE FARKLI SOĞUTMA
SİSTEMLERİNİN TAKIM ÖMRÜ VE YÜZEY KALİTESİ ÜZERİNDE
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Osman KILIÇ

Danışman

Prof. Dr. Kubilay ASLANTAŞ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ocak 2019

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ti-6Al-4V ALAŞIMININ İŞLENMESİNDE FARKLI SOĞUTMA
SİSTEMLERİNİN TAKİM ÖMRÜ VE YÜZEY KALİTESİ
ÜZERİNDE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Osman KILIÇ

Danışman
Prof. Dr. Kubilay ASLANTAŞ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ocak 2019

TEZ ONAY SAYFASI

Osman KILIÇ tarafından hazırlanan “Ti-6Al-4V Alaşımının İşlenmesinde Farklı Soğutma Sistemlerinin Takım Ömrü ve Yüzey Kalitesi Üzerinde Etkilerinin Araştırılması” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 24/01/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

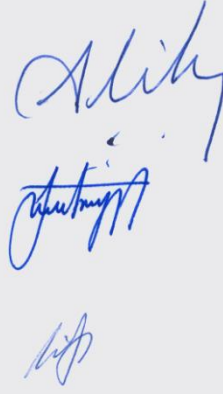
Danışman :Prof. Dr. Kubilay ASLANTAŞ

İmza

Başkan :Prof. Dr. Adem ÇİÇEK
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi

Üye :Prof. Dr. Kubilay ASLANTAŞ
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Teknoloji Fakültesi

Üye :Dr. Öğr. Üyesi Şükrü ÜLKER
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Teknoloji Fakültesi



Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

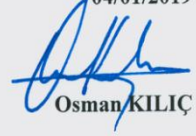
.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım
bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

04/01/2019

Osman KILIÇ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Ti-6Al-4V ALAŞIMININ İŞLENMESİNDE FARKLI SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN TAKIM ÖMRÜ VE YÜZEY KALİTESİ ÜZERİNDE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Osman KILIÇ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Kubilay ASLANTAŞ

Titanyum alaşımları, sahip olduğu üstün özellikleri nedeniyle, mükemmel bir malzemedir. Bununla birlikte, Titanyum alaşımları genellikle takım-talaş ve takım-iş parçası ara yüzlerinde, yüksek sıcaklıklara yol açan düşük ısı iletkenliği nedeniyle, işlenmesi zor olarak kabul edilir. Bu malzemenin talaşlı imalatındaki zorlukların giderilmesiyle, istenilen kalite ve standartlarda, düşük maliyetli üretim sağlanabilecektir.

Bu çalışmada, Ti-6Al-4V alaşımının, yüksek hızlarında (125m/dak, 250m/dak ve 350m/dak) tornalanmasında, kesme koşullarının etkisi araştırılmıştır. Deneylerde, dört farklı kesme koşulu (kuru, geleneksel kesme sıvısı, kriyojenik ve MQL) dikkate alınmıştır. Takım yüzeyinde meydana gelen, hasar tipleri belirlenmiş ve takım ömrü açısından uygun kesme koşulu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, artan kesme hızı, kesme sıvısının soğutucu/yağlayıcı etkisini kaybetmesine neden olmaktadır. Kesici takımlarda ağırlıklı hasar mekanizmaları; abrasiv, adhezyon ve difüzyondur. 250 m/dak kesme hızında elde edilen takım ömrünün, 350 m/dak ya göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü açısından, düşük kesme hızlarında geleneksel kesme sıvısının kullanılması daha uygun olacaktır. Fakat yüksek kesme hızlarında, kesme koşulunun yüzey kalitesi üzerinde belirleyici bir etkisi bulunmamaktadır.

2019, xi + 93 sayfa

Anahtar Kelimeler: Takım aşınması, Yüksek hızda tornalama, Ti-6Al-4V, Yüzey kalitesi

ABSTRACT
M.Sc.Thesis

INVESTIGATION OF EFFECTS OF DIFFERENT COOLING SYSTEMS ON TOOL
LIFE AND SURFACE ROUGHNESS IN MACHINING OF Ti-6Al-4V ALLOY

Osman KILIÇ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Kubilay ASLANTAŞ

Titanium alloys are excellent material due to their superior properties. However, titanium alloys are generally regarded as difficult to machine materials due to their low thermal conductivity, which leads to high temperatures on tool-chip and tool-workpiece interfaces. By eliminating the difficulties in the machining of this material, the desired quality and standards, low-cost production can be achieved.

In this study, the effect of cutting conditions on turning Ti-6Al-4V alloy at high speeds (125m/min, 250m/min and 350m/min) was investigated. Four different cutting conditions (Dry, conventional coolant, Cryogenic and Minimum quantity lubrication) were taken into consideration. Damage types occurring on the tool surface were determined and an appropriate cutting condition was determined in terms of tool life. According to the results obtained, the increasing cutting speed causes the coolant to lose its coolant/lubricant effect. The dominated damage mechanisms in cutting tools; abrasiv, adhesion and diffusion. The tool life at a cutting speed of 250 m/min was found to be lower than 350 m/min. In terms of surface roughness, it is more appropriate to use conventional cutting fluid at low cutting speeds. However, at high cutting speeds, the cutting condition does not have a decisive effect on surface quality.

2019, xi + 93 pages

Keywords: Tool wear, High speed turning, Ti-6Al-4V, Surface quality

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük ve önemli katkılarından dolayı tez danışmanım değerli hocam Sayın Prof. Dr. Kubilay ASLANTAŞ' a öncelikle teşekkür ederim. Manevi desteğinin yanı sıra araştırma ve yazım süresince yardımlarını eksik etmeyen sevgili eşim Serpil KILIÇ' a, deneysel çalışmalar sırasında yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım Mustafa PERÇİN' e, yoğun iş hayatımıza rağmen tez sürecine zaman ayırmama yardımcı olan değerli müdürüm Sayın Neriman Gül ALBAY' a, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma ve özellikle varlığıyla hayatıma anlam katan, bütün yaşantımı amaçlandıran, yoğun çalışmalarımın dolayısı çok fazla zaman ayıramadığım biricik kızım Fatma Neslişah' ıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı anneme, babama ve bütün aileme ayrıca teşekkür ederim.

Osman KILIÇ

AFYONKARAHİSAR, 2019

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
RESİMLER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 Titanyum Ve Alaşımları	3
2.1.1 Ticari Safılıktaki Titanyum	3
2.1.2 Faz Yapılarına Göre Titanyum Alaşımları.....	4
2.1.2.1 α Titanyum Alaşımları	4
2.1.2.2 β Titanyum Alaşımları	5
2.1.2.3 $\alpha + \beta$ Titanyum Alaşımları	5
2.1.3 Ti-6Al-4V Alaşımı	6
2.2 Talaşlı İmalat Ve Talaş Oluşumu	7
2.3. Takım Ömrü	14
2.4 Takım Aşınması	16
2.4.1 Takım Aşınması Tipleri	17
2.4.1.1 Serbest Yüzey Aşınması.....	17
2.4.1.2 Krater Aşınması.....	18
2.4.1.3 Çentik Aşınması	19
2.4.1.5 Isıl ve Mekanik Çatlaklar	20
2.4.1.6 Talaş Yığılması (BUE)	20
2.4.1.7 Plastik Deformasyon	21
2.4.1.8 Takım Kırılması	21
2.4.2 Takım Aşınma Mekanizmaları.....	22
2.5 Yüzey Pürüzlülüğü	24
2.6 Talaş Kaldırma İşleminde Kesme Sıvıları.....	27

2.6.1 Kesme Sıvıları	27
2.6.1.1 Emülsiyon Kesme Sıvıları	28
2.6.1.2 Kesme Yağları	28
2.6.1.3 Sentetik Kesme Sıvıları	28
2.6.1.4 Gazlar	29
2.6.2 Kriyojenik İşlem	29
2.6.3 Minimum Miktarda Yağlama(MQL) Sistemleri	31
2.7 Ti-6Al-4V Alaşımının İşlenebilirliği İle İlgili Çalışmalar	32
3. MATERYAL ve METOT	42
3.1 İş Parçası, Kesici Takım ve Kesme Parametreleri.....	42
3.2 Kullanılan Soğutma ve Yağlama Sistemleri ve Deney Düzenekleri.....	44
3.3 Takım Aşınması ve Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri.....	46
4. BULGULAR	48
4.1 Kesme Hızının Etkisi.....	48
4.1.1 Kesme Hızının Serbest Yüzey Aşınmasına Etkisi	48
4.1.2 Kesme Hızının Krater Aşınmasına Etkisi	62
4.2 Kesme Koşullarının Etkisi.....	72
4.2.1 Kesme Koşullarının Serbest Yüzey Aşınmasına Etkisi	72
4.2.2 Kesme Koşullarının Krater Aşınmasına Etkisi	76
4.3 Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkileri.....	82
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	85
6. KAYNAKLAR	87
ÖZGEÇMİŞ.....	93

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

V	Kesme hızı (m/dak)
a	Kesme derinliği (mm)
f	İlerleme miktarı (mm)
r	Takım kesici uç yarıçapı(mm)
Ra	Ortalama pürüzlülük değeri(μm)
Ft	Teğetsel kuvvet (N)
Fr	Radyal kuvvet (N)
Ff	İlerleme kuvveti (N)
μm	Mikrometre
mm	Milimetre
m	Metre
s	Saniye
dev	Devir
dak	Dakika
φ	Kayma açısı
β	Takım açısı
γ	Talaş açısı
t	Deforme olmamış talaş kalınlığı (mm)
t_c	Deforme olmuş talaş kalınlığı (mm)
VB_{Bmax}	Maksimum serbest yüzey aşınma miktarı (mm/ μm)
VB_B	Ortalama serbest yüzey aşınma miktarı (mm/ μm)
T	Takım ömrü (dak)
N	ISO standartlarında Ra değeri (μm)

Kısaltmalar

AISI	American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)
BCBN	Binderless Cubic Bor Nitride (Bağlayıcısız Kübik Bor Nitrür)
BUE	Built-Up-Edge (Talaş yığılması)
CBN	Cubic Bor Nitride (Kübik Bor Nitrür)
CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)
CVD	Chemical Vapour Deposition (Kimyasal Buhar Çökeltme)
EDX	Enerji Yayımlı X-ışını Analizi
GKS	Geleneksel Kesme Sıvısı
HSS	High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)
ISO	International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilatı)
LN_2	Sıvı Azot
ML	Minimal Miktarla Yağlama
PVD	Physical Vapour Deposition (Fiziksel Buhar Çökeltme)
SEM	Scanning elektron microscopy (Taramalı Elektron Mikroskobu)
WC	Tungsten Karbür

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1	Titanyum alaşımları mikro iç yapısı. α fazı hegzagonal sıkı paket ve β fazı hacim merkezli kübik (Bamford 2016).	4
Şekil 2.2	Titanyum alaşımlarının üç boyutlu faz diyagramı (Leyens and Peters 2003). 6	
Şekil 2.3	Tornalama işleminin şematik görünümü (Altıntaş 2000).	9
Şekil 2.4	Kesme yöntemlerinin şematik gösterimi a) Dik (Ortogonal) kesme b) Eğik (Meyilli) kesme (Şeker 2006).	10
Şekil 2.5	Ortogonal (Dik) kesmede kayma düzlemi ve takım üzerindeki kuvvetler (Kurt 2006).	11
Şekil 2.6	İlerleme hızı (f) ve kesme derinliğinin (a_p) talaş şekline etkisi. (Smith 2008)	11
Şekil 2.7	Talaş tipleri a) Kesintili Talaş b) Sürekli Talaş c) Yığıntı Talaş (Groover 1996).	12
Şekil 2.8	Kesici takım, talaş ve iş parçası üzerindeki artık BUE oluşumu (Smith 2008).	13
Şekil 2.9	Kesme hızı takım ömrü ilişkisi, (a) Lineer ilişki, (b) Logaritmik ilişki (Sayit 2007).	14
Şekil 2.10	Takım ömrü - Kesme parametreleri ilişkisi (Sayit 2007).	15
Şekil 2.11	Serbest yüzey aşınmasının belirlenmesi.	18
Şekil 2.12	Aşınma mekanizmaları (König 1984).	23
Şekil 2.13	Ortalama yüzey pürüzlülüğünün iki boyutlu grafiksel ifadesi.	26
Şekil 2.14	MQL sisteminin pnömatik akış şeması (Obikawa ve diğerleri 2006).	32
Şekil 2.15	5 dakika işleme sonunda takımlarda oluşan aşınmalar (Venugopal ve diğerleri 2007)	33
Şekil 2.16	Ti-6Al-4V alaşımının işlenmesinde farklı soğutma yöntemleri altında CBN ve karbür takımlarda elde edilen takım ömürleri (Ezugwu 2005).	34
Şekil 2.17	Kesme mesafesine ve kesme hızına bağlı olarak serbest yüzey aşınmasının değişimi –Ti-6Al-4V – K10 – f :0,15mm (Lacalle ve diğerleri 2000).	35
Şekil 3.1	Soğutma/yağlama sıvılarının kesme bölgesine uygulanması.	46
Şekil 4.1	Kuru kesme şartlarında kesme hızının serbest yüzey aşınması üzerine etkisi 49	
Şekil 4.2	500°C ve 1100°C sıcaklıklarda test edilen numunelerin sıcaklığa bağlı şekil değiştirme oranları için adyabatik kayma düzleminde mikro sertliklerin değişimi (Lee ve Lin 1998).	50

Şekil 4.3	Geleneksel kesme sıvısı ile kesme şartlarında kesme hızının serbest yüzey aşınması üzerine etkisi.....	53
Şekil 4.4	MQL ile kesme şartlarında kesme hızının serbest yüzey aşınması üzerine etkisi	57
Şekil 4.5	Kriyojenik kesme şartlarında kesme hızının serbest yüzey aşınması üzerine etkisi	60
Şekil 4.6	Kuru kesme şartlarında kesme hızının krater derinliği üzerine etkisi.....	63
Şekil 4.7	Geleneksel kesme sıvısı ile kesme şartlarında kesme hızının krater derinliği üzerine etkisi.....	66
Şekil 4.8	MQL ile kesme şartlarında kesme hızının krater derinliği üzerine etkisi	68
Şekil 4.9	Kriyojenik kesme şartlarında kesme hızının krater derinliği üzerine etkisi...	70
Şekil 4.10	125 m/dak kesme hızında soğutma şartlarının serbest yüzey aşınmasına etkisi	72
Şekil 4.11	250m/dak kesme hızında soğutma/yağlama şartlarının serbest yüzey aşınmasına etkisi.....	74
Şekil 4.12	350m/dak kesme hızında soğutma/yağlama şartlarının serbest yüzey aşınmasına etkisi.....	75
Şekil 4.13	125m/dak kesme hızında soğutma şartlarının krater derinliği üzerine etkisi	77
Şekil 4.14	250m/dak kesme hızında soğutma şartlarının krater derinliği üzerine etkisi	79
Şekil 4.15	350m/dak kesme hızında soğutma şartlarının krater derinliği üzerine etkisi	81
Şekil 4.16	125 m/dak kesme hızında soğutma şartlarının yüzey pürüzlülüğü etkisi	83
Şekil 4.17	350m/dak kesme hızında soğutma şartlarının yüzey pürüzlülüğü etkisi	84

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 (Ra) ile yüzey kalite simgesi arasındaki bağıntı (Akkurt 2000).	26
Çizelge 3.1 Ti-6Al-4V alaşımının kimyasal bileşimi (Kütlece %)	42
Çizelge 3.2 Ti-6Al-4V alaşımının bazı fiziksel özellikleri (İnt. Kyn.7).	42
Çizelge 3.3 Ti-6Al-4V alaşımının bazı mekanik özellikleri (Akyol 2007).....	42
Çizelge 3.4 Deneysel çalışmalarda kullanılan kesme parametreleri.	44



RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

Resim 2.1	Talaşlı imalatta kesme işlemi (a) ve taşlama işlemi (b) (İnt.Kyn.1, İnt.Kyn.2).	8
Resim 2.2	Serbest yüzey aşınması (İnt.Kyn.3, İnt.Kyn.4).....	18
Resim 2.3	Krater aşınması (İnt.Kyn.3, İnt.Kyn.4).....	19
Resim 2.4	Çentik aşınması (İnt.Kyn.3, İnt.Kyn.5).....	19
Resim 2.5	Isıl ve mekanik çatlaklar (İnt.Kyn.3, İnt.Kyn.4).....	20
Resim 2.6	Ağız birikimi oluşumu (BUE) (İnt.Kyn.3, İnt.Kyn.4).	21
Resim 2.7	Plastik deformasyon (İnt.Kyn.3, İnt.Kyn.4).	21
Resim 2.8	Takım kırılması(İnt.Kyn.3, İnt.Kyn.4).....	22
Resim 2.9	Kriyojenik tornalama işlemi (İnt.Kyn.6).	30
Resim 3.1	Deneylerde kullanılan takım, takım tutucu ve iş parçaları	43
Resim 3.2	Deneylerde kullanılan MQL sistemi	45
Resim 3.3	Kriyojenik soğutma sistemi	45
Resim 3.4	Profilometre ile takımda oluşan krater aşınması ölçümleri	47
Resim 4.1	Kuru kesme şartlarında elde edilen takımın SEM görüntüleri	51
Resim 4.2	Kuru kesme şartlarında 350 m/dak kesme hızında serbest yüzey aşınmasının gözlemlenmesi (Dijital mikroskop)	52
Resim 4.3	Geleneksel kesme sıvısı ile kesme şartlarında elde edilen takımın SEM görüntüleri	55
Resim 4.4	Geleneksel kesme sıvısı ile kesme şartlarında 350 m/dak kesme hızında serbest yüzey aşınmasının gelişimi (Dijital mikroskop).....	56
Resim 4.5	MQL ile kesme şartlarında 125 m/dak kesme hızında serbest yüzey aşınmasının gelişimi (Dijital mikroskop)	58
Resim 4.6	MQL ile kesme şartlarında elde edilen takımın SEM görüntüleri.....	59
Resim 4.7	Kriyojenik kesme şartlarında elde edilen takımın SEM görüntüleri	61
Resim 4.8	Kriyojenik kesme şartlarında 350 m/dak kesme hızında serbest yüzey aşınmasının gelişimi (Dijital mikroskop)	62
Resim 4.9	Kuru kesme şartlarında 300 metre kesme mesafesinde kesme hızının takım aşınması üzerindeki etkisi (profilometre sonuçları)	65
Resim 4.10	Geleneksel kesme sıvısı ile kesme şartlarında 600 metre kesme mesafesinde kesme hızının takım aşınması üzerindeki etkisi (profilometre sonuçları)	67

Resim 4.11	MQL ile kesme şartlarında 300 metre kesme mesafesinde kesme hızının takım aşınması üzerindeki etkisi (profilometre sonuçları)	69
Resim 4.12	Kriyojenik kesme 200 metre kesme mesafesinde kesme hızının takım aşınması üzerindeki etkisi (profilometre sonuçları)	71
Resim 4.13	350 m/dak kesme hızında 300 metre kesme mesafesinde takımda oluşan serbest yüzey aşınması (Dijital mikroskop).....	76
Resim 4.14	125m/dak kesme hızında 400 metre kesme mesafesinde soğutma sisteminin takım aşınması üzerindeki etkisi (profilometre sonuçları).....	78
Resim 4.15	250m/dak kesme hızında 200 metre kesme mesafesinde soğutma/yağlama sisteminin takım aşınması üzerindeki etkisi (profilometre sonuçları).....	80
Resim 4.16	350m/dak kesme hızında 300 metre kesme mesafesinde soğutma/yağlama sisteminin takım aşınması üzerindeki etkisi (profilometre sonuçları).....	82

1. GİRİŞ

Titanyum ilk olarak 1791 yılında maden bilimci ve kimyacı olan William Gregor tarafından keşfedilmiştir. Dört yıl sonra, Martin Klaproth, Yunan mitolojisindeki Titan'ların hikayesinden esinlenerek bu elemente Titanyum adını vermiştir. Titanyum oksitten titanyum metalinin elde edilmesi için ise yüz yıldan daha fazla bir süre gerekmiştir. Titanyumun ilk alaşımları 1940'ların sonunda geliştirilmiştir. Ti-6Al-4V alaşımı piyasada bulunan titanyum alaşımları arasında en yaygın olarak kullanılanıdır. Bundan sonraki yıllarda Ti-6Al-4V alaşımının yoğunluğunun ve özelliklerinin geliştirilmesi için çok fazla çalışma yapılmıştır ve yapılmaya devam edilmektedir (Leyens and Peters 2003).

Titanyum ve alaşımları, yüksek mukavemet kırılma tokluğu ve düşük yoğunluk gibi özelliklerinin mükemmel kombinasyonu nedeniyle, havacılık alanında mühendislik malzemelerinin önemli bir sınıfını oluşturmaktadırlar (Umbrello 2008). Ayrıca, sahip olduğu yüksek dayanım, düşük yoğunluk, mükemmel korozyon direnci, düşük elastisite modülü ve biyolojik uyumluluk özelliği nedeniyle uzay, biomedikal, otomotiv ve petrol endüstrisi başta olmak üzere daha birçok endüstri dalında geniş bir uygulama alanı bulmaktadır (Wang *et al.* 2005).

Talaş kaldırma işlemi, iş parçası yüzeyinin, kesici takımlar kullanılarak deforme edilmesi suretiyle, küçük parçacıklar halinde iş parçası yüzeyinden talaşın uzaklaştırılması işlemidir. Bu sayede parça istenilen şekle gelir. Bir iş parçası çok çeşitli metotlarla istenilen şekle sokulabilir. Ancak burada asıl konu, iş parçası istenilen şekle getirildiğinde yüzey kalitesi, bunun için harcanan zaman, kesici veya şekillendirici araç gereçler, maliyet ve beklentilerin karşılanıp karşılanmadığıdır (Gürsakal 2005).

Talaş kaldırma işlemi esnasında tüm takımlar aşınır ve bu aşınma takım ömrünü tamamlayıncaya kadar devam eder. Takım ömrü; takım kesici kenarının iş parçasını, parçada istenilen boyutların tolerans sınırları içerisinde kalmak suretiyle, talaş kaldırmaya devam ettiği süredir. Talaş kaldırma esnasında doğru kesici takımın kullanılması, maksimum verimliliğin sağlanması açısından önemlidir. Özellikle takım malzemesi ve kesme geometrisi seçimi çok önemlidir. Ancak takım doğru seçilmiş olsa

bile uygun işleme koşulları sağlanamaz ise optimum takım ömrü elde etmek mümkün değildir (Çakır 1999).

Kesici veya şekillendirici araçların korunması ve ideal yüzey kalitesi elde edilebilmesi adına talaş kaldırma işleminde yaklaşık 200 yıldan beri kullanılan kesme sıvıları, ilk dönemlerde takımı soğutmak ve yağlamak için fırçayla uygulanan basit yağlardan ibaretti. Yağlayıcılığı artırmak için bazen hayvansal yağlar da bu yağlara katılmaktaydı. 20. Yüzyılın başlarında F.W. Taylor takım çelikleriyle yaptığı çalışmalarda bir miktar su kullanmanın takım ömrünü artırdığı sonucuna ulaştı. Daha sonra metal kesme tekniklerinin, makine tasarımlarının ve kesici takım malzemelerinin gelişimine paralel olarak kesme sıvısı formülasyonu da daha karmaşık hale gelmeye başladı (Aronson 1994).

Günümüzde endüstride bütün işletmelerdeki en önemli iki etken enerji ve zamandır. Daha kısa sürede, daha az enerji ile mümkün olan en fazla üretimi yapmak o işletmenin sürdürülebilirliği ve karlılığı için en önemli etkenlerden biridir. Talaşlı imalat yapan işletmelerde de ürünlerin istenilen tolerans sınırları içerisinde ve yüzey kalitesine bağlı olarak üretimin hızlandırılması işletmelerin verimliliklerini de karlılıklarını da arttıracaktır.

Bu bilgilerin ışığında, bu çalışmada, mükemmel özelliklere sahip titanyum alaşımları arasında kullanımı en yaygın olan Ti-6Al-4V alaşımının tornalama işleminde, yüksek kesme hızları kullanılarak işleme sürelerinin düşürülmesi amaçlanmıştır. Fakat kesme hızının artırılması kullanılan kesici takımların ömürlerini azalttığı, ayrıca yüzey kalitesini de olumsuz yönde etkilediği daha önceki çalışmalarda ortaya konulmuştur. Bu çalışmada bu handikapların giderilerek optimum kesme şartlarının tespit edilmesine çalışılmıştır. Bunun için farklı kesme hızlarında farklı soğutucu/yağlayıcı akışkanlar kullanılarak oluşturulan kesme şartlarında takım ömrü ve elde edilen yüzey kalitesi değerlendirilmiştir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Titanyum Ve Alaşımları

Titanyum ve alaşımları, başta uçak ve uzay endüstrisinde olmak üzere, tıpta, kimyasal ünitelerde, denizcilikte ve gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bir malzemelerdir. Titanyum esaslı ürünler, çıkarılma ve ayrıştırılma için karmaşık işlemlere ihtiyaç duyulması, maden olarak çok bulunmama ve buna bağlı olarak da çıkarma ve ayrıştırma için gerekli olan tesislerin yatırımlarının yeterli ölçüde bulunmaması ve bunlara bağlı olarak üretim maliyetinin fazlalığı gibi sebeplerden kaynaklanan yüksek maliyetli malzemelerdir. Ancak, üretim maliyetleri yüksek olan titanyum, üstün özellikleri sayesinde cazibesini korur. Titanyumun üstün özelliklerini aşağıdaki gibi sıralanabilir (Çakır ve Ensarioğlu 2005).

- Mükemmel düşük sıcaklık dayanımı
- Yüksek spesifik dayanımı
- Düşük özgül ağırlık
- Yüksek sıcaklık dayanımı
- Düşük ısı iletkenlik
- Isıl büzölmelere yüksek direnç
- Mükemmel korozyon direnci
- Son derece düşük mıknatıslık
- Aşırı iletkenlik (Ti-Nb esaslı alaşımlarda görülür.),
- Hidrojen emme,
- Yüksek kimyasal reaktivite

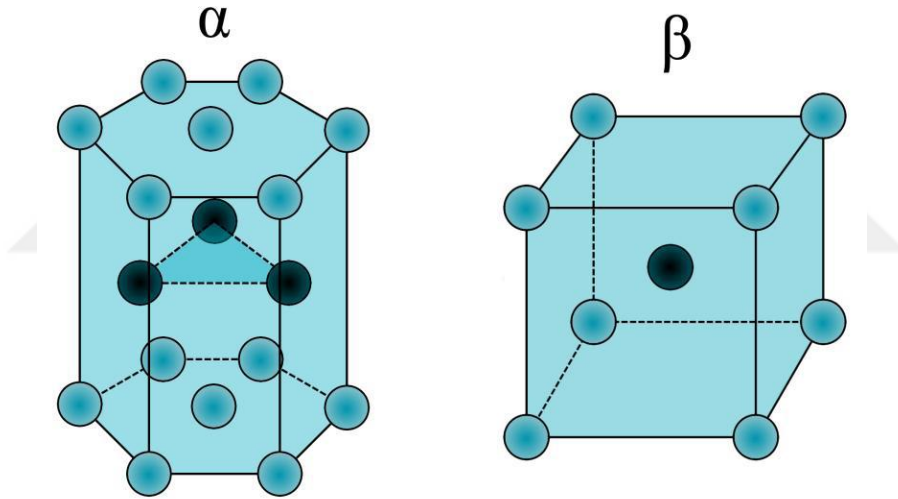
2.1.1 Ticari Safılıktaki Titanyum

% 99.5 - % 98.635 oranında titanyum içeren ticari safılıktaki titanyum, daha oda sıcaklığında sıkı düzen hekzagonal yapıda, yani α fazındadır ve 885 °C' de hacim merkezli kübik yapıdaki β fazına dönüşmektedir. Ancak bu dönüşüm sırasında her iki fazın da bir arada bulunduğu küçük bir sıcaklık aralığı da vardır (Moiseyev 2006).

Ticari saflıktaki titanyum, genellikle yüksek dayanım gerektirmeyen ancak korozyon dayanımının ön planda olduğu uygulamalarda tercih edilirler (ASM Handbook 1990).

2.1.2 Faz Yapılarına Göre Titanyum Alaşımları

Titanyum alaşımları, α , $\alpha+\beta$ alaşımları ve β alaşımları olmak üzere başlıca üç grupta toplanabilmektedir. α alaşımlarının tüm yapısını α fazı oluştururken, β alaşımlarının yapısında büyük ölçüde β fazı bulunmaktadır. Bu yapıya çözündürme sıcaklığından itibaren soğutarak ulaşılır. $\alpha+\beta$ alaşımları ise oda sıcaklığında hem α hem de β fazını içermektedir. Yapısında β fazından daha fazla α fazı içeren alaşımlara near-alpha alaşımlar denilmektedir, "süper-alfa" veya "lean-beta" isimleri de bu alaşımlar için kullanılabilmektedir (Donachie 2000).



Şekil 2.1 Titanyum alaşımları mikro iç yapısı. α fazı hegzagonal sıkı paket ve β fazı hacim merkezli kübik (Bamford 2016).

2.1.2.1 α Titanyum Alaşımları

Çok bilinen α alaşımlarının hepsi % 5 Al ve % 2,5 Sn içerir. Bunların her ikisi de α' ya katı eriyik mukavemetleşmesi sağlar. Bu alaşımlar yüksek sıcaklıklarda dayanımlarını korurlar. Bunun yanında korozyon ve oksidasyon dirençlerine ve kaynak edilebilirlikleri iyidir. Aynı zamanda şekillendirilebilirlik özellikleri de iyidir. Alfa alaşımları, β bölgesindeki yüksek sıcaklıklarda tavlanırlar ve sonra soğutulurlar. Hızlı soğutma, çok ince iğnesel şekilli α tane yapısı sağlar. Fırında soğutma ise daha çok levha şeklinde bir

içyapı oluşturur (Bargel and Schulze 1980). Ti-8Al-1Mo-1V ve Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo alaşımları α titanyum alaşımları grubundadır.

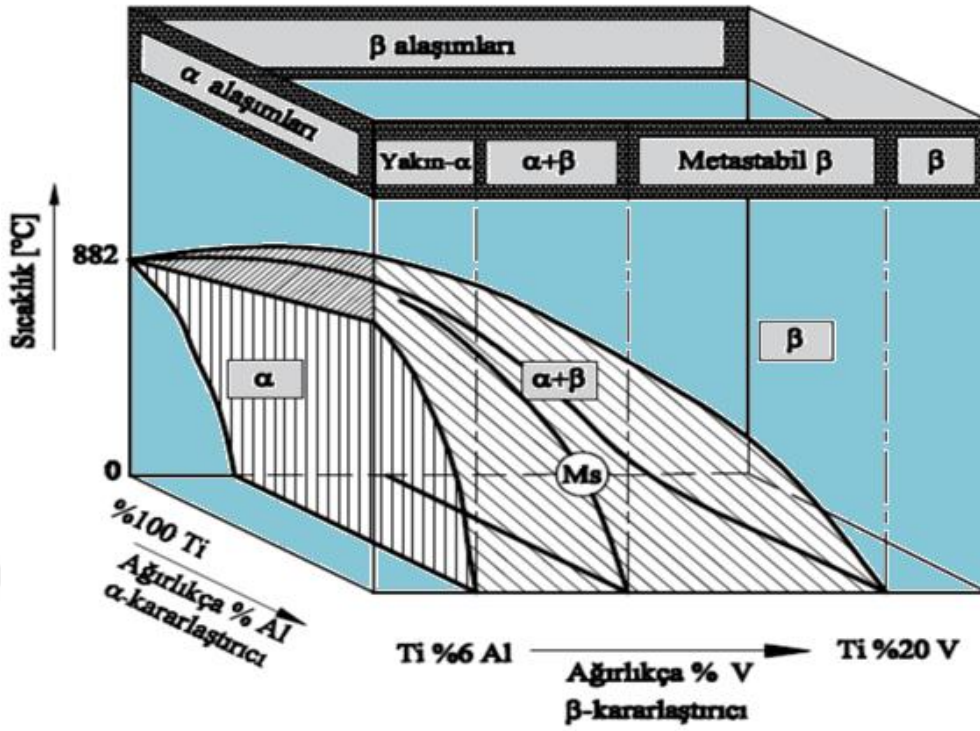
2.1.2.2 β Titanyum Alaşımları

Vanadyum ve molibdenin büyük miktarda ilave edilmesi oda sıcaklığında tamamen bir β yapısı üretir. Ancak β olarak adlandırılan alaşımların hiçbiri gerçekten bu miktarlarda alaşımlanmazlar. Bu alaşımlar β dengeleyicilerce zengindirler. Bu nedenle de hızlı soğutma, hepsi β 'dan oluşan dengesiz bir faz oluşturur. Dayanım, katı eriyik mukavemetleşmesinin sonucudur. Alaşımları yüksek dayanım sağlamak için yaşılandırılabilir. Yüksek sertlikleri, mukavemetleri, soğuk şekil verilebilirlikleri ve yüksek korozyon dirençleri genel özellikleridir (Ezugwu et al, 2003). Uygulamaları yüksek dayanımlı bağlama elemanlarını, kırımları ve uzay uygulamalarında bağlantıları içerir (Bargel and Schulze 1980). Ti-10V-2Fe-3Al ve Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn alaşımları β titanyum alaşımları grubundadır.

2.1.2.3 $\alpha + \beta$ Titanyum Alaşımları

α ve β dengeleyicilerin uygun dengesi ile oda sıcaklığında α ve β 'nın bir karışımı üretilir. Yüksek süneklik, üniform özellikler ve iyi dayanım kombinasyonu oluşturur. Daha fazla alaşımlanmış α - β alaşımları yüksek dayanımlar elde etmek için ısıtılma işlemi tabi tutulur. Alaşıma, β 'ya dönüşüm sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta çözündürme uygulanabilir. Daha sonra alaşım dengesiz aşırı doymuş bir katı eriyik β ' veya titanyum martensit α' oluşturmak için hızla soğutulur. Sonra alaşım 500 °C'ye yakın sıcaklıklarda yaşılandırılır veya temperlenir. Düşük yoğunluklu bu malzemeler, mukavemet ve korozyona dayanıklılık özelliklerini yüksek sıcaklıklarda dahi korurlar. Uçak iskeleti, roketler, jet motorları ve iniş takım dişlileri ve bunlar için parçalar, ısıtılma işlemi görmüş alfa-beta alaşımları için tipik uygulamalardır (Bargel and Schulze 1980).

En yaygın kullanılan Ti-6Al-4V alaşımı bu grupta yer alır. Şekil 2.2'de titanyum alaşımlarının 3 boyutlu faz diyagramı verilmiştir. Bu diyagramda Al ve V içeren içeren yapının α ve β maddelerini olacağını gösterir.



Şekil 2.2 Titanyum alaşımlarının üç boyutlu faz diyagramı (Leyens and Peters 2003).

2.1.3 Ti-6Al-4V Alaşımı

Ti-6Al-4V alaşımı toplam titanyum üretiminin %50'inden daha fazlasını oluşturmaktadır (Leyens ve Peters 2003). En yaygın kullanım alanına sahip titanyum alaşımı olup, $\alpha+\beta$ alaşım grubu içerisinde yer almaktadır. Ti-6Al-4V alaşımı bünyesinde %6 alüminyum kararlaştırıcısı ile α fazını, %4 vanadyum kararlaştırıcısı ile de β fazını bulundurmaktadır (Joshi 2006). Bu alaşım daha fazla α kararlaştırıcısı (Al) içerdiği için faz diyagramında α' yakın bölgede bulunmaktadır. α kararlaştırıcısı olan alüminyum katı çözelti mukavemetleşmesi sağlar. α_2 fazının oluşumundan kaçınmak için alüminyum içeriği genelde %6 civarında tutulur. Bu α_2 fazı, Ti-6Al-4V alaşımının süneklik, korozyon direnci ve tokluğunda azalmaya neden olur. Titanyumda her zaman mevcut olan oksijen, α fazı katı çözelti mukavemetlendiricisi olarak görev yapar (Grujicic and Narayan 1992).

Bu alaşımda β kararlaştırıcısı olan vanadyum (V), α fazında çözünmez ve bu fazdan dışarı atılır. Bu yüzden vanadyum, β fazının küçük bölgelerinde birikir. β fazı, α matris

içerisinde düzenli olarak dağılmıştır. α ve β fazlarının içerik olarak birbirinden farklı olması sebebiyle bu iki faz tane büyümesine karşı çok kararludur. Yani tane büyümesi için daha fazla difüzyona gerek duyulmaktadır. Sonuç olarak, Ti-6Al-4V gibi alaşımlar nispeten ince bir mikro yapıya sahiptir ve genellikle dayanımlarını tane sınırı mukavemetleşmesinden sağlarlar (Taktak 2002).

Düşük ısı iletkenliği ve elastisite modülü, yüksek kimyasal reaktivite ve ısıl dayanımı özellikleriyle titanyum işlenmesi zor bir malzemedir. Düşük termal iletkenlik, kesme bölgesinde oluşan yüksek sıcaklığın malzemede yavaş iletilmesine neden olur. Gerilme ve şekil değiştirme arasındaki ilişki olarak tanımlanan Young elastisite modülü [E], titanyum alaşımlarda çoğu çeliklerin yarısı kadardır. Titanyum alaşımları düşük sıcaklıklarda kimyasal olarak kararlı olsalar da 500 °C üzerindeki sıcaklıklarda kesici takım malzemeleriyle reaktif hale gelirler. Yüksek sıcaklık dayanımı ise malzemenin yüksek sıcaklıklarda kırılmalara karşı dirençli olduğu anlamına gelir (Bamford 2016).

2.2 Talaşlı İmalat Ve Talaş Oluşumu

Talaşlı imalat işlemi en önemli şekillendirme yöntemlerinden biridir. Talaşlı imalat işleminde; iş parçasını (yarı mamul; döküm, dövülmüş, haddelenmiş) istenilen geometriye getirmek için üzerindeki fazlalıklar uygun takım tezgahı (torna, freze, matkap) ve uygun kesici takımlar kullanılarak parçadan kesilerek uzaklaştırılıp, istenilen boyutlar ve yüzey kalitesi elde edilir. İş parçası metal olduğu zaman işlem metal kesme olarak da adlandırılır. Talaşlı imalat işleminde etkin olan kesme hareketi, iş parçasının kesici takım önündeki plastik deformasyonunu ve deforme olan bu katmanın talaşa dönüşmesini gerektirir (Altıntaş 2000).

Fiziksel olarak talaş kaldırma işlemi, elastik ve plastik şekil değişimine dayanan, iş parçası ve takım üzerinde sürtünme, ısı oluşumu, talaşın kırılması ve büzülmesi, işlenen parçanın yüzeyinin sertleşmesi, takım ucunun aşınması gibi olayların meydana geldiği karmaşık bir fiziksel olaydır. Bir iş parçası üzerinden belirli bir malzeme tabakasının kaldırılması için, takımın o malzemeye nüfuz etmesi gereklidir. Bu da, ancak takıma

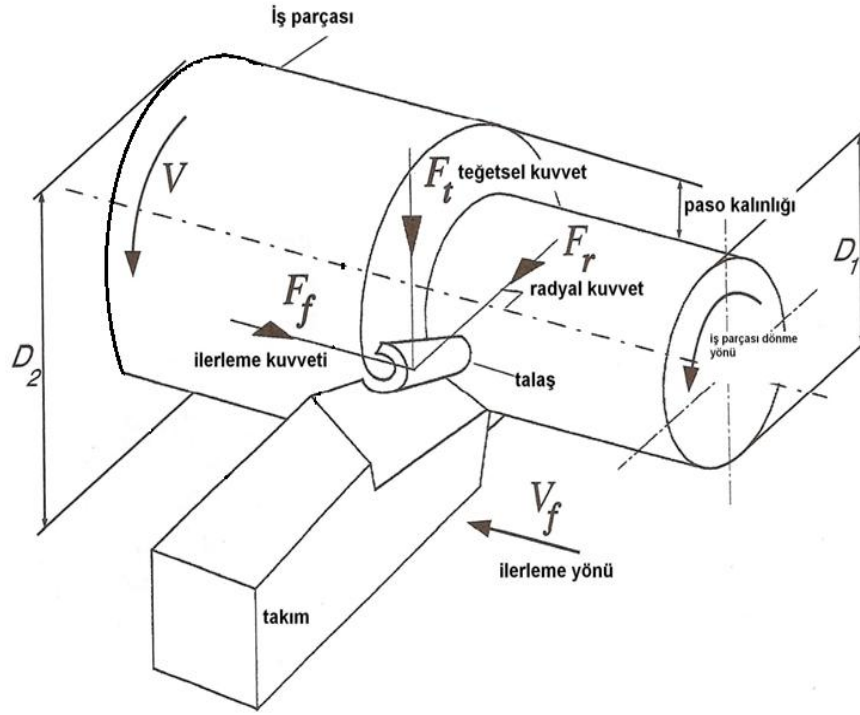
uygulanan kuvvetlerin yeterli ve takım malzemesinin parça malzemesinden daha sert olması halinde meydana gelir (Akkurt 2000).

Talaşlı imalat, kesme işlemleri ve taşlama işlemleri olarak iki ana grupta ele alınabilir. Kesme işlemleri parçadan talaş kaldırma esasına dayanırken, taşlama işlemleri ise parçanın yüzey kalitesini ve ölçü hassasiyetini artırma yönünde işlemlerdir. En genel talaşlı imalat işlemleri tornalama, frezeleme ve delik delmedir. Şekil 2.3'te tipik bir silindirik tornalama işlemi şematize edilerek gösterilmektedir. Her ne kadar bütün talaşlı imalat işlemleri aynı mekanik prensibe dayansa da, geometri ve kinematik olarak birbirlerinden ayrılırlar (Akkurt 2000).



Resim 2.1 Talaşlı imalatta kesme işlemi (a) ve taşlama işlemi (b) (İnt.Kyn.1, İnt.Kyn.2).

Metallerin talaşlı imalatında iş parçasının kimyasal bileşimi, sertliği ve mikro yapısı gibi etken olan birçok değişken vardır. Bunun yanında iş parçasının termal yumuşama, ısı iletkenlik ve iş sertleşmesi gibi fiziksel özellikleri ve kesme koşulları (kesme parametreleri, takım geometrisi ve malzemesi) o malzemenin işlenebilirliğini etkiler. Termal yumuşama, malzemenin yüksek sıcaklıklarda şekil değiştirme mukavemetinin azalması, iş sertleşmesi ise işlenmiş iş parçası plastik deformasyona uğradığında iş sertleşmesi oluşur (Bamford 2016).



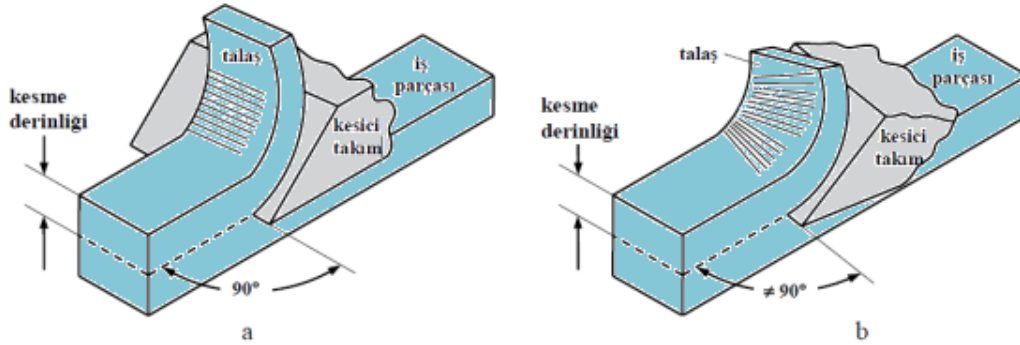
Şekil 2.3 Tornalama işleminin şematik görünümü (Altıntaş 2000).

Tornalama işlemi talaş kaldırarak yapılan deneysel çalışmalarda en çok kullanılan imalat yöntemlerinden birisidir. Etkin bir talaşlı imalat işlemi olan tornalama işlemi dairesel iş parçalarının işlenmesinde kullanılır. İşlenecek olan iş parçası genelde bir donanıma bağlanarak döndürülür. Bir takım tutucu üzerine rijit olarak bağlanmış kesici takım dönen iş parçası ekseninde ilerletilerek ve iş parçasından bir katman kaldırılarak, dairesel veya daha karmaşık profilli yüzeyler oluşturulur (Mavi 2013).

Kesme hızı, (V) kesilmemiş iş parçası yüzeyindeki bir noktanın kesici takım önünde birim zamanda aldığı yoldur ve çoğunlukla m/dak olarak ifade edilir. İlerleme hızı ya da miktarı (f), iş parçası malzemesinin her bir dönüşünde kesici takımın iş parçası eksenine paralel olarak kat ettiği mesafe olarak tanımlanır ve mm/dev olarak ifade edilir. Talaş kalınlığı (a), iş parçası malzemesinden kaldırılan malzemenin derinliğidir ve iş parçası eksenine dik yönde ölçülür. Bu üç kesme parametresinin birim düzenlemeleri yapılarak çarpımı genellikle metal kesme işleminin verimliliğini ifade eden talaş kaldırma oranını vermektedir (Trent 1989).

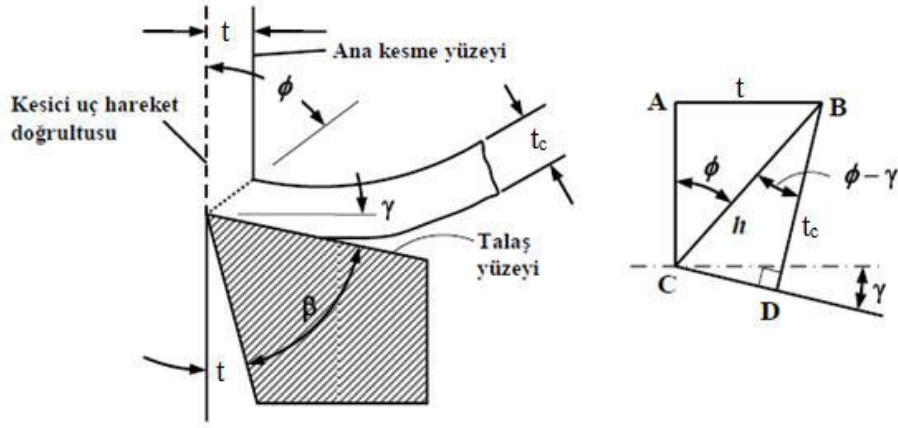
Kesici takım kenarı, kesme işlemleri sırasında çok yüksek sıcaklıklara maruz kalmaktadır. Kesme sırasındaki mekanik işlerin yaklaşık %98'i ısıya dönüşmektedir. Titanyum alaşımlarının işlenmesinde ortaya çıkan ısıнын yaklaşık %80'i kesici takım ve takım tutucu içine iletilir. Titanyum alaşımlarının düşük ısı iletkenliği ve kesme işlemi sırasında hızlı talaş akışından dolayı bu oran çeliklerinkine göre %30 daha fazladır. Üretilen ısıyı kesme bölgesinden uzaklaştırmak için çeşitli yöntemler kullanılır (Bamford 2016).

Talaş kaldırma işlemi, ucu keskin bir takımla güç kullanmak suretiyle iş parçası (ham madde) üzerinden tabaka kaldırarak belirli bir boyut, şekil ve yüzey kalitesine sahip bir parça meydana getirme işlemidir. Bu işlem sırasında iş parçası üzerinden ayrılan malzeme tabakasına talaş denir (Groover 1996). Endüstriyel ve akademik alanda kesme işleminin analizi için yaygın olarak ortogonal (dik) ve oblique (eğik) olmak üzere iki çeşit kesme metodu kullanılır (Şekil 2.3). Dik kesme daha çok, üç boyutlu problemden ziyade iki boyutlu bir problem davranışı gösterdiğinden kesme mekaniğini oluşturan eşitliklerin çıkarılmasındaki deneysel ve teorik çalışmalarda yaygın olarak kullanılan bir metottur (Kara vd. 2010).



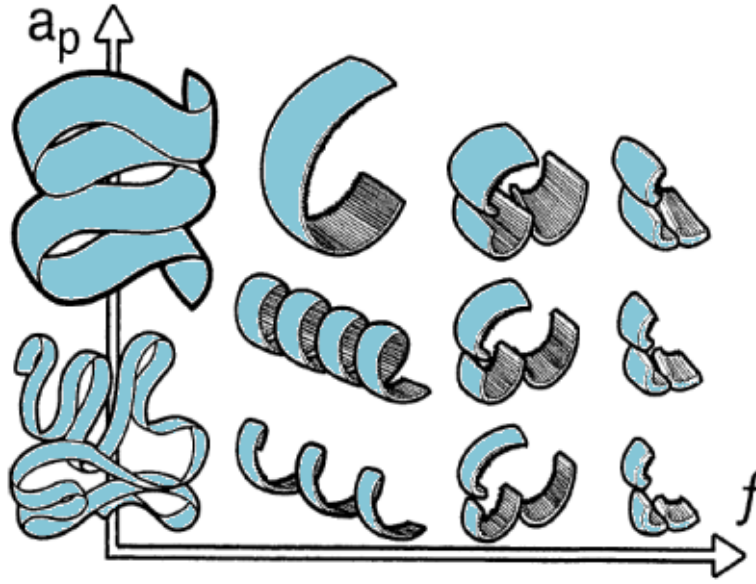
Şekil 2.4 Kesme yöntemlerinin şematik gösterimi a) Dik (Ortogonal) kesme b) Eğik (Meyilli) kesme (Şeker 2006).

Talaş kaldırma, kesici kenarda talaşın oluşturulduğu bölgeden alınan düzlemsel kesitle açıklanabilir. Şekil 2.4' de gösterilen talaş oluşma düzleminde ϕ , kayma açısını; β , takım açısını; γ , talaş açısını; t , deforme olmamış talaş kalınlığı ve t_c deforme olmuş talaş kalınlığını göstermektedir (Kurt 2006).



Şekil 2.5 Ortogonal (Dik) kesmede kayma düzlemi ve takım üzerindeki kuvvetler (Kurt 2006).

Talaşlar işlenen malzemenin cinsi, kesme hızı, ilerleme/talaş derinliği ve takım geometrisi parametrelere bağlı olarak değişik tiplerde oluşur (Şekil 2.5).

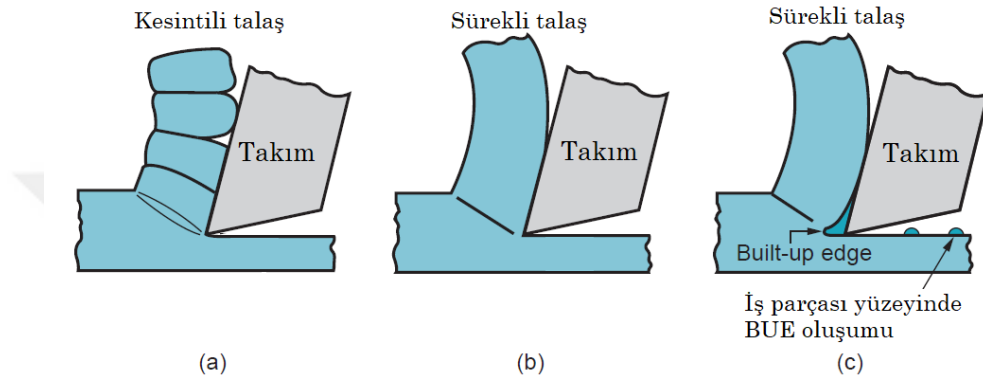


Şekil 2.6 İlerleme hızı (f) ve kesme derinliğinin (a_p) talaş şekline etkisi (Smith 2008).

Talaş tipi, kesme şartları ve yüzey kalitesi hakkında bilgi veren önemli bir faktördür. Ayrıca talaş tipi, talaşlı imalatın zorluğu veya kolaylığında da etkili olmaktadır. Uzun ve sürekli talaşın çıkması takım veya tezgâha dolaşmasına, malzeme ve yüzey

kalitesinin bozulmasına ve kesici ucun zarar görmesine neden olur. Talaş, oluşum mekanizmasına göre üç tip talaş meydana gelir (Şekil 2.7). Bunlar;

- Süreksiz Talaş (kesintili veya kırık talaş)
- Sürekli Talaş (Akma talaş)
- Yığıntı Talaş (Built-Up Edge - BUE) (Aydın 2002).



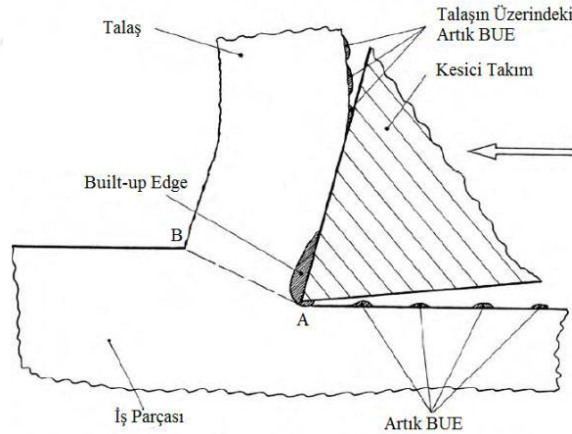
Şekil 2.7 Talaş tipleri a) Kesintili Talaş b) Sürekli Talaş c) Yığıntı Talaş (Groover 1996).

Sürekli talaş, yüksek kesme hızları ve talaş açılarında sünek malzemelerin işlenmesinde sonucunda meydana gelir. Genellikle iyi bir bitirme yüzeyi bırakmasına rağmen, sürekli talaş her zaman istenen bir durum değildir. Özellikle, günümüzde yaygın olarak kullanılan CNC takım tezgâhları ve otomatik işleme yapan tezgâhlarda sürekli talaş, takım tutucu, bağlama sistemi ve iş parçası etrafında ve aynı zamanda talaşı uzaklaştırma sistemleri etrafında kıvrılarak karmaşık hale gelir ve dolayısıyla talaşların temizlenmesi için işlem durdurulmak zorunda kalır. Bu da imalat zamanının ve dolayısıyla maliyetin artmasına neden olur. Aynı zamanda talaşın işlenen malzeme üzerine sarılması ve talaşı temizlemek için işlemin durdurulması iş parçasının yüzeyde kalitesini bozar. Bu problem, talaş kırıcılarla ve kesme hızı ve ilerleme gibi işleme parametreleri ve soğutma sıvıları ile azaltılabilir (Çiftçi 2005).

Süreksiz talaşlar genellikle, kırılgan iş parçası malzemeleri işlenirken, çok düşük veya çok yüksek kesme hızları, fazla talaş derinliği, negatif talaş açısı, etkin bir soğutma sıvısının olmaması, takım tezgâhının rijitliğinin yetersiz olması gibi durumlarda oluşur. Talaş oluşumundaki süreksiz yapıdan dolayı işlem süresince kuvvetler sürekli olarak

değişir. Sonuç olarak takım tutucunun bağlama elemanlarının ve takım tezgâhının rijitliği dilimli ve süreksiz talaş oluşan kesme işlemlerinde önemlidir. Bunlar, yeterince rijit değilse, takım tezgâhı titreşime maruz kalır. Buda iş parçasının yüzey kalitesini bozar ve boyutlarının istenilen toleranslar dışına çıkmasına neden olur. Aynı zamanda takım aşınmasını da hızlandırır (Çiftçi 2005).

Yığıntı talaş (talaş sıvanması, BUE), kesici kenar yakınında talaş yüzeyi üzerinde kaynaklanan iş malzemesi biriktiği ve bu takım/talaş ara yüzeyinde aşırı basınç ve yüksek sıcaklıkla oluşan bölgeselliğin ürünüdür. Şekil 2.8’de gösterildiği gibi takımla direkt temasta bulunan talaş yer değiştirir. BUE işlemi, kesme sırasında malzeme gövdesinde bir ayrılma olmayıp A’da üretilen yeni yüzeyi ve B’de talaş alt yüzeyi fakat A ve B arasında talaş sıvanması (BUE) ve iş parçası serbest yüzeyinden ayrılmayan sürekli malzeme gövdesinden birisidir. BUE’nın aşırı uzama-gerilme şartları altında, birbiri ardı sıra katmanlardan oluşan oldukça sertleşmiş dinamik bir yapı olduğu söylenebilir (Şahin 2003).



Şekil 2.8 Kesici takım, talaş ve iş parçası üzerindeki artık BUE oluşumu (Smith 2008).

İş parçasından talaş kaldırma sırasında oluşan ısı, kaldırılacak tabakanın iş parçasından ayrılması için gereken enerjiden, takım ile talaş arasındaki sürtünmeden ve takım ile işlenmiş yüzey arasındaki sürtünmeden dolayı ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan ısının bir bölümü, kaldırılan talaş ile birlikte dışarıya atılır. Kalan bölümü ise parçaya ve takıma geçer. Isının en büyük miktarı talaş ile birlikte çevreye atıldığı yapılan deneylerce görülmüştür (Yeyen 2006).

2.3. Takım Ömrü

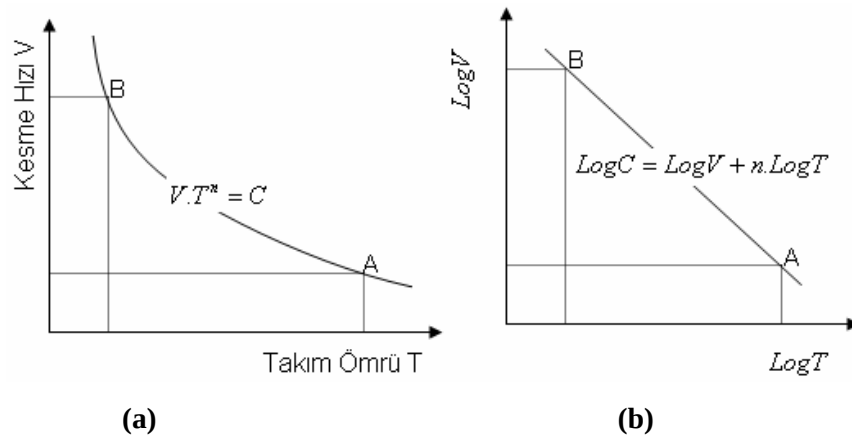
Takım ömrü, genellikle belirli bir kritere ulaşmak için gerekli olan etkili kesme zamanı veya pratik olarak iki bileme arasında geçen etkili çalışma zamanı olarak tanımlanır. Takım ömrü esas itibariyle aşınma olayına bağlı olduğundan aşınmaya etki eden faktörler; takım malzemesi, iş parçası malzemesi, takım ve talaş geometrisi, kesme hızı, soğutma sıvısı gibi faktörler de takım ömrünü etkilemektedir. Ancak bunlardan en önemlisi kesme hızıdır (Şahin 2003).

Kesme işleminin optimizasyonunda kesme hızı(V) ve takım ömrü(T) arasındaki çok önemli bir ilişki vardır ve bunu iyi anlamak gerekir. Bu konuyla ilgili ilk çalışma Taylor tarafından yapılmış ve Taylor, Denklem 2.1'de verilen ampirik ifade ile kesme hızı takım ömrü arasındaki ilişkiyi açıklamıştır.

$$V.T^n = C \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte; n: Takım üssünü göstermekte olup, verilen takım malzemesi, iş malzemesi, işleme şartları, ilerleme miktarı veya talaş derinliği, takım geometrisi ve soğutma sıvısı gibi faktörlere bağlı bir katsayıdır. Yine burada; V: Kesme hızı, T: Takım ömrü ve C: özellikle ilerlemeyi ihtiva eden tüm girdi parametrelerine bağlı bir sabittir.

Kesme hızının artması, takım talaş ara yüzünde sürtünmenin ve en nihayetinde sıcaklığın artmasına neden olacaktır. Bunun sonucunda takım aşınması daha çabuk gerçekleşecek ve takım ömrü azalacaktır.



Şekil 2.9 Kesme hızı takım ömrü ilişkisi, (a) Lineer ilişki, (b) Logaritmik ilişki (Sayit 2007).

Şekil 2.9’da grafiklerle takım ömrü kesme hızı ilişkisi gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde, takım ömrü ile kesme hızı arasında ters bir ilişki olduğu, kesme hızının yükselmesiyle takım ömrünün azaldığı, açıkça görülebilmektedir. Grafik logaritmik olarak ölçeklendirildiğinde elde edilen düz doğrunun eğiminden Taylor denkleminde bahsedilen “n” takım üssü hesaplanabilir. A (V₁,T₁), B (V₂,T₂) koordinatları için değerler yerine konulduğunda (n) eğimi aşağıdaki formülle hesaplanır.

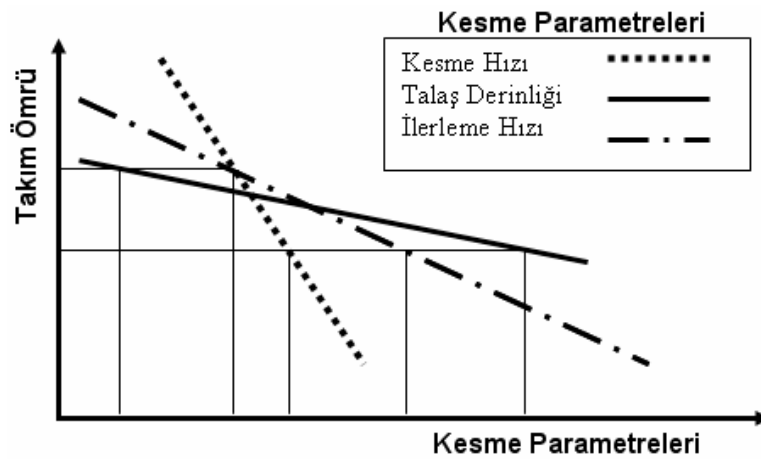
$$n = \tan \alpha = \frac{\log V_1 - \log V_2}{\log T_2 - \log T_1} \quad (2.2)$$

Takım ömrü formülüne logaritmik işlem uygulandığı takdirde; C katsayısını elde etmek mümkündür. Buna göre;

$$\log C = \log V + n \cdot \log T \quad (2.3)$$

şeklinde “C” katsayısı elde edilmiş olur.

Ayrıca, talaş derinliği artırılarak, yüksek ilerleme hızı ve orta kesme hızı kullanarak verim optimize edilebilir. Eğer güç sınırlayıcı bir faktör ise, kesme hızı, takım tezgahının işleme kabiliyeti sınırlarında olacak şekilde ayarlanabilir.



Şekil 2.10 Takım ömrü - Kesme parametreleri ilişkisi (Sayit 2007).

Şekil 2.10'da verilen takım ömrü-kesme parametreleri grafiğinden görüldüğü üzere takım ömrünü en fazla etkileyen parametre kesme hızıdır. Buna karşın takım ömrünü en az etkileyen kesme parametresi ise talaş derinliğidir. Kesme hızının %50 arttırıldığında takım ömründe yaklaşık %90 azalma meydana gelmektedir. İlerlemenin artırılması durumunda ise takım üzerine etkiyen kuvvetlerin artmasından dolayı takım ömrünü önemli ölçüde azaltmaktadır (Sayit 2007).

2.4 Takım Aşınması

Talaş kaldırma işlemi ile ilgili yapılan araştırmaların sonucunda, talaş kaldırma sırasında takımın, takım - talaş ve iş parçası - takım ara yüzeyinde oluşan sürtünme, gerilmeler ve yüksek sıcaklıklar ve bunun sonucunda da takımda elastik ve plastik deformasyon ile takım aşınmasının olduğu saptanmıştır. Talaş kaldırma sırasında takımda oluşan şekil değişimleri ve aşınma, talaş kaldırma işlemini olumsuz olarak etkilemektedir. Kesme takımlarının performansı; esas olarak aşınma direnci, tokluk ve ısıl direnç gibi malzeme özellikleri tarafından belirlenir. Takımda meydana gelen aşınmaların oluşturduğu olumsuzluklar; takım ömrünün azalması ve buna bağlı olarak da üretim maliyetlerinin artması ve işlem kalitesinin düşmesidir. Takım ömrünü doğrulukla belirleyebilmek için takım ömrünü olumsuz yönde etkileyen takım bozukluk mekanizmalarının ve bu mekanizmaların oluşma nedenlerinin bilinmesine gerek vardır. Kesici takımlar; aşınma, plastik deformasyon veya kırılma yoluyla ömrünü tamamlar (Ghani *et al.* 2004).

İdeal bir takım, aşağıda sıralanan şu özelliklere sahip olmalıdır (Şahin 2003).

- Yüksek sıcaklıklarda çalışma için yüksek sıcaklık sertliği,
- Yüksek gerilme karşı yüksek elastik ve plastik deformasyon direnci,
- Talaş kaldırma sırasında oluşan darbelere karşı yüksek kırılma tokluğu,
- Difüzyon, kimyasal ve oksidasyon aşınmasına karşı direnç için özellikle yüksek sıcaklıklarda kimyasal kararlılık,
- Takım kesme kenarındaki ısı birikimini önlemek için yüksek ısıl iletkenlik,
- Kesintili talaş kaldırmada yüksek yorulma dayanımı,
- Kesme sırasında oluşan ısınma ve soğumaya karşı yüksek ısıl şok direnci,

- Boyutsal kararlılık için yüksek rijitlik,
- Özellikle yumuşak, sünek malzemelerin işlenmesinde talaş birikmesi oluşumunu (Built -up Edge-BUE) önlemek için uygun sürtünme özellikleri.

2.4.1 Takım Aşınması Tipleri

Takım hasarı yani aşınma, plastik deformasyon ve kırılma nedeniyle meydana gelir (Özdemir ve Erten 2003). Takım aşınma tipleri, iş parçası ve takım arasındaki malzemenin uyumluluk değişkenlerinden dolayı farklılık gösterir. Takım aşınmasıyla ilgili yapılan çalışmalarda baskın olarak gözlenen bozukluk tipleri; serbest yüzey aşınması, krater aşınması, çentik, çatlama ve kırılma olmaktadır. Talaş kaldırmayla ilgili çalışmalarda ki temel amaç, göz önüne alınan takım hasar mekanizmasından takım ömrünü tespit edecek yöntemler geliştirmektir (Ghani *et al.* 2004).

Takımda meydana gelen bozulma şekilleri aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

2.4.1.1 Serbest Yüzey Aşınması

Takımın işlenmiş iş parçası yüzeyi ile temas halinde olan yan kenar yüzeyinin sürtünmesinden dolayı oluşan aşınma, serbest yüzey aşınması olarak isimlendirilir. Talaşlı imalat literatüründe bu aşınma flank wear veya yan yüzey yanak aşınması olarak ta isimlendirilir. Abrasiv aşınma mekanizmasının bir sonucu olarak sürtünmeden dolayı meydana gelen aşınma bölgesinin genişliği, serbest yüzey aşınması olarak alınır. Serbest yüzey aşınması kesmeye ilk başladığı esnada hızlı bir seyir izler ki bu aşınmanın birinci evresi olarak kabul edilir. Artan kesme zamanına bağlı olarak aşınmanın da doğrusal olarak değiştiği ikinci bölge en uzun evredir. Genellikle belirli bir değere ulaştığında, takım kesme işlemini yerine getiremez. Ayrıca aşınma ve sürtünmeden dolayı yüksek miktarda ısı açığa çıkar. Kesme kenarında, sıcaklığın yükselmesinden dolayı takımda meydana gelen deformasyon da hızlanır. Serbest yüzey aşınmasının oluşma nedeni abrazyon aşınmasıdır. Serbest yüzey aşınma bölgesi genellikle üniform genişliktedir (Resim 2.2).

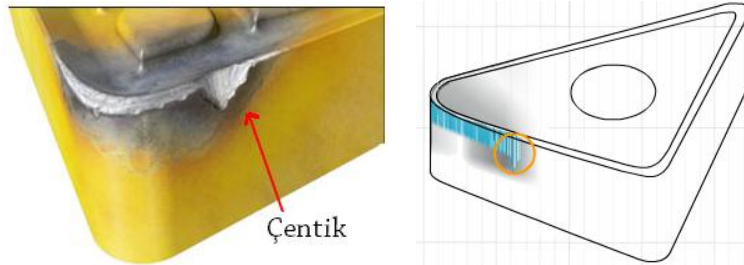
zamanına bağılı olarak, kratere yapışan talaş o bölgeden kopmaya zorlandığında takıma daha büyük zararlar verebilir hatta takımın kırılmasına yol açabilir.



Resim 2.3 Krater aşınması (İnt.Kyn.3, İnt.Kyn.4).

2.4.1.3 Çentik Aşınması

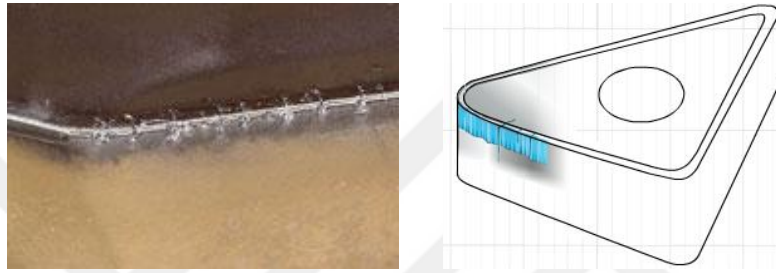
Çentik aşınması, takım kesme kenarlarından küçük parçaların kırılması şeklinde ortaya çıkar. Çentik aşınması, metal kesme işlemi sırasında, takım ile iş parçasının temas ettiği kesme derinliği mesafesinin bitimine yakın bölgede meydana gelir (Resim 2.4). Çentik aşınması, takımın talaş ve yan kenar yüzeyini aynı zamanda etkiler. Çentik aşınması genellikle mekanik ve ısıl gerilmeler veya iş parçasının sert bir yüzey tabakasına sahip olması neticesinde ortaya çıkabilir. Çentik aşınmasında etkili olan aşınma mekanizması abrasiv aşınmadır. Çentik aşınması, yüksek sıcak sertliğe sahip takım malzemesi kullanılmak suretiyle azaltmak/engellemek mümkün olabilir. Ayrıca kesme sırasında oluşan değişken kesme kuvvetleri veya sistem rijitliğinin yetersiz olması da çentik aşınmasına sebep olur (Özdemir ve Erten 2003).



Resim 2.4 Çentik aşınması (İnt.Kyn.3, İnt.Kyn.5).

2.4.1.5 Isıl ve Mekanik Çatlaklar

Mekanik çatlaklar, talaş kaldırma sırasında oluşan değişken kesme kuvvetlerinden, ısı çatlaklar ise işleme esnasında oluşan yüksek sıcaklıklar ile takımın genleşmesi ve kesici takım soğuduğunda takımdaki büzülmenin etkisiyle meydana gelir. Isıl ve mekanik çatlaklar, takım üzerinde malzeme kaybına yol açmaz ancak takım kırılmasını hızlandırabilir (Resim 2.5). Çatlak oluşumu takımın daha hızlı bir şekilde hasara uğramasına neden olur (Özdemir ve Erten 2003).



Resim 2.5 Isıl ve mekanik çatlaklar (İnt.Kyn.3, İnt.Kyn.4).

2.4.1.6 Talaş Yığılması (BUE)

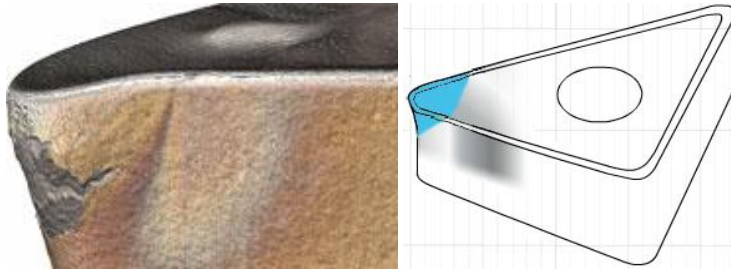
İş parçası malzemesinin, kesici takımın kesme kenarına çok güçlü bir şekilde yapışması sonucu meydana gelen bir durumdur (Resim 2.6). Genellikle orta kesme hızlarında ortaya çıkmaktadır. Takım talaş ara yüzeyinde basıncın ve kesme sıcaklığının etkisiyle talaş takımın talaş yüzeyine yapışır. Öyle ki bazen talaş akışı bu yapışan talaşın üzerinden gerçekleşir. Bu da kesme kuvvetlerinin artmasına ve yüzey kalitesinin bozulmasına neden olur. Talaş yığılması (BUE) takım bozukluk durumunu oluşturan aşınma mekanizması adhezyondur. Talaş yığılması genellikle demir dışı malzemelerin (özellikle alüminyum) ve düşük karbonlu çeliklerin işlenmesi sırasında ortaya çıkar. Bazı durumlarda yapışan talaş takımdan parçacık kopmasına neden olarak büyük boyutlu hasarlara neden olabilir.



Resim 2.6 Ağız birikimi oluşumu (BUE) (İnt.Kyn.3, İnt.Kyn.4).

2.4.1.7 Plastik Deformasyon

Metal kesme işlemi sırasında, takım - talaş ara yüzeyinde, kesme basınçları takım tarafından desteklenemediğinde, basma gerilmelerinden dolayı takımın kesme kenarlarında plastik deformasyon oluşur (Resim 2.7). Plastik deformasyon, takım bozukluk durumunun oluşma nedeni yüksek mekanik gerilmeler ve yüksek sıcaklıklardır. Genellikle yüksek kesme kuvvetlerinin olduğu yüksek ilerleme değerlerinde ve işleme sırasında yüksek sıcaklıkların oluşmasına neden olan ve sıcaklığa bağlı olarak da takımın sertliğini kaybetmesine sebep olan yüksek kesme hızı değerlerinde görülür. Aşırı plastik deformasyon, yüzey kalitesinin düşmesine, serbest yüzey aşınmasına ve takımın kırılmasına neden olur (Özdemir ve Erten 2003).

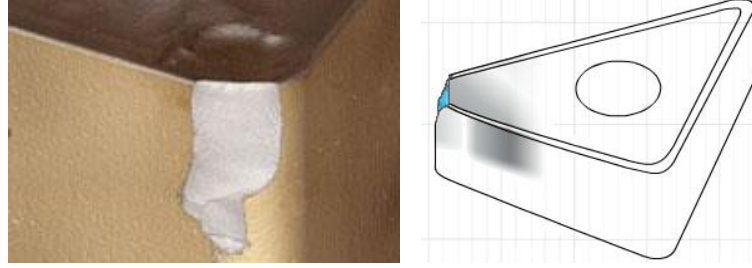


Resim 2.7 Plastik deformasyon (İnt.Kyn.3, İnt.Kyn.4).

2.4.1.8 Takım Kırılması

Kesici takımın kesme ucunun veya aşınma tiplerine bağlı olarak kesme kenarlarının ya da takımın önemli bir parçasının kırılması, takım kırılması olarak adlandırılır (Resim 2.8). Takım kırılması seramik esaslı takımlarda, takım aşınma tiplerinin çok fazla etkisi olmadan da gerçekleşir. Çünkü yüksek sertliğe sahip takımlar, yüksek sertliklerinden

dolayı gevrektiler. Takım kırılması hasarını önlemek ve takım ömrünü uzatmak için kesme kuvvetlerinin azaltılması, sağlam ve daha rijit takım tertibatlarının kullanılması ve kırılma tokluğu artırılmış takımların kullanılması önemlidir (Özdemir ve Erten 2003).



Resim 2.8 Takım kırılması(İnt.Kyn.3, İnt.Kyn.4).

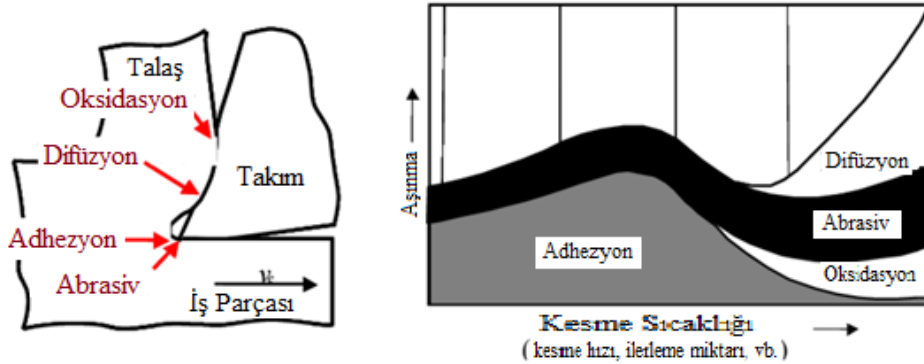
2.4.2 Takım Aşınma Mekanizmaları

Takım aşınması, takımın iş parçasıyla ve talaşla temas halinde olan yüzeylerinde meydana gelen bozukluk durumuna veya aşınmayı meydana getiren fiziksel mekanizmaya göre sınıflandırılabilir. Aşınma mekanizmaları; takım malzemesi, iş parçası malzemesi, kesme parametreleri, Talas kaldırma yöntemi ve takım geometrisine büyük ölçüde bağlıdır (Aslan 2005).

Kesici takım üzerinde oluşan takım aşınması tiplerine neden olan aşınma mekanizmaları şunlardır;

- **Adhezyon Aşınma Mekanizması:** Kesici takım kenarları üzerinde meydana gelen adhezyon(yapışma) aşınması, kesici takım ve iş parçasının temas noktalarında oluşan mikro-kaynakların, kesicinin hareketi nedeniyle kırılmasıyla oluşur. Takım ve iş parçasının temas bölgelerinde oluşan yüksek sıcaklıklar ve basınçlar nedeni ile metallerin akma sınırına gelir, bunun sonucunda ise mikro kaynaklar oluşur (Su *et al.* 2007). Adhezyon aşınmasına, kesme sırasında oluşan talaşın veya küçük parçacıkların, kesici takımına yapışması da neden olur (Özdemir ve Erten 2003).

- **Abrasyon Aşınma Mekanizması:** Abrasyon ya da abrasiv aşınma mekanizması sürtünme aşınması anlamına gelir. İşleme sırasında oluşan veya iş parçası içerisinde bulunabilen sert parçacıkların takım yüzeyi ve iş parçası arasında sıkışarak kesici takımında hasar oluşturması şeklinde işleyen bir mekanizmadır. Abrasiv aşınma, serbest yüzey aşınmasına, çentik aşınmasına ve burun yarıcağı aşınmasına etkin olan mekanizmadır.
- **Difüzyon Aşınma Mekanizması:** İşleme sırasında, oluşan sıcaklık ve basıncın etkisiyle, takım ve iş parçasının birbirine temas eden yüzeylerinin kimyasal reaksiyonla birbirini aşındırması ile difüzyon aşınma mekanizması meydana gelmektedir (Su *et al.* 2007). Difüzyon aşınma mekanizması, abrasiv aşınma ile birlikte krater aşınmasında etkindir.
- **Oksidasyon Aşınma Mekanizması:** Takım bileşiklerinin atmosferdeki oksijenle reaksiyona girmesi sonucunda takım yüzeyinde bir oksit tabakası oluşur. Hafif düzeyde oluşan bir oksit tabakası takımı ve iş parçası arasında izolasyon oluşturarak difüzyon ve adhezyon aşınma mekanizmalarının etkilerini bir miktar azaltabilir. Fakat yüksek sıcaklıklarda oksit tabakası kopar ve koparken takımdan da malzeme kopartarak takım aşınmasına sebep olur.
- **Yorulma Aşınma Mekanizması:** Yorulma, kesici takımlarda ısının dalgalanması ve kesme kuvvetlerinin sürekli değişimi sonucunda meydana gelir. Yorulma sonucunda takımlar kırılarak hasara uğrar (Ghani *et al.* 2004).



Şekil 2.12 Aşınma mekanizmaları (König 1984).

Farklı kesme koşulları altında, etkili olan aşınma mekanizmaları farklıdır. Belirli bir talaşlı imalat sürecinde etkili olan aşınma mekanizmaları, Şekil 2.12'de gösterildiği gibi kesme sıcaklığına göre değişir. Takım yüzeyindeki sıcaklık dağılımına göre, krater aşınmasında esas olan aşınma mekanizmaları abrazyon, difüzyon ve oksidasyon mekanizmalarıdır. Serbest yüzey aşınmasında ise etkili olan aşınma mekanizması abrazyon mekanizmasıdır (Xie 2004).

2.5 Yüzey Pürüzlülüğü

Talaş kaldırma işlemi sırasında; seçilen yönteme, kesici takımın cinsine ve işleme şartlarında bağlı olarak fiziksel, kimyasal, ısı faktörlerin ve kesici ile iş parçası arasındaki mekanik hareketlerin etkisi ile işlenen yüzeylerde istenmediği halde işleme izleri meydana gelmektedir. Yüzey pürüzlülüğü; nominal yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma denir (Güllü 1995).

İşlenmiş yüzeylerde, kullanılan iş malzemesi ve işleme metodu ne olursa olsun (tornalama, frezeleme, taşlama vb.) yüzey pürüzlülüğünün meydana gelmesi kaçınılmazdır (İşbilir 2006).

Talaş kaldırma işleminde amaç, iş parçasının teknik resminde istenilen tolerans sınırları içerisinde istenilen geometrik ölçü veya yüzey kalitesinde imal edilmesidir. Yani iş parçasının geometrisi, boyutu ve yüzey kalitesi işleme kalitesini oluşturur. Ancak parça yapım resminde gösterilen ideal ölçülere göre üretimi tamamlanan parça üzerinde boyut, yüzey kalitesi ve geometrisi yüzünden yönünden bazı hatalar ortaya çıkabilir. Bu hatalar “tolerans” olarak adlandırılır ve parçanın kullanıldığı yere göre müsaade edilen belli bir değerde tutulduğu takdirde parçanın çalışmasına engel olmaz. Bu toleranslar da parçanın hem boyut hem de yüzey kalitesinin ifade edilmesini sağlarlar. Ancak hatalar (tolerans) ne kadar küçük olursa o kadar iyi yüzey kalitesi elde edilir. İmalat mühendisliği açısından parçaların kullanılacağı yere göre ekonomiklik de dikkate alınarak parçanın uygun yüzey kalitesinde işlenmesi gerekir. Bu işlemlerde gerçekleştirecek üretim metodunun yanında yüzey kalitesi toleransı ve maliyet arasında bir denge sağlanmalıdır (Şahin 2003).

Talaşlı imalat esnasında yüzey pürüzlülüğüne, takım tezgâhının rijitlik durumu, takım tutucunun rijitlik durumu, yataklama sisteminden kaynaklanan hatalar, soğutma sıvısı, takımın aşınması, takım geometrisi, kesme parametreleri ve malzemenin mekanik özellikleri gibi parametreler etki eder (Özsas 2002).

Yüzey pürüzlülüğü, sürtünmeli yataklar, korozyon ortamında çalışan parçalar, yuvarlanmalı yataklar, boyanmış ve kaplanmış yüzeyler, sızdırmazlık yüzeyleri, plastik enjeksiyon kalıp yüzeyleri gibi makine parçalarında büyük bir önem arz eder (Özsas 2002).

Parçaların kullanılacağı yerlerin göz önüne alınarak uygun yüzey kalitesinde işlenmesi gerekir. İşlenmiş parçaların tribolojik özellikleri yüzey dokusunu derinden etkilemektedir. Yüzey pürüzlülüğünde hidrodinamik, ısı iletimini, sızdırmazlık gibi farklı alanlarında dikkate alınması gerekmektedir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü sürtünme, aşınma, yağlama gibi konuları da etkilemektedir. Bu nedenle makine parçalarında yüzey pürüzlülük değerinin tespiti oldukça önemlidir. Yüzey pürüzlülüğü ve hassasiyet ürünün amacını belirlediği çıkış parametrelerinden biri olmaktadır. Yüzey hassasiyeti ise pek çok terimi içine almak ile birlikte kimyasal değişme, yanma, çatlaklardan arınma ve hasar gibi nedenleri kapsamaktadır (Çoğun ve Özsas 2002).

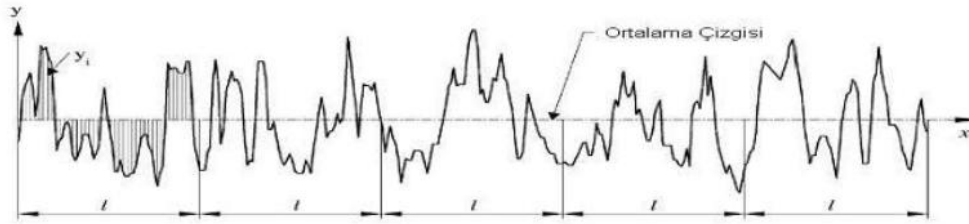
Standartlara göre yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi belirli kriterlere göre yapılır. Bu kriterlere göre yüzey pürüzlülüğü, yüzeye dik olan bir kesitte, belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre belirlenir. Referans profil olarak ise genellikle geometrik profil alınır. Profil ortalama çizgisinin yeri, bu çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olacak şekilde tayin edilir. Yüzey pürüzlülüğü, yüzey pürüzlülüğünün derinliği (R_t), yüzey pürüzlülüğünün düzeltilmiş derinliği (R_p) ve yüzey pürüzlülüğünün aritmetik ortalama değeri (R_a) gibi kriterlere göre değerlendirilir. (R_t), referans profile göre en derin pürüzün değeri; (R_p), referans profil ile profilin ortalama çizgisi arasındaki mesafe; (R_a) ise ortalama çizgiye göre pürüz yüksekliklerinin veya derinliklerinin mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasıdır. Ölçme tekniğinin gelişmesi ile birlikte bahsedilen değerlerin ölçümü yapılabilmesine rağmen, özellikle endüstride uluslararası

bir kriter olarak kabul edilen ve standartlaşmış yüzey pürüzlülüğünün ortalama değeri (Ra) kullanılır. (Ra) değeri ISO standartlarında N ile simgelenerek Çizelge 2.1 oluşturulmuştur (Akkurt 2000).

Çizelge 2.1 (Ra) ile yüzey kalite simgesi arasındaki bağıntı (Akkurt 2000).

Pürüzlülük Derecesi	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
Ra (μm)	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50
CLA (μin)	1	2	4	8	16	32	63	125	250	500	1000	2000
Simge	▽▽▽▽			▽▽▽			▽▽			▽		

Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra), Şekil 2.13’de gösterildiği gibi belirli bir ölçüm uzunluğunda, ortalama çizgisinin altında ve üstünde oluşan mutlak yükseklik değerlerinin aritmetik ortalamasıdır.



Şekil 2.13 Ortalama yüzey pürüzlülüğünün iki boyutlu grafiksel ifadesi.

Bu parametrenin tanımlaması ve ölçmesi kolaydır. Ancak yükseklik dağılımları hakkında genel bir tanımlama getirdiği için dalga boyu ve profildeki hassas değişimler hakkında yeterli bir bilgi vermez. Ra değeri matematiksel olarak aşağıdaki şekilde tanımlanabilir (Gadelmavla and Koura 2002).

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad (2.4)$$

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |yi| \quad (2.5)$$

2.6 Talaş Kaldırma İşleminde Kesme Sıvıları

2.6.1 Kesme Sıvıları

Talaş kaldırma işleminde, talaş kaldırılacak tabakanın şekil değiştirmesi ve ayrılması için gereken enerjiden, takım-talaş ve takım işlenmiş yüzeyi arasındaki sürtünmeden dolayı işleme bölgesinde ısı açığa çıkar ve sıcaklık oluşur (Akkurt 2000). Kesme ya da soğutma sıvısı, metallerde talaş kaldırma işleminde, öncelikle kesici takım ve iş parçasını soğutmak amacıyla kullanılan çeşitli kimyevi maddelerin bir karışımı olarak tanımlanabilir (Demir vd. 2009).

Talaş kaldırma sırasında kullanılan kesme sıvılarının öncelikli amacı, soğutma ve yağlamadır. Soğutma ile kesme esnasında oluşan ısıyı çevreye ileterek ısı miktarını azaltmak; yağlama ile de takım-talaş arasına ve takımla işlenen yüzey arasına nüfuz ederek sürtünmeyi azaltarak takım aşınmasını önlemek amaçlanmaktadır. Bu olaylara bağlı olarak kesme ya da soğutma sıvılarının etkileri şunlardır;

- Takım ömrü uzar,
- Yüzey kalitesi iyileşir,
- Kesme kuvvetleri ve gücü azalır,
- Sıcaklık yüzünden meydana gelen şekil değiştirmeler azalır,
- Talaşın işleme bölgesinden uzaklaştırılması kolaylaşır (Akkurt 2000).

Talaşlı imalatla kullanılan kesme sıvılarından istenen özellikler şöyle sıralanabilir;

- İyi bir soğutma ve yağlama özelliğine sahip olmaları
- Kararlı olmaları ve özelliklerini uzun süre koruyabilmeleri
- Paslanmaya yol açmamaları
- İyi çökeltilme özelliğine sahip olmaları
- İnsan sağlığına zarar vermemeleri
- Ateşleme tehlikesi taşımamaları
- İyi ısı transfer yeteneğine sahip olmaları

- Uçucu olmamaları
- Köpürmemeleri
- Kullanıldıktan sonra kolay tahliye edilmeleri ve arıtılmaları (Kıvak 2012).

Genel olarak kesme akışkanları emülsiyon yağları, kesme yağları, sentetik kesme sıvıları ve gazlar olmak üzere dört grupta incelenebilir:

2.6.1.1 Emülsiyon Kesme Sıvıları

Boryağı da denilen bu kesme sıvıları içinde emülsiyonu kolaylaştıran katkıları bulunan su ve yağ karışımlarıdır. Soğutma özellikleri çok iyi olan bu sıvılara, polar aditifler veya EP aditifleri eklenerek yağlama kabiliyetleri de iyileşir. Görünüşleri süt rengindedir. Çok ağır talaş kaldırma işlemleri dışında, hemen hemen tüm hızlarda ve işlemlerde kullanılabilirler. Bor yağlarının şu özelliklere sahiptir:

- Yüksek soğutma kabiliyeti,
- Temiz çalışma ortamı,
- Uygun maliyet,
- Ateşlenme tehlikesinin olmaması,
- İnsan sağlığına zararlı olmaması (Akkurt 2000).

2.6.1.2 Kesme Yağları

Genellikle mineral yağlar ve bunlara katılan domuz, kunduz yağları gibi polar aditifli veya kükürt gibi kimyasal aditifli yağlardır. Ancak bu yağların fiyatları yüksek, ateşlenme tehlikesi olması ve insan sağlığına zararlı olduğu için kullanım alanları sınırlıdır (Akkurt 2000).

2.6.1.3 Sentetik Kesme Sıvıları

Suya bazı kimyasal maddelerin katılması ile sentetik kesme sıvıları elde edilirler. Görünüşleri emülsiyon kesme sıvılarına göre berraktır. Katılan maddelere göre aditifli

ve aditifsiz olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Aditifli sentetik kesme sıvıları, çok iyi soğutma özelliği, yağlayıcılık özelliği ve antikorozyon özellikleri vardır. Aditifsiz sentetik kesme sıvılarının ise çok iyi soğutma özelliği ve antikorozyon olmasına karşın yağlama özellikleri yoktur (Akkurt 2000).

2.6.1.4 Gazlar

Havanın iyi bir soğutma ve az da olma yağlama özelliği vardır. Bu nedenle kuru talaş kaldırmada dahi ortamda bulunan hava bir kesme akışkanı görevi yapar. Bunun yanında işlem bölgesine kompresör yardımıyla basınçlı hava verilmesi soğutma görevi yapar. Havanın yanı sıra nitrojen, argon, helyum ve karbondioksit gibi gazlarda soğutma akışkanı olarak kullanılmaktadır (Akkurt 2000).

2.6.2 Kriyojenik İşlem

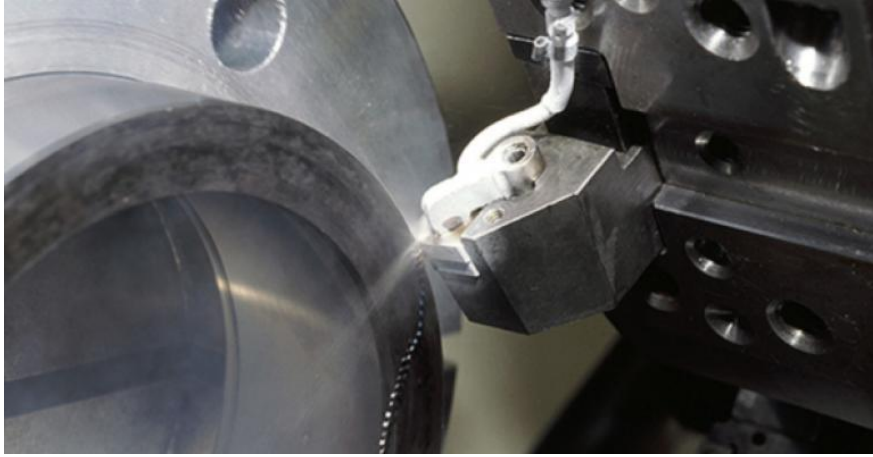
Kriyojenik işlemin; talaşlı imalat, döküm, enjeksiyon kalıplama, kaynak, otomotiv, uzay, elektronik, çelik, kereste, madencilik, tarım ve hayvancılık gibi birçok alanda uygulamasını bulmak mümkündür (Alava 2008).

Talaş kaldırma işleminde, talaş kaldırılacak tabakanın şekil değiştirmesi ve ayrılması için gereken enerjiden, takım-talaş ve takım işlenmiş yüzeyi arasındaki sürtünmeden dolayı işleme bölgesinde ısı açığa çıkar ve sıcaklık oluşur (Akkurt 2000).

Son yıllarda, sürdürülebilir imalat prensiplerine uygun süreçler kullanılması, yeni ürün geliştirme ve imalat süreçleri açısından önem kazanmıştır ve birçok araştırmaya konu olmuştur. İmalat süreçlerinde sürdürülebilirliği artırıcı yöntemlerden biri de kriyojenlerin (azot, oksijen, helyum, hidrojen, vb.) farklı uygulama yöntemleri ile kullanılmasıdır. Çoğunlukla -150°C 'nin altındaki çok düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen bu uygulamalar, kriyojenik işlem ve kriyojenik soğutma/işleme olarak iki farklı şekilde kullanılmaktadır (Shokrani *et al.* 2013).

Kriyojenik işlem, çeşitli mühendislik malzemelerinin mekanik ve fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi amacı ile uygulanmaktadır. Malzemelerin kriyojenik sıcaklıklara kademeli olarak soğutulması, bu sıcaklıklarda 24 saat gibi uzun bekletme sürelerinde bekletilmesi ve sıcaklığın tekrar oda sıcaklığına kademeli olarak getirilmesi ile gerçekleştirilen bir ısı işlem türüdür. Kriyojenik soğutma/işleme ise süper alaşımlar, titanyum alaşımları, paslanmaz çelikler ve sertleştirilmiş çelikler gibi işlenmeleri sırasında yüksek sıcaklıklar ortaya çıkan malzemelerin talaşlı imalatında kullanılmaktadır. Kriyojenlerin etkili soğutma özelliği sayesinde kesme ve talaş kaldırma hızlarını arttırabilmek, daha uzun takım ömrü ve daha iyi yüzey kalitesi elde edebilmek ve böylece verimliliği arttırarak işleme maliyetlerini düşürebilmeyi başarmak amaçlanmaktadır. İşleme performansını artırıcı ve çevre dostu bir yöntem olarak tercih edilen kriyojenik soğutma yöntemi, çeşitli mühendislik malzemelerinin tornalama, frezeleme, delme, gibi temel talaş kaldırma işlemlerinin yanı sıra, raybalama, taşlama, parlatma, elektro erozyon gibi hassas talaşlı imalat süreçlerinde de geleneksel soğutma/yağlama sistemlerinin yerine uygulanmaktadır (Uçak ve Çiçek 2017).

Bu yöntemde kriyojenik akışkan, farklı uygulama yöntemleri ile doğrudan veya dolaylı olarak iş parçasına, kesme bölgesine, kesici takıma veya bunların hepsine farklı kombinasyonlar şeklinde uygulanmaktadır (Resim 2.9).



Resim 2.9 Kriyojenik tornalama işlemi (İnt.Kyn.6).

Kriyojenik soğutma uygulamalarında en çok kullanılan kriyojen, sıvı azot (LN_2) dir. Kaynama noktası $-195.80^{\circ}C$ olan azot (N_2), atmosferde en çok bulunan (%78.03)

gazdır. Havadan daha hafif olduğu için kriyojenik soğutma uygulamalarında buharlaşma ve dağılma eğilimi göstermektedir. Kriyojenik soğutma uygulamalarının avantajları şu şekilde özetlenebilir;

- Çevre dostu olması,
- İnsan sağlığı açısından bir tehlike oluşturmaması,
- İmalatta sürdürülebilirliği,
- Kesici takım ömrünü artırması,
- Daha iyi yüzey kalitesi sağlaması,
- İmalat sonrası işlenmiş yüzeyin altında meydana gelen mikro yapıdaki deformasyonu ve beyaz katman oluşumunu azaltması,
- Bazı çalışmalarda kesme kuvvetlerini düşürmesi (Uçak ve Çiçek 2017).

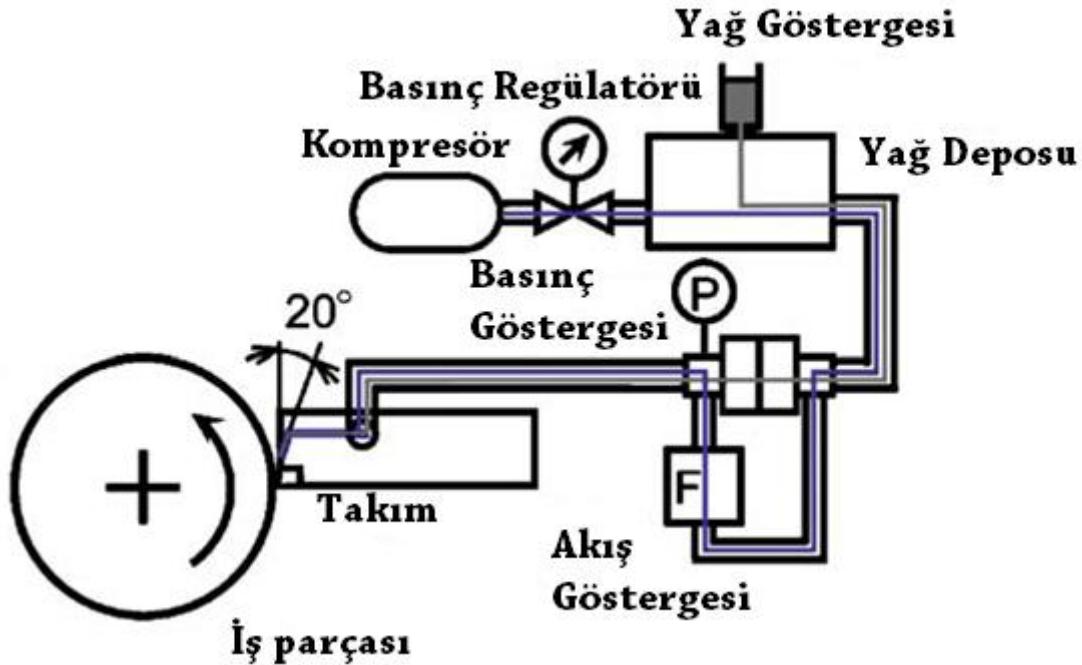
2.6.3 Minimum Miktarda Yağlama(MQL) Sistemleri

Minimum Miktarda Yağlama (MQL) çok küçük yağ parçacıklarının hava ile birlikte, kesici takım ile iş parçası arasındaki kesme bölgesine basınçlı bir şekilde püskürtülmesi işlemidir. Burada yağ parçacıkları ile yağlama ve hava ile soğutma aynı anda yapılmaktadır. Şekil 2.14'te MQL sistemi akış şeması görülmektedir.

MQL sisteminden en iyi sonuç elde edilebilecek talaşlı imalat yöntemleri; kesme, tornalama, frezeleme ve delik delme işlemleridir. Taşlama, honlama ve lebleme gibi aşındırıcı tanecik yardımıyla yapılan imalat yöntemlerinde yağın, toz şeklinde oluşan talaşa yapışarak iş parçasından uzaklaştırması mümkün olmadığından bu işlemlerde MQL kullanılamaz (Walker 2013).

MQL sistemi dahili sistem ve harici sistem olarak iki farklı şekilde uygulanabilir. Bunlardan birincisi dahili sistem kullanılabilmesi için, MQL sisteminin tezgaha entegre edilebilmesi için tezgahın elverişli olması buna göre üretilmiş olması gerekir. Dahili sistem, MQL ekipmanı direkt olarak iş milinin içinden geçirilerek hava yağ karışımının taret denilen kesici takımların bulunduğu başlığa uygulanması ile gerçekleştirilir. Harici

MLQ sistemi ise hava-yağ karışımının pnömatik bir sistemle dışarıdan kesici takım ve iş parçası ara yüzeyine uygulanması işlemidir.



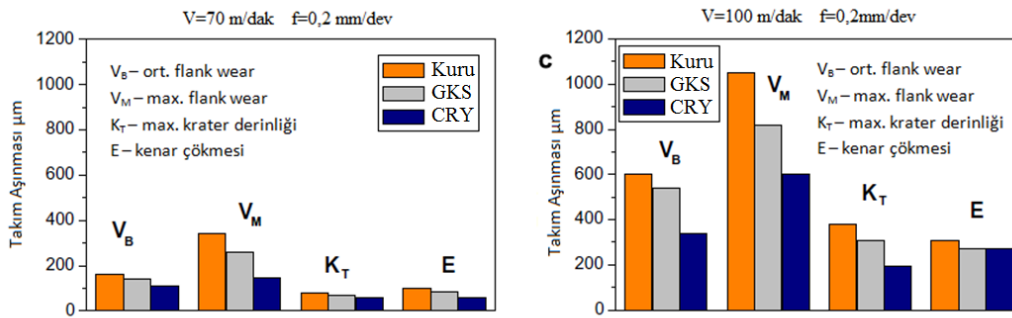
Şekil 2.14 MQL sisteminin pnömatik akış şeması (Obikawa *et al.* 2006).

2.7 Ti-6Al-4V Alaşımının İşlenebilirliği İle İlgili Çalışmalar

Hong ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada kriyojenik işlemede, sıvı nitrojenin (LN₂), düşük sıcaklıklarından dolayı etkin bir soğutucu olduğu bilinmekle, ancak yağlayıcı özelliği bilinmemektedir. Bu çalışmada Ti-6Al-4V'nin işlenmesinde takım ile talaş arasındaki sürtünmenin olduğu kesme noktasına LN₂ püskürtüldüğünde nasıl etkilendiğini araştırmışlardır. Kesme kuvveti ölçüm sonuçları, titanyum malzemesinin işlenmesinde kriyojenik soğutmanın kesme kuvvetini artırdığını fakat düşük sürtünmeden dolayı ilerleme kuvvetini azalttığını gözlemlemişlerdir. Eğik kesmede ölçülen 3 boyutlu kuvvetleri, takım talaş yüzeyi üzerindeki normal ve sürtünme kuvveti elemanlarına dönüştürmek ve daha sonra etkin bir sürtünme katsayısı elde etmek için bir matematiksel model geliştirilmişlerdir. Takım-talaş ara yüzündeki sürtünme katsayısının kriyojenik işlemede oldukça küçüldüğü görülmüştür. Talaş mikro yapı çalışmasından elde edilen bulgular ışığında, ikinci deformasyon bölgesinin artan kayma

açısı ve azalan kalınlığı, sürtünmenin azaldığına dair iyi bir kanıt olmuştur (Hong *et al.* 2001).

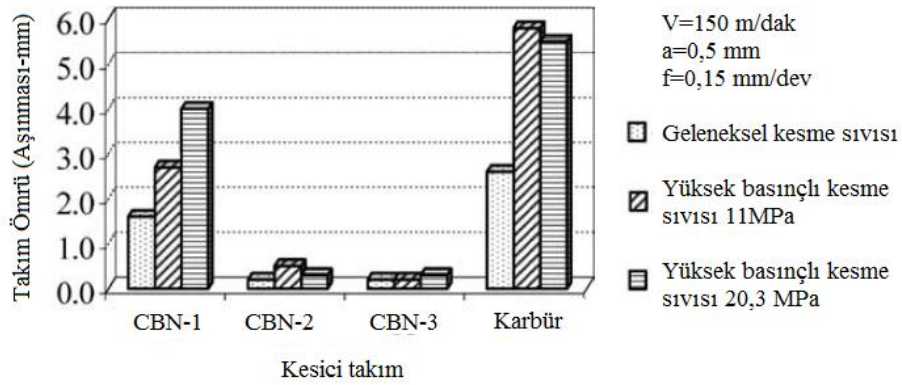
Venugopal ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, titanyum alaşımlarının işlenmesinde karşılaşılan takım aşınmasının kriyojenik işlem ile üstesinden gelinebileceğini belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, kuru, ıslak ve kriyojenik kesme şartları altında kaplamasız karbür uçlarla 70 ve 100 m/dak kesme hızı aralığında, Ti-6Al-4V silindirik malzemeler tornalanırken, kriyojenik soğutmanın takım aşınma üzerine etkileri araştırmışlardır. Kesme bölgesinde, sıvı nitrojen enjektörleri ile kriyojenik soğutma sayesinde, istenilen sıcaklığın elde edilmesi ve neticesinde adhezyon-bozunma-difüzyon takım aşınmalarında azalma olmuş ve takım ömründe önemli iyileşmeler olduğu saptanmıştır. Ti-6Al-4V alaşımının tornalanmasında kriyojenik soğutma ile hem krater hem de yanak aşınmasında önemli derecede iyileşmelerin olduğu tespit edilmiştir (Venugopal *et al.* 2007). Şekil 2.15'te Venugopal ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmalar sonucunda elde ettikleri 70 ve 100 m/dak kesme hızlarına ait takım aşınma grafikleri verilmiştir.



Şekil 2.15 5 dakika işleme sonunda takımlarda oluşan aşınmalar (Venugopal *et al.* 2007).

Ezugwu ve arkadaşları, yapmış oldukları çalışmada, Kübik bor nitrür (CBN) takımlarla Ti6-Al-4V alaşımlarını tornalamışlardır. CBN takımlar genellikle titanyum, nikel alaşımları ve sertleştirilmiş yüksek kromlu çelikler gibi sert alaşımların işlenmesinde kullanılırlar. Bu takımların, sahip oldukları yüksek erime noktası ve sertliklerinden dolayı yüksek hızda işlemeyle ortaya çıkan ısı ve basınca dayanmaları beklenir. Bu çalışmada farklı kalitelere sahip CBN takımlarla, çeşitli soğutma uygulamaları altında Ti6-

Al-4V alaşımasının 150, 200 ve 250 m/dak kesme hızlarında tornalanmasındaki performanslarını araştırmışlardır. Kesici takımların performansını belirlemek için takım aşınması, takım ömrü, kesme ve ilerleme kuvveti ile yüzey pürüzlülüğü dikkate alınmıştır. Ayrıca, 150 m/dak kesme hızında CBN takımlar ile kaplamasız sementit karbür takımlar karşılaştırılmıştır ve takım ömrü açısından, aynı kesme şartlarında kaplamasız sementit karbür takımlar, CBN takımlara göre daha iyi performans sergilemiştir. Difüzyon aşınma mekanizmasıyla ilişkili olarak kesici kenarlarda aşırı dökülmeler ve çentiklenmeler olduğu görülmüştür (Ezugwu 2005). Şekil 2.16'da Ezugwu'nun yaptığı çalışmalar sonucunda, 150 m/dak kesme hızında geleneksel kesme sıvısı ve yüksek basınçlı kesme sıvıları ile kesme koşullarında CBN ve karbür takımlarda aşınma miktarlarını gösteren grafik verilmiştir.

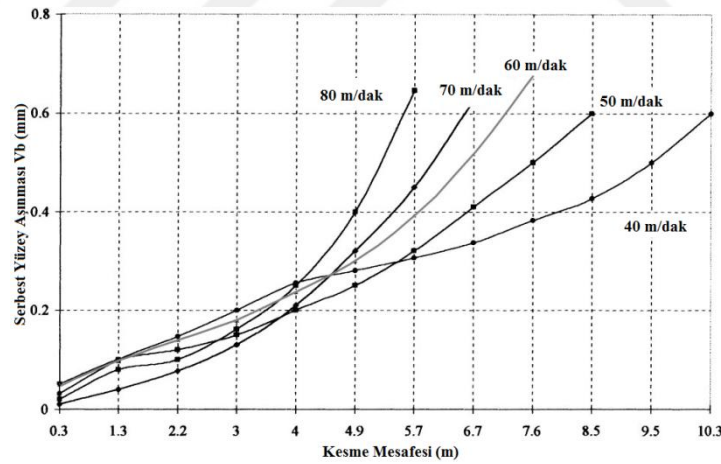


Şekil 2.16 Ti-6Al-4V alaşımasının işlenmesinde farklı soğutma yöntemleri altında CBN ve karbür takımlarda elde edilen takım ömürleri (Ezugwu 2005).

Ensaroğlu ve Çakır, titanyumun işlenebilirliği üzerine yapılan çalışmalardan yola çıkarak, kesici takım, kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği ve soğutucu/yağlayıcıların bu alaşımların işlenebilirliği üzerine etkilerini araştırmışlardır. Ayrıca talaş oluşumu, aşınma mekanizmaları, yüzey pürüzlülüğü gibi konulara da çalışmaları içerisinde değinmişlerdir. Titanyumun işlenebilirliği üzerine yapılan bazı deneylerden ve sonuçlarından kısaca bahsetmişlerdir. Yapılan çalışmaların sonunda, verimliliği ve yüzey kalitesini arttırsa da kesme hızının takım ömrünü en çok etkileyen kesme parametresi olduğu belirlenmiştir. İlerlemenin titanyumun işlenmesinde takım ömrünü diğer malzemelerde olduğundan daha fazla etkilese ve yüzey pürüzlülüğünü

arttırsa da verimliliğin artırılmasında kesme hızına tercih edilmesinin gerekliliğine dikkat çekmişlerdir (Ensaroğlu ve Çakır 2005).

Lacalle ve arkadaşları, uzay endüstrisinde sıkça kullanılan iki alaşım olan nikel esaslı alaşım Inconel 718 ve Ti-6Al-4V'in frezelenmesinde işleme verimliliğini arttırmaya yönelik bir çalışma yapmışlardır. Her iki alaşımında, sahip oldukları yüksek sıcaklık direnci ve mükemmel mekanik özelliklerinden dolayı çeşitli turbo-motor parçalarının imalatında yaygın bir şekilde kullanıldığını belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada ise bu alaşımların frezelenmesinin zor olmasına etki eden faktörler analiz edilmiştir. Frezeleme işleminin verimliliğini arttırmak için takım geometrisi ve kaplama malzemesi ile işleme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme hızı ve radyal kesme derinliği) etkileri değerlendirilmiştir. Araştırma sonucunda frezeleme işleminin verimliliğini arttırmaya yönelik başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Lacalle *et al.* 2000). Şekil 2.17'de Lacalle ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmalar sonucunda; Ti-6Al-4V alaşımının işlenmesinde farklı kesme hızlarında, kesme mesafesine göre serbest yüzey aşınmasının değişimi grafiği verilmiştir.



Şekil 2.17 Kesme mesafesine ve kesme hızına bağlı olarak serbest yüzey aşınmasının değişimi Ti-6Al-4V – K10 – f:0,15mm (Lacalle *et al.* 2000).

Arrazola ve arkadaşları, havacılıkta yaygın olarak kullanılan Ti-6Al-4V alaşımının yerine Ti555.3 gibi Beta titanyum alaşımlarının kullanımının giderek arttığını söylemişlerdir. Düşük işlenebilirliğe sahip bu Beta titanyum alaşımlarının işlenebilirlik verimliliğinin en azından Ti-6Al-4V alaşımını işlenebilirlik seviyesine getirilmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Bu amaçla çalışmalarında, takım aşınma mekanizmaları

açısından Ti555.3 alaşımı ile yaygın olarak kullanılan Ti-6Al-4V alaşımının işlenebilirliğini karşılaştırmışlardır. Kesme kuvvetleri, talaş geometrisi ve takım aşınması gibi değişkenler incelendiğinde: Ti555.3 alaşımının 90 m/dak'dan daha yüksek kesme hızlarında işlenebilirliği Ti-6Al-4V alaşımına göre daha zor olduğu görülmüştür. İş parçası malzemesinin mekanik özellikleri ile takım aşınması ve kesme kuvvetlerinin bileşeni arasında bir bağlantı olduğu, her iki titanyum alaşımı için de takım ucu üzerine TiC ve Ti'den oluşan bir malzeme tabakasının yapışmasına neden olan difüzyon mekanizması olduğu görülmüştür (Arrazola *et al.* 2009).

Jawaid ve arkadaşlarının gerçekleştirmiş olduğu çalışmada, Ti-6Al-4V titanyum alaşımı üzerindeki yüzey frezeleme işleminde kullanılan kaplamalı karbür takımların performansları ve aşınma mekanizmaları incelenmiştir. Deneylerde PVD-TiN ve CVD TiCN + Al₂O₃ kaplı iki takım kullanılmıştır. Değişik kesme şartları için takım ömrü, takım bozukluk durumu ve aşınma mekanizmaları incelenmiştir. Her iki takımında da en uzun takım ömrü, 55 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dis ilerleme hızında elde edilmiştir. Kaldırılan malzeme hacmi ve takım ömrü dikkate alındığında CVD kaplı takımlar PVD kaplı takımlara göre daha iyi performans sergilemiştir. Birçok kesme şartlarında, kesme kenarındaki aşırı dökülmeler ve talaş yüzeyindeki ufalanmalar ve/veya dökülmelerin kesici takımların bozulmasında etkili olduğu görülmüştür. SEM analizleri sonucunda kaplamalı kesici takımlar üzerinde yapışma, aşınma, difüzyon, plastik deformasyon ve termal çatlakların olduğu, kaplama tabakasının kalktığı tespit edilmiştir (Jawaid *et al.* 2000).

Sun ve Guo, Ti-6Al-4V alaşımı üzerinde frezeleme işleminin uzay, biyomedikal ve kimya endüstrisinde yaygın olarak uygulandığını ancak yapılan çalışmalarda, frezeleme işlemindeki yüzey tamlığının çok fazla dikkate alınmadığını tespit etmişlerdir. Bu amaçla farklı frezeleme şartlarında ki yüzey tamlığını karşılaştırmak için bir dizi frezeleme deneyleri yapmışlardır. Deney sonuçlarında, frezelenmiş yüzeylerdeki yüzey pürüzlülük değerlerinin 0,6-1,0 µm arasında olduğu görülmüştür. Yüzey pürüzlülük değerleri ilerleme ve radyal kesme derinliği ile artmış ancak kesme hızı ile çok fazla değişim göstermemiştir. Kesme hızı ve ilerleme artık gerilmeler üzerinde oldukça fazla etkiye sahip olurken, kesme ve ilerleme yönlerinin her ikisinde de sıkıştırılmış artık

gerilmeler oluşmuştur. Mikro yapı analizlerinde ise yüzeye yakın bölgelerde çok küçük ve ciddi şekilde deforme olmuş β fazının olduğu ancak faz dönüşümünün gerçekleşmediği görülmüştür. Frezelenmiş yüzeylerdeki mikro sertliklerin alt yüzeydeki mikro sertliklerden yaklaşık %70-90 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Sun and Guo 2009).

Akyol, titanyum alaşımları arasında en geniş kullanım alanına sahip Ti-6Al-4V alaşımının işlenebilirliğinin, değişik ısı işlemler kullanılarak artırılmasını hedeflemiştir. Bu alaşıma ait 16 mm çapındaki çubuk şeklindeki malzemeler tavlama, su verme ve yaşlandırma olmak üzere üç değişik ısı işleminden geçirilmiş ve üç farklı mikro yapı elde edilmiştir. Bu üç farklı mikro yapının her biri tornalama yöntemi ile aynı kesme parametreleri kullanılarak kuru kesme şartlarında işlenmiş. Elde edilen sonuçlarda işlenebilirliğin belirleyicisi olan kesme kuvvetleri, talaş formu, takım ömrü ve yüzey kalitesi parametreleri ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler literatürle karşılaştırılmış ve sonuç olarak tavllanmış numuneye ait işlenebilirlik kriterleri ile yaşlandırılmış numuneye ait işlenebilirlik kriterlerinin, içyapılarının tamamen farklı olmasına rağmen, birbirine oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir (Akyol 2007).

Ünal ve Karaca yapmış oldukları çalışmada, Ti-6Al-4V alaşımını, dik işlem merkezli bir CNC tezgâhında farklı kesme parametreleri kullanarak işlemişlerdir. Deneylerde, farklı kesme hızları, ilerleme miktarları ve talaş derinlikleri gibi parametreler kullanarak; kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, talaş tipi ve yüzey mikro sertliğine olan etkilerini incelenmişlerdir. Yapmış oldukları deneylerin sonucunda, kesme hızı ve ilerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün de arttığı tespit edilmişlerdir. İşlem neticesinde, yüzey sertliğinin esas malzemeden daha yüksek, yüzey altı bazı bölgelerde ise aşırı yaşlanma nedeniyle daha yumuşak bölgelerin varlığı gözlemlenmiştir. Genel olarak sürekli sıvanmalı ve testere diş kesitli talaşların olduğu belirlenmiştir (Ünal ve Karaca 2007).

Nady ve arkadaşları tarafından mühendislik ve biyo-medikal uygulamalarda titanyum alaşımlarının kullanımının giderek yaygınlaştığını ancak bu malzemelerin işlenebilirliğinin her zaman çözülmesi gereken bir problem olduğu belirtilmiştir. Ti-

6Al-4V alaşımını işlemede yüksek verimlik elde etmek için, sahip olduğu özelliklerin ortaya çıkardığı hızlı takım aşınmasının önüne geçilmesinin gerektiği belirtilmiştir. Geleneksel ya da düşük basıncılı soğutma yöntemlerinin kesme bölgesinde oluşan ısıyı yeterli bir şekilde uzaklaştırmada yetersiz olduğu bunun da takım ömrünün kısalmasına neden olduğu ifade edilmiştir. Bu amaçla çalışmalarında, Ti-6Al-4V alaşımının tornalanmasında saf ve suda çözülebilen yağ kullanarak yüksek basıncılı soğutmanın, talaş formu, talaş kırılabilirliği, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü gibi işlenebilirlik parametreleri üzerindeki etkilerini, geleneksel soğutma yöntemi ile karşılaştırarak incelemişlerdir. Çalışma sonunda, yeterli oranda soğutucu basıncı kullanıldığında takım ömrü ve diğer parametrelerde önemli iyileşmeler sağlandığını tespit etmişlerdir (Nady *et al.* 2009).

Wang ve arkadaşları, titanyum alaşımlarının islenmesi zor malzemeler olduğu ve bu malzemelerin işlenmesinde kullanılan geleneksel takımların performanslarının düşük olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle çalışmalarında Ti-6Al-4V alaşımının yeni takım malzemesi olan BCBN (Binderless Cubic Boron Nitride) takımlarla, yüksek hızda frezelenmesinde kesici takım üzerinde meydana gelen aşınma özelliklerini araştırmışlardır. Takım performansı ve aşınma mekanizmalarını belirlemek için Ti-6Al-4V alaşımı üzerinde kanal frezeleme işlemi yapmışlardır. Bu tip takımların, yüksek kesme hızlarında uzun takım ömrü sergilediği ifade edilmiştir. SEM ve EDX'e dayanarak yapılan analizlerde, Ti-6Al-4V alaşımının yüksek hızda frezelenmesinde kullanılan BCBN takım üzerinde baskın aşınma mekanizmasının difüzyon ve adhezyon olduğu tespit edilmiştir (Wang *et al.* 2005).

Zeilmann ve Weingaertner Ti-6Al-4V titanyum alaşımının, TiAlN, CrCN veya TiCN sert kaplamalarla kaplanmış ve kaplanmamış K10 kalitesinde karbür matkaplarla delinmesi sırasında oluşan sıcaklıkları analiz etmişlerdir. Çalışmanın temel amacı, minimum yağlayıcı kullanmak suretiyle farklı kaplamalarla kaplanmış ve kaplanmamış takımlardaki sıcaklığın değerlendirilmesi olmuştur. Delme esnasında harici bir nozulla ve matkap içerisinden uygulanan minimum yağlama miktarının etkileri incelenmiştir. Takım içerisinden uygulanan minimum yağlayıcı ile yapılan delme işlemindeki sıcaklık ölçümlerinin, harici bir nozuldan uygulanan minimum yağlayıcı ile yapılan delme

işlemindeki sıcaklık ölçümlerinden %50 daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Zeilmann and Weingaertner 2007).

Su ve arkadaşları, titanyum alaşımlarının yüksek hızda işlenmesi esnasında, kesme bölgesinde oluşan yüksek kesme sıcaklıklarının takım ömrünü hızla azalttığını ifade ederek takım ömrünün arttırılmasın da en büyük etkenin, kesme bölgesine uygulanan soğutma ve yağlama sıvılarının etkinliğine bağlamışlardır. Bu amaçla çalışmalarında kaplamalı sementit karbür takımlarla Ti-6Al-4V alaşımının, yüksek hızda frezelenmesi esnasında uygulanan farklı soğutma ve yağlama şartlarının takım ömrü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada takım ömrünü arttırmak için optimum soğutma-yaglama şartlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla deneyler kuru, normal soğutma, nitrojen-yag buharı, 0-(-10) °C’de basınçlı soğuk nitrojen gazı gibi soğutma-yaglama koşullarında gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçları, basınçlı soğuk nitrojen gazı-yag buharının en iyi takım ömrünü sağlayan kesme koşulu olduğunu göstermiştir. Aşınma mekanizmaları ve takım ömrünü belirlemek için aşınmış takımların SEM’de analizi yapılmıştır. Bütün kesme koşulları altında serbest yüzey aşınmasının, baskın aşınma tipi olduğu gözlemlenmiştir. Kaplamalı takımlar üzerinde difüzyon ve termal yorulma mekanizmalarının baskın aşınma mekanizmaları olduğu tespit edilmiştir (Su *et al.* 2006).

Palanisamy ve arkadaşları, Ti-6Al-4V alaşımının tornalanmasında kullanılan yüksek basınçlı soğutucunun talaş tipi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. İşleme sırasında uygulanan yüksek basınçlı soğutucu ile takım ömründe ciddi iyileşmeler gözlenirken, yüzey pürüzlülüğünde de daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca basınçlı bir şekilde uygulanan soğutucunun talaş morfolojisi üzerindeki etkisi incelenerek farklı basınçlarda uygulanan soğutucunun işleme sırasında oluşan talaşın şeklini, kalınlığını ve mikro yapısını önemli bir şekilde değiştirdiği belirlenmiştir (Palanisamy *et al.* 2009).

Cantero ve arkadaşları, kuru kesme şartlarında Ti-6Al-4V’nin delinmesinde takım aşınması, delik kalitesi ve yüzey pürüzlülüğü üzerine bir çalışma yapmışlardır. Takım aşınması optik mikroskop ve SEM-EDS teknikleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Deliklerin kalitesi geometrik doğruluk ve çapak oluşumu bakımından

değerlendirilmiştir. Ölçümler, yüzey pürüzlülüğü ve çapak yüksekliği bakımından değerlendirildiğinde, sonuna yakın bir ana kadar yüksek delik kalitesi gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, iş parçasının mikro sertlik ölçümleri ve SEM-EDS analizleri sonucunda, mekanik özelliklerin kaybolması ile ilgili önemli mikro yapı değişimleri tespit edilmiştir (Cantero *et al.* 2005).

Mavi, yapmış olduğu çalışmasında Ti-6Al-4V titanyum alaşımının işlenmesinde kesme parametreleri ve kesici takıma uygulanan kriyojenik işlemin; kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerine etkileri araştırılmıştır. Deneylerde kaplamasız ve dört farklı tipte TiAlN/TiN, TiAlN, Al₂O₃ ve Ti(C,N)/Al₂O₃/ TiN kaplamalı karbür takımlar kullanılmıştır. Kesici takımların bir kısmına -145 °C’de 24 saat kriyojenik işlem uygulanmış bir kısmına ise kriyojenik işlemden sonra 200 °C’de 2 saat bekletmek suretiyle temperleme yapılmıştır. Bu sayede bu kesicilerin kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve aşınma davranışlarına etkileri incelenmiştir. İşlenebilirlik deneyleri, kuru ve ıslak kesme şartlarında dört farklı kesme hızında (30, 45, 60, 75 m/dak), üç farklı ilerleme hızında (0,20 0,25 ve 0,30 mm/dev) ve 1 mm kesme derinliğinde gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri ise dört farklı kesme hızında (30, 45, 60, 75 m/min), 0,25 m/rev., ilerleme hızında ve 1 mm kesme derinliğinde kuru kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada; kriyojenik işlemin tungsten karbür takımların karbür boyutlarını küçülterek daha homojen bir dağılım sağladığı tespit edilmiştir. Deneyler sonucunda takım aşınması yönünden en iyi sonucu kriyojenik işlem uygulanmış çok katlı olarak Ti(C,N)/Al₂O₃/ TiN kaplanmış kesici takımı, en kötü sonucu da işlem uygulanmamış kaplamasız kesici takımı göstermiştir. Bu sonuç takım aşınması üzerine kesici takım kaplaması ve kriyojenik işlemin olumlu yönde bir etkisi olduğunu göstermiştir. Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi sonucu çok katlı olarak kaplanmış ve kriyojenik işlem sonrası temperleme işlemi uygulanmış Ti(C,N)/Al₂O₃/ TiN kaplamalı kesici takımla elde edilmiştir. Kesici takımlara kriyojenik işlem ve kriyojenik işlem sonrası temperleme işleminin uygulanması kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından olumlu sonuçlar gösterdiği tespit edilmiştir (Mavi 2013).

Kıvak, çalışmasında Ti-6Al-4V titanyum alaşımının delinmesinde kesme parametreleri, kesme şartları ve kesici takımlara uygulanan işlemlerin; kesme kuvvetleri, moment, yüzey pürüzlülüğü, delik çapı, dairesellik ve silindiriklikten sapma ile takım aşınması ve takım ömrü üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Kesici takım olarak kaplamasız ve TiAlN/TiN kaplı M42 HSS ile tungsten karbür matkaplar kullanılmıştır. Her iki kesici takım malzemesinde de kaplamasız takımların bir kısmına -145 °C’de 24 saat bekletmek suretiyle kriyojenik işlem diğer bir kısmına ise kriyojenik işlemin ardına 200 °C’de iki saat bekletmek suretiyle temperleme işlemi uygulanmıştır. Delme deneylerinde kesme parametreleri olarak HSS ve tungsten karbür takımlar için ayrı ayrı belirlenen dört farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme hızı kullanılmıştır. Delme deneyleri sonucunda, soğutma sıvısı kullanılmasının kesme kuvvetleri ve moment dışındaki tüm deney sonuçlarına olumlu etki ettiği tespit edilmiştir. Özellikle her iki kesici takım malzemesinde de takım ömründe önemli artışlar sağlamıştır. Hem HSS hem de tungsten karbür takımlar için delik kalitesi ve takım ömrü açısından en iyi sonuçlar TiAlN/TiN kaplı takımlardan alınmıştır. Kriyojenik işlem ve kriyojenik işlem ardına yapılan temperleme işleminin HSS ve tungsten karbür takımların işleme performansını arttırdığı görülmüştür. Islak kesme şartlarında kriyojenik işlem ve temperleme uygulanmış HSS ve tungsten karbür takımlar işlemsiz takımlara göre takım ömründe sırasıyla %87 ve %83 daha uzun ömürlü olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen verilere göre kriyojenik işlemin HSS takımlar üzerindeki etkisinin karbür takımlara göre daha fazla olduğu görülmüştür (Kıvak 2012).

3. MATERYAL ve METOT

3.1 İş Parçası, Kesici Takım ve Kesme Parametreleri

Bu çalışmada, Ti-6Al-4V alaşımı olan silindirik iş parçası, deney numunesi olarak kullanılmıştır. Deneylerde farklı kesme hızları ve farklı soğutma/yağlama sistemleri uygulanmıştır. Bu parametreler göz önüne alınarak yapılan tornalama işlemlerinde iş parçasında yüzey pürüzlülüğü, kesici takımda ise meydana gelen aşınma tipleri, aşınma miktarı ve ömür tespiti yapılmıştır.

Ti-6Al-4V alaşımının kimyasal bileşimi Çizelge 3.1’de, fiziksel özellikleri Çizelge 3.2’de, mekanik özellikleri ise Çizelge 3.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Ti-6Al-4V alaşımının kimyasal bileşimi (Kütlece %).

Ti	Al	V	Fe	O	C	N	H
89,858	5,9	4,0	0,08	0,14	0,01	0,01	0,002

Çizelge 3.2 Ti-6Al-4V alaşımının bazı fiziksel özellikleri (İnt. Kyn.7).

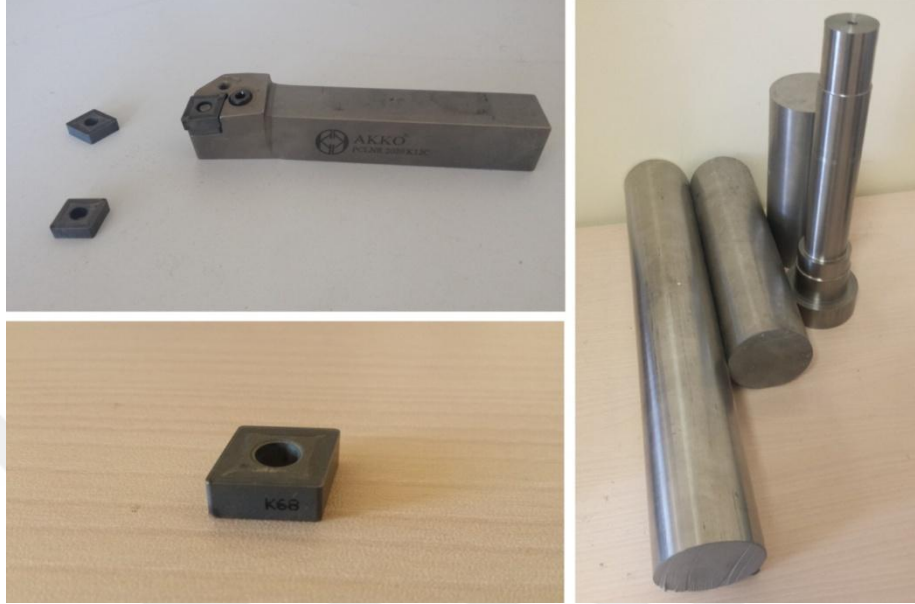
Özellik	Kristal Yapı	Yoğunluk g/cm ³	Ergime Derecesi(°C)	Young Modülü GPa	Elektrik Direnci (μΩ- cm,20°C)	Elektrik İletkenliği	Isıl İletkenlik (W/m°C)	Özgül Isı (J/kg-K)
	SDH<990° C<HMK	4,42	1540-1650	113	171	1,1	7,5	520

Çizelge 3.3 Ti-6Al-4V alaşımının bazı mekanik özellikleri (Akyol 2007).

Çekme Dayanımı	Akma Dayanımı	Uzama	Kesit Daralması	Charpy Kırma Enerjisi	Sertlik
895 MPa	825 MPa	% 10	% 20	27 J	36 HRC

Deney numunesi iş parçalarının işlenmesinde kaplamasız Tungsten Karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Kullanılan kesici takım Resim 3.1’de gösterilen CNMG 432

(120408) K68 serisi takım seçilmiştir. Takım tutucu ise PCLNR2020K12 ISO TOOLHOLDER, “P” CLAMPİNG AKKO marka ve modeli takım tutucu seçilmiştir.



Resim 3.1 Deneylerde kullanılan takım, takım tutucu ve iş parçaları.

Ti-6Al-4V alaşımı zor işlenen bir malzeme olması nedeniyle kesme hızları yüksek seçilmez. Literatürde genellikle en yüksek kullanılan kesme hızı 150-170 m/dak arasındadır. Bu çalışmada kesme hızı çok yüksek seçilmek suretiyle kullanılan kesme koşullarının etkisi daha net ortaya konulmak istenmiştir. Bu nedenle, literatürde orta kesme hızı olarak kabul edilen 100-125 m/dak aralığı bu çalışmada minimum kesme hızı olarak alınmıştır. Maksimum kesme hızı da 350 m/dak olarak seçilmiştir. Çizelge 3.3'te kullanılan kesme parametreleri verilmektedir. Çalışmada ilerleme değeri ve talaş derinliği sabit alınmıştır. Dört farklı kesme koşulu dikkate alınmıştır.

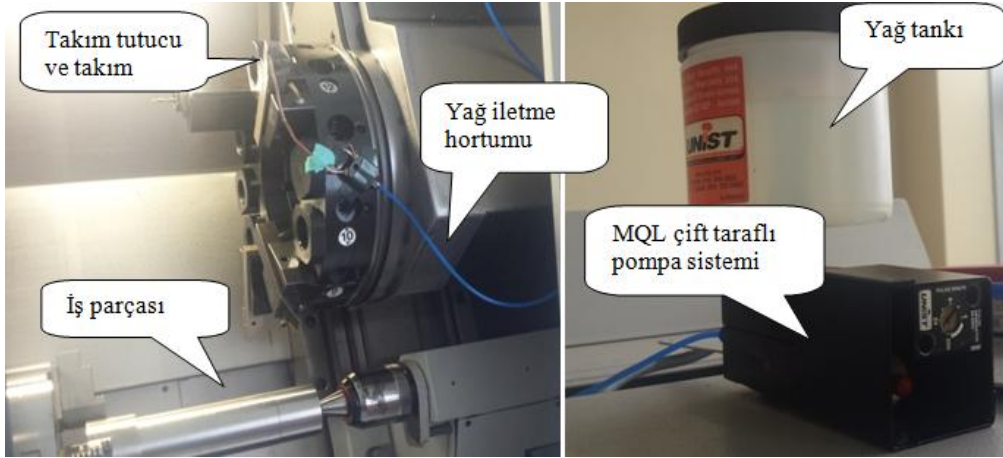
Çizelge 3.4 Deneysel çalışmalarda kullanılan kesme parametreleri.

Deney No	İlerleme, f (mm/dev)	Kesme Derinliği, a (mm)	Kesme Şartları	Kesme Hızı, V (m/dak)
1	0,1	0,5		125
2			Kuru kesme	250
3				350
4			Geleneksel kesme	125
5			sıvısı	250
6				350
7				125
8			MQL	250
9				350
10			Kriyojenik	125
11			soğutma	250
12				350

3.2 Kullanılan Soğutma ve Yağlama Sistemleri ve Deney Düzenekleri

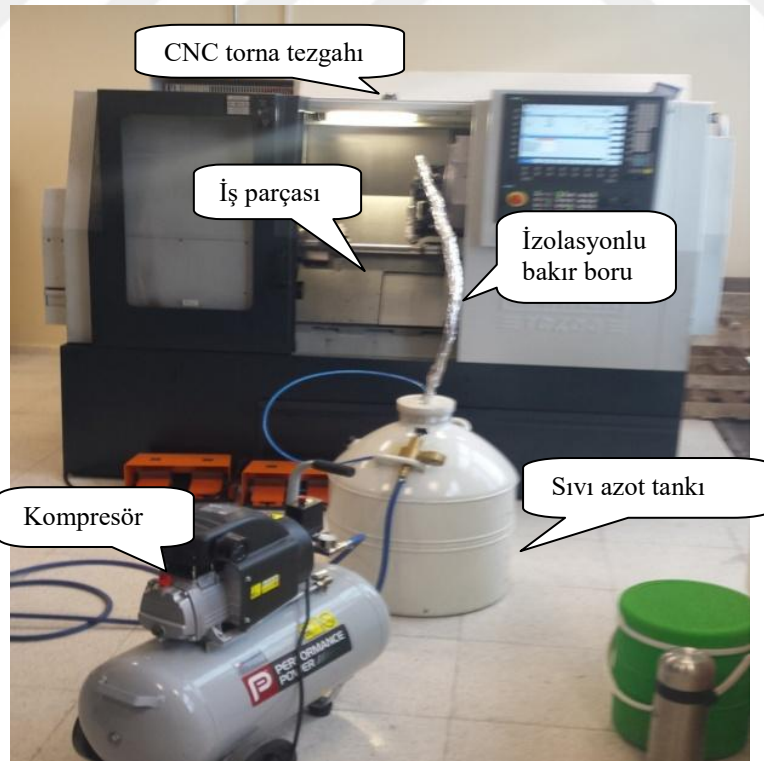
Kesme deneyleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında, Mekanik Testler bölümünde bulunan SIEMENS kontrol ünitesine sahip SPINNER marka TC400 52 MC model CNC torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Geleneksel kesme sıvısı ile yapılan kesme deneylerinde CNC torna tezgahına üretici tarafından entegre edilen sistem kullanılarak, kesme sıvısı kesme bölgesine püskürtülmüştür. Kesme sıvısı olarak su – bor yağı karışımı kullanılmıştır. Karışımdaki bor yağı oranı yaklaşık %10 civarındadır. Püskürtme basıncı ise yaklaşık 1 bardır.

MQL deneylerinde Resim 3.2’de görünen UNİST marka MQL sistemi kullanılmış, bakır borulu sistemle 4 bar basınçla kesme bölgesinde minimal yağlama uygulaması yapılmıştır. Kesme bölgesine transfer edilen yağın debisi 100 ml/h’dir.



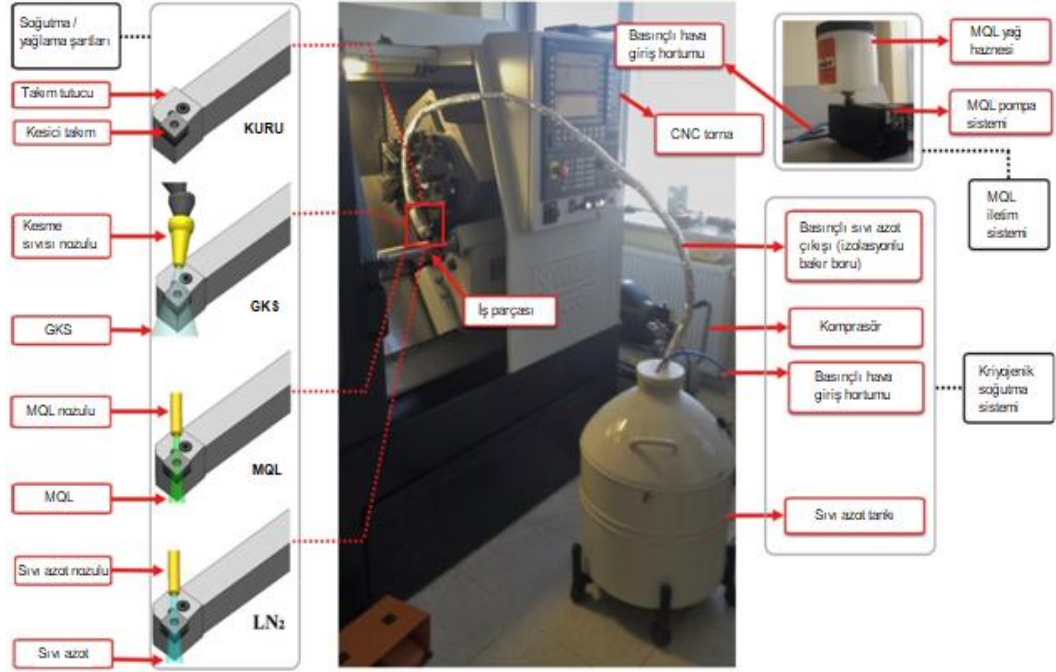
Resim 3.2 Deneylerde kullanılan MQL sistemi.

Kriyojenik kesme deneylerinde ise Resim 3.3'te kurulan düzenek kullanılmıştır. İzolasyonlu tank içinde saklanan sıvı azota kompresörle 1 bar basınç uygulanmış, bu sayede sıvı azot izole edilmiş bakır boru içerinden kesme bölgesine sıvı olarak ulaştırılmıştır. Kesme deneylerine başlamadan önce nozüle sıvı azot gelmesi beklenmiştir.



Resim 3.3 Kriyojenik soğutma sistemi.

Tüm kesme koşullarında, kesme sıvısı takımın talaş yüzeyine ve kesme bölgesine etki edecek şekilde uygulanmıştır (Şekil 3.1).

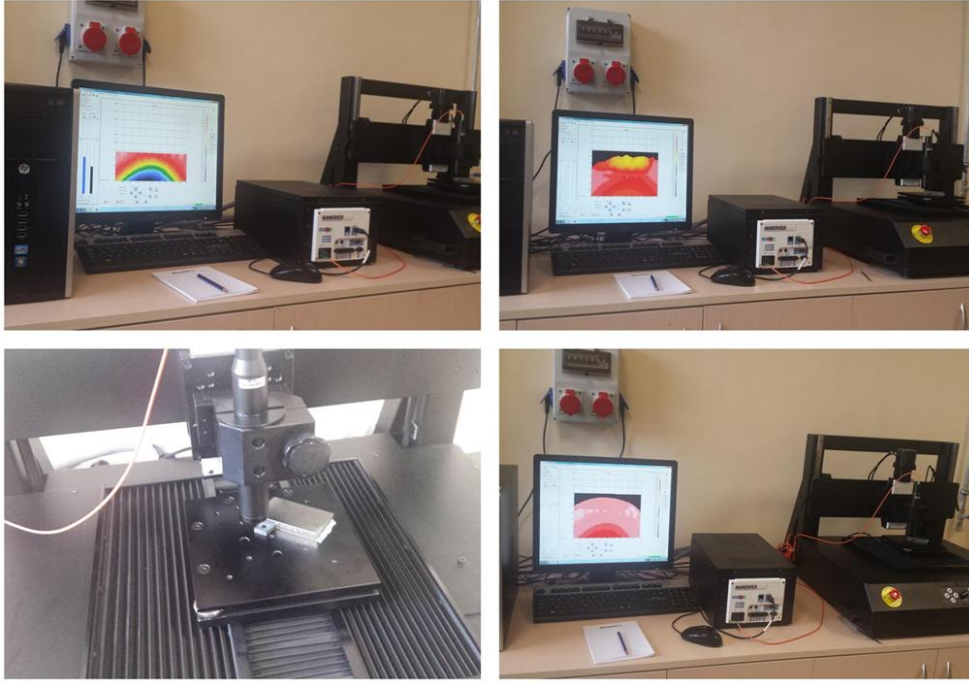


Şekil 3.1 Soğutma/yağlama sıvılarının kesme bölgesine uygulanması.

3.3 Takım Aşınması ve Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri

Kesme deneylerinde kesici takımda meydana gelen serbest yüzey aşınması tespitleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı, Mikro İşleme bölümünde bulunan dijital mikroskop kullanılarak yapılmış, DinoCapture 2.0 yazılımı kullanılarak aşınma miktarları ölçülmüştür.

Krater aşınmalarının tespiti ve ölçümlerinde ve yüzey pürüzlülüğü tespitlerinde ise NANOVEA markalı profilometre cihazı kullanılmıştır. Resim 3.4'te profilometre cihazı ile aşınan yüzeyin haritasının çıkartılması ve krater aşınması tespiti görülmektedir. Ölçümler, kesme deneyleri belirli aralıklarda durdurularak yapılmıştır.



Resim 3.4 Profilometre ile takımda oluşan krater aşınması ölçümleri.

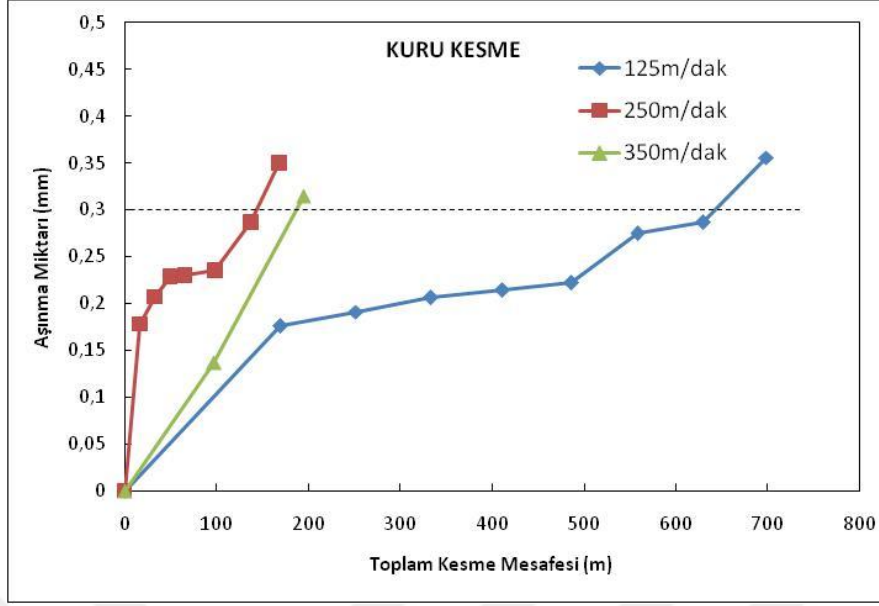
4. BULGULAR

4.1 Kesme Hızının Etkisi

4.1.1 Kesme Hızının Serbest Yüzey Aşınmasına Etkisi

Kesme hızı, mekanik enerjinin ısı enerjisine dönüşmesinin yanı sıra, kesme bölgesinde sürtünmeleri artırdığı ve bunun sonucunda da sıcaklığı artırdığı için takımın yan yüzlerinde aşınmaya sebep olur. Kesme hızının takımlarda sıklıkla rastlanan serbest yüzey aşınması üzerindeki etkilerinin tespit edilebilmesi için Ti-6Al-4V alaşımı dört farklı soğutma/yağlama şartında üç farklı hızda işlenerek, takımda serbest yüzey aşınması miktarları (VB_B değerleri) ölçülmüştür. Elde edilen değerler kuru kesme şartları için Şekil 4.1’de, geleneksel kesme sıvısı ile kesme şartları için Şekil 4.3’de, MQL ile kesme şartları için Şekil 4.4’te, kriyojenik kesme şartları için ise Şekil 4.5’te grafiklerle sunulmuştur. Aşınma kriteri ISO 3685 standardında 0,3mm olarak kabul edildiğinden takımda meydana gelen serbest yüzey aşınması bu değere geldiğinde deneyler sonlandırılmıştır. Ancak bazı şartlarda kesme uzunluğuna bağlı olarak bu değerin üzerine çıkmışsa da grafiklerde özellikle 0,3mm değeri kesikli çizgi ilave edilmek suretiyle kriterin tamamlandığı ve buna karşılık gelen kesme mesafesi tayin edilmeye çalışılmıştır. Grafiklerde serbest yüzeyde meydana gelen aşınma miktarı y ekseninde gösterilmiş, x ekseninde ise kesici takımın iş parçası üzerinde kesme yaptığı mesafe temel alınmıştır.

Şekil 4.1’de kuru kesme şartları altında yapılan kesme deneylerinde 125 m/dak, 250 m/dak ve 350 m/dak kesme hızlarında takımın serbest yüzeyinde meydana gelen aşınma miktarı kesme mesafesine bağlı olarak verilmiştir. Kesme hızının minimum olduğu 125 m/dak kesme hızında, aşınma miktarının da minimum olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Bununla birlikte artan kesme hızıyla birlikte, aşınma miktarının da arttığı da görülmektedir.

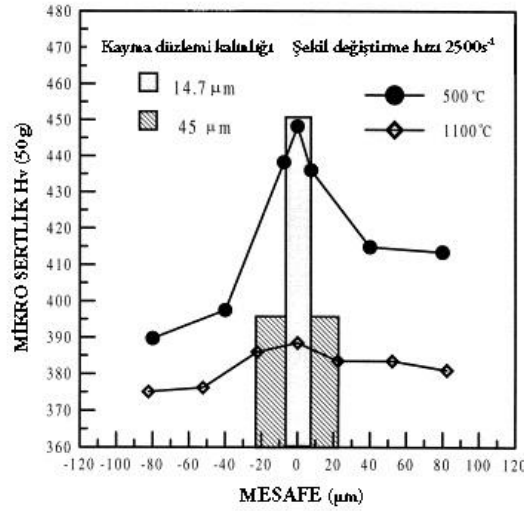


Şekil 4.1 Kuru kesme şartlarında kesme hızının serbest yüzey aşınması üzerine etkisi.

Ancak burada dikkati çeken nokta, kesme hızının 250 m/dak veya 350 m/dak olduğu durumlarda, konvansiyonel kesme işlemlerinde sıkça karşılaşılan bir durum dışında bir durumla karşılaşılmıştır. Örneğin konvansiyonel bir tornalama işleminde genellikle, artan kesme hızının, kesme bölgesindeki sıcaklığı artırması ve bunun sonucunda da aşınmayı artırması beklenir. Fakat burada 250 m/dak kesme hızında meydana gelen aşınma miktarının, 350 m/dak kesme hızında meydana gelen aşınma miktarından fazla olduğu görülmektedir. Bunun da temel nedeni artan kesme hızıyla birlikte kesme bölgesinde sıcaklığın artması, bunun sebebi de iş parçasının daha yumuşak ve takım yüzeyinden daha kolay akmasıdır. Böylece takımda oluşan abrasiv aşınma etkisinin azaldığı düşünülmektedir. Fakat artan kesme hızına bağlı olarak sıcaklık aynı zamanda takımda da termal yumuşamaya sebep olmaktadır. Dolayısıyla burada öne çıkan durumun şu olduğu düşünülmektedir ki, iş parçasında meydana gelen yumuşama, takımda oluşan termal yumuşamadan daha fazla olduğu için takımı aşındırma etkisi azalmıştır. Bu sebepten dolayı yüksek olan 350 m/dak kesme hızında, takım daha az aşınmış ve takım ömrü daha yüksek çıkmıştır. Fakat şuna dikkat etmek gerekir ki, 350 m/dak kesme hızında ki aşınma miktarı 250 m/dak kesme hızından daha yüksek olmasına rağmen aralarındaki farkın çok fazla olmadığı söylenebilir.

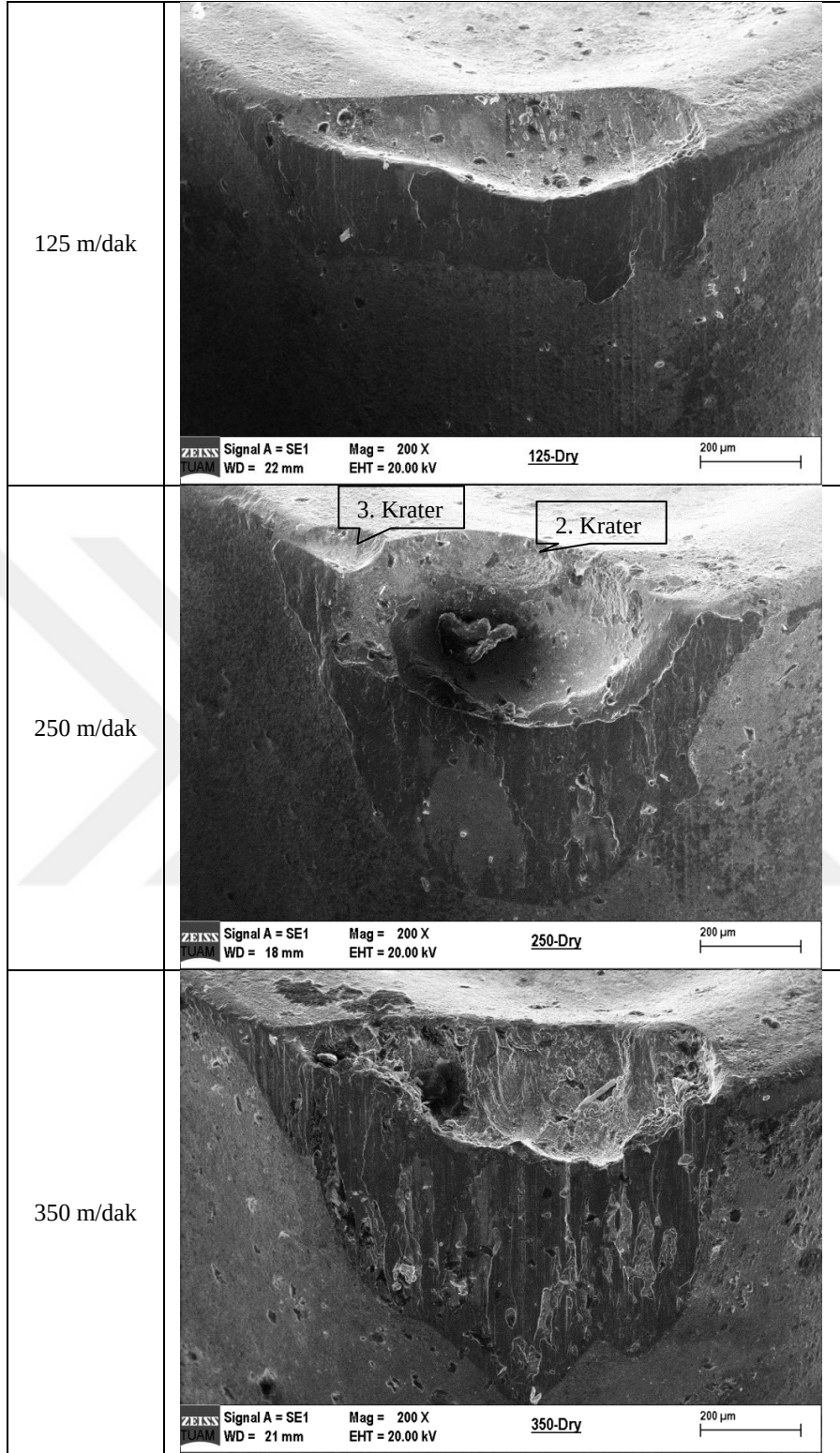
Lee ve Lin'in yapmış oldukları bir çalışmada, Ti-6Al-4V alaşımının kesme bölgesinde

meydana gelen sıcaklığın artmasına bağlı olarak, sertlikteki düşüş çalışmada sıcaklık 500 °C de 450 Hv iken 1100 °C de 385 Hv seviyelerinde olduğunu tespit etmişlerdir. (Lee and Lin 1998).



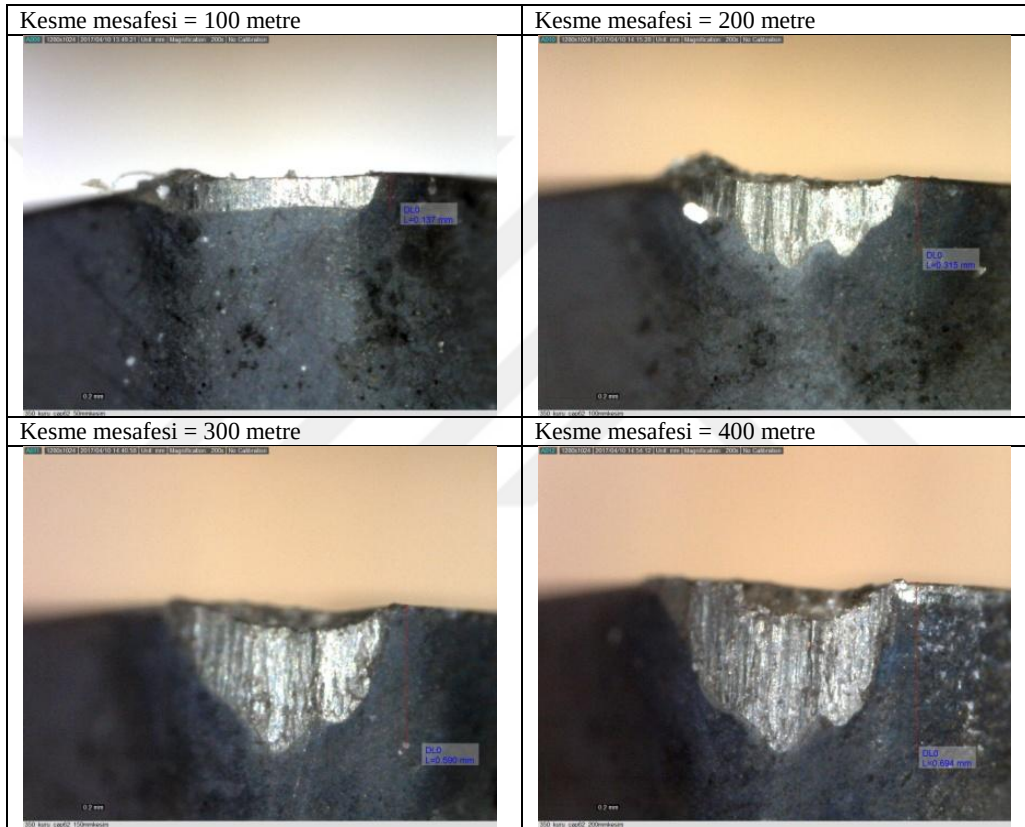
Şekil 4.2 500°C ve 1100°C sıcaklıklarda test edilen numunelerin sıcaklığa bağlı şekil değiştirme oranları için adyabatik kayma düzleminde mikro sertliklerin değişimi (Lee and Lin 1998).

Dolayısıyla malzemenin sertliğindeki düşüş takım aşınmasını olumlu etkilemiştir. Resim 4.1’de SEM analizinde elde edilen kuru kesme şartları altında takımda meydana gelen aşınmalar görülmektedir. 125 m/dak kesme hızında aşınma miktarı daha az ve düzenliyen, kesme hızı arttıkça aşınmanın ulaştığı boyutlarda görülmektedir. Resim 4.1’de görüldüğü üzere 250 m/dak kesme hızında hem krater derinliği hem de serbest yüzey aşınması boyutu daha büyüktür. Ayrıca 250 m/dak kesme hızında ikinci ve üçüncü krater oluşumu da göze çarpmaktadır. Eğer kesme işlemine devam edilseydi ana krater ile ikinci ve üçüncü kraterin birleşmesi yüksek muhtemeldir.



Resim 4.1 Kuru kesme şartlarında elde edilen takımın SEM görüntüleri.

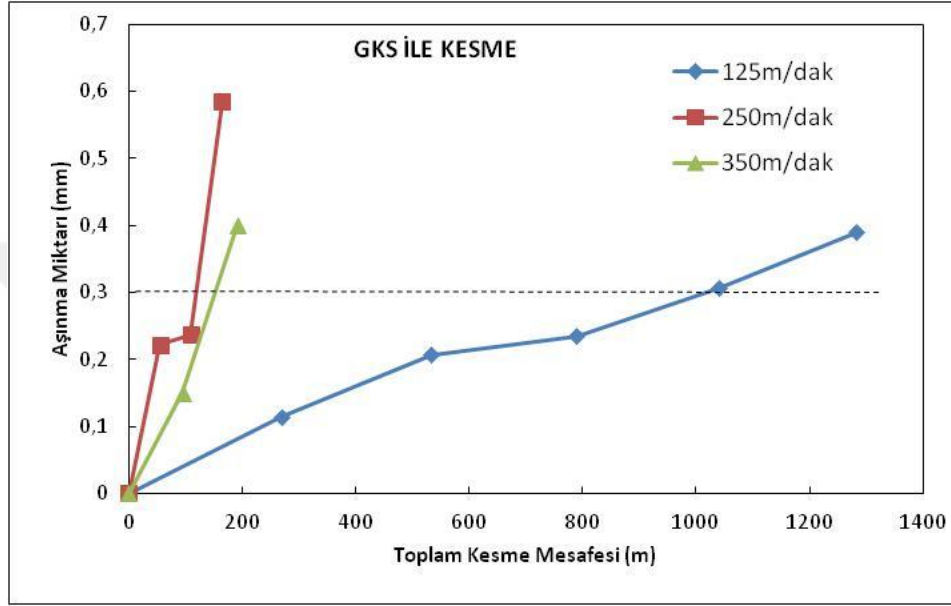
Resim 4.2’de ise kuru kesme şartlarında 350 m/dak kesme hızında elde edilen serbest yüzey aşınmasının gelişimi görülmektedir. Her kesme işleminden sonra takımdaki aşınma miktarı dijital mikroskop ile incelenerek, ölçülmüştür. Resim 4.2’den görüldüğü üzere kesme işleminin ilk başladığı 100m’de serbest yüzey aşınması düzenli olarak meydana gelmiştir. Artan kesme mesafesiyle birlikte düzenli aşınma yerini düzensiz bir forma bırakmıştır. Abrasiv aşınma mekanizmasının bir sonucu olarak mikro oluklar şeklinde izlerde rahatlıkla görülmektedir.



Resim 4.2 Kuru kesme şartlarında 350 m/dak kesme hızında serbest yüzey aşınmasının gözlemlenmesi (Dijital mikroskop).

Geleneksel kesme sıvısı ile kesme şartlarında ise en iyi serbest yüzey aşınması değeri yine 125 m/dak kesme hızında olduğu Şekil 4.3’teki grafikten anlaşılmaktadır. Kesme hızının artmasıyla takım ömrünün azaldığı burada da görülmekle birlikte, kesme sıvısı ile kesme şartlarında yapılan deneylerde de, kuru kesme şartlarında olduğu gibi 250 m/dak kesme hızında oluşan takım aşınma miktarı, 350 m/dak kesme hızında oluşan takım aşınma miktarından daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Ancak kuru kesme şartlarında yapılan deneylere göre kesme sıvısı ile kesme şartlarında 250 m/dak ve 350

m/dak kesme hızlarındaki aşınma miktarı değerleri arasındaki farkın daha az olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni; daha yüksek bir kesme hızı olan 350 m/dak kesme hızında oluşan yüksek sıcaklığın kesme sıvısı ile azaltılarak, yüksek sıcaklıkta iş parçasında oluşan yumuşamanın burada daha düşük bir seviyede kaldığı düşünülmektedir.



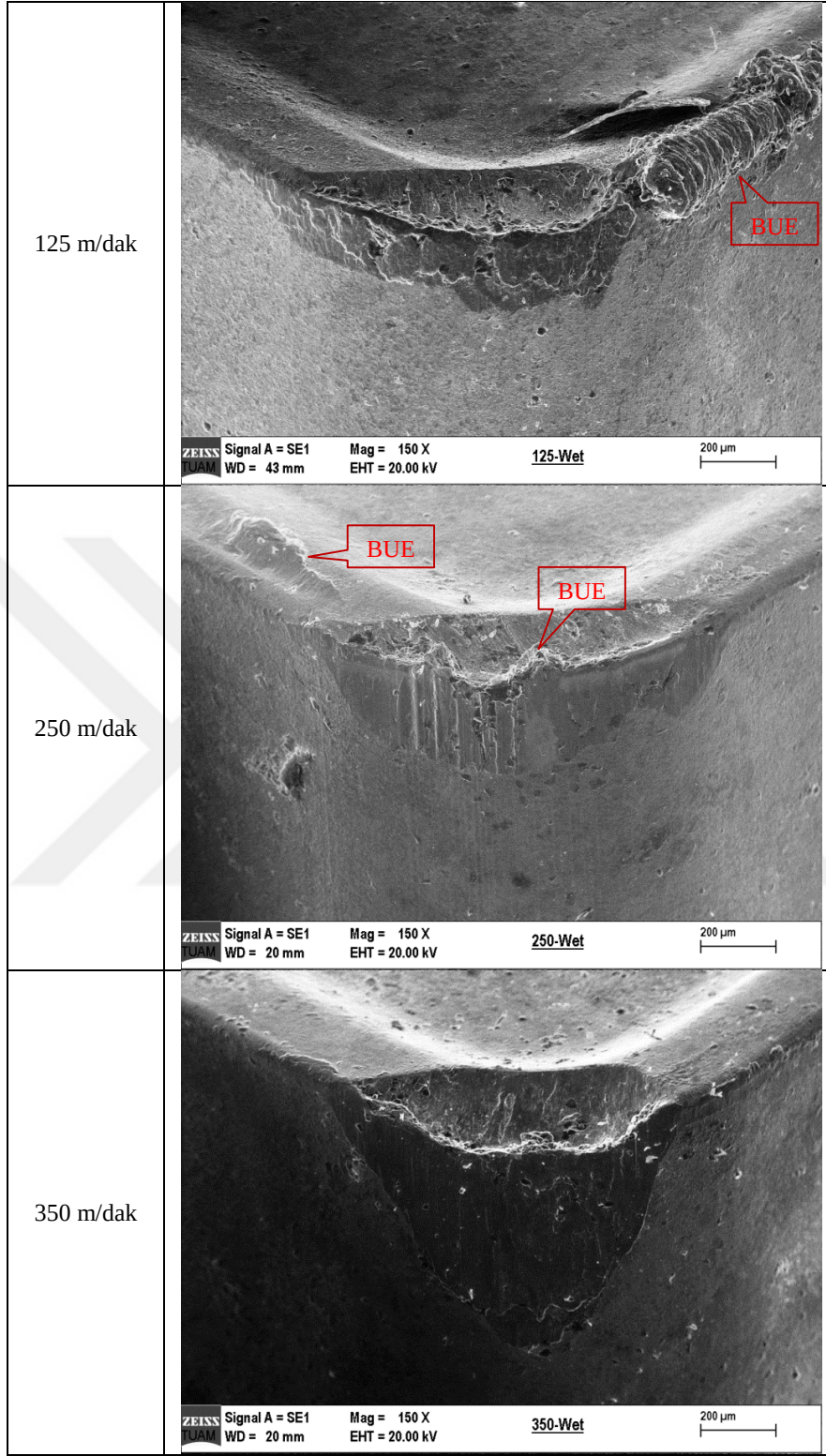
Şekil 4.3 Geleneksel kesme sıvısı ile kesme şartlarında kesme hızının serbest yüzey aşınması üzerine etkisi.

Geleneksel kesme sıvısı ile kesme şartlarında aşınma kriterine 125 m/dak kesme hızına 1000 metrenin üzerinde ulaşılırken, 250 m/dak kesme hızında yaklaşık 135 metre civarında, 350 m/dak kesme hızında ise 180 metre civarında bir değerde ulaşılmıştır. 125 m/dak kesme hızında serbest yüzey aşınması düzenli bir şekilde son pasoya kadar görülebilirken, 250 m/dak kesme hızında 3. pasodan sonra, 350 m/dak kesme hızında ise 2. pasodan itibaren düzensizleşmenin etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi; artan kesme hızlarıyla birlikte oluşan yüksek sıcaklık takımında termal yumuşamaya ve daha bölgesel alanlarda sıcaklığın artmasına neden olmaktadır. Sıcaklığın artması, daha dar bölgelerde difüzyon aşınma mekanizmasını devreye sokarak, aşınmanın düzensizleşmesine, bazı bölgelerde derinleşmesine sebep olmaktadır.

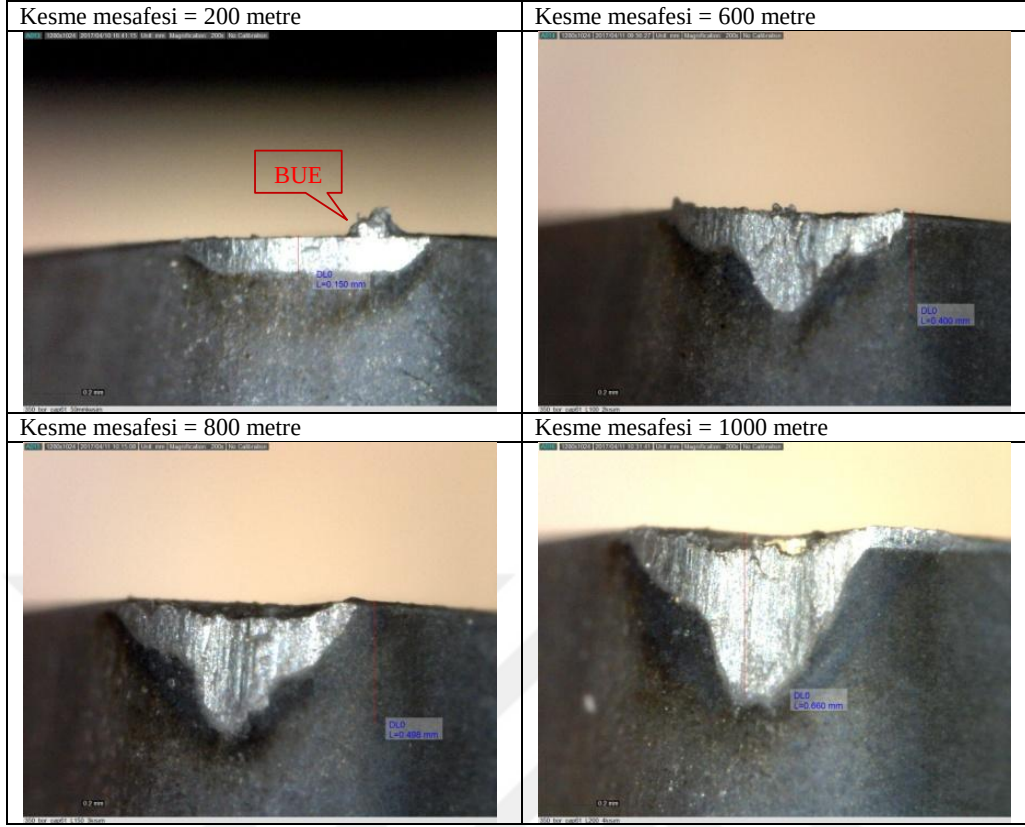
Resim 4.3'te geleneksel kesme sıvısı ile kesme şartlarında takım ömrü tamamlandıktan sonra oluşan takım aşınmasının SEM görüntüleri verilmiştir. Kesme sıvısının yağlayıcı ve soğutucu etkisinin takım ömrü üzerindeki etkisi bu resimlerde daha belirgin bir

şekilde görülmektedir. 125 m/dak ve 250 m/dak kesme hızlarında takımda oluşan aşınmanın sınırlı ve düzenli yapısı göze çarpmaktadır.

Resim 4.4'te geleneksel kesme sıvısı ile kesme şartlarında ve 350 m/dak kesme hızında serbest yüzey aşınmasının gelişimi verilmiştir. Buradan ölçülen değerlerle takım ömrü tespit edilmeye çalışılmış ve aşınma grafiği oluşturulmuştur. Geleneksel kesme sıvısının yüksek soğutma özelliğine rağmen kesme bölgesinde oluşan yüksek sıcaklıktan dolayı meydana gelen renk değişikliği resimlerde göze çarpmaktadır. Kesme mesafesinin 200 m olduğu durumda serbest yüzey aşınmasının düzgün bir formda gerçekleştiği ve BUE oluşumunun varlığı göze çarpmaktadır. Artan kesme mesafesiyle birlikte serbest yüzey aşınması bölgesel olarak ilerlemektedir. Burun radyüsünün düzleşmesiyle birlikte iş parçası ile olan temas alanı da artmaktadır. Bu da serbest yüzey aşınmasının meydana geldiği alanın artmasına neden olur.

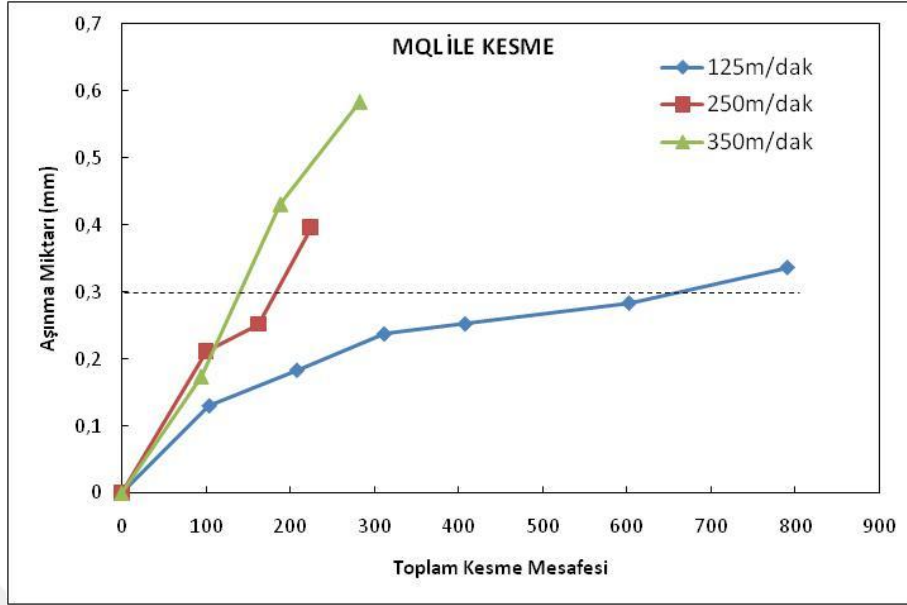


Resim 4.3 Geleneksel kesme sıvısı ile kesme şartlarında elde edilen takımın SEM görüntüleri.



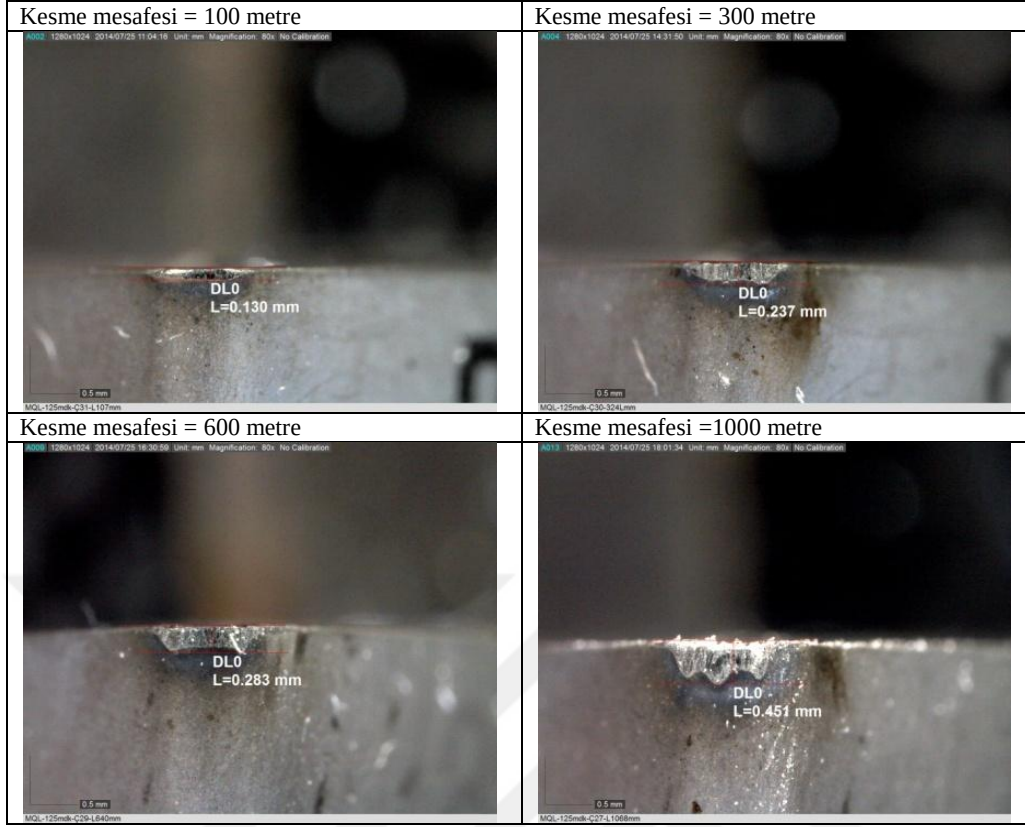
Resim 4.4 Geleneksel kesme sıvısı ile kesme şartlarında 350 m/dak kesme hızında serbest yüzey aşınmasının gelişimi (Dijital mikroskop).

MLQ ile kesme şartlarında, kullanılan yağın soğutma etkisinden ziyade yağlayıcılık etkisi ön plandadır. Takım talaş ara yüzeyine püskürtülen yağ ile sürtünme azaltılarak ısı oluşumunun ve takım aşınmasının azaltılması istenir. Şekil 4.4’deki grafikte MLQ ile kesme şartları altındaki toplam kesme mesafesi-aşınma miktarı grafiği kesme hızlarına bağlı olarak verilmiştir. 125 m/dak kesme hızında aşınma kriteri değerine yaklaşık 600 metrede ulaşılırken, yine en az aşınma değerleri bu hızda elde edilmiştir. 250 m/dak ve 350 m/dak kesme hızlarında elde edilen aşınma değerleri eğrilerin birbirine yakın olarak elde edilmiştir. Yüksek hızlardan dolayı oluşan yüksek sıcaklıkla iş parçasında oluşması beklenen termal yumuşamanın azaldığı düşünülmektedir. Bunun nedeni de püskürtülen yağın etkisiyle hem sürtünmenin hem sıcaklığın azalması olabilir.



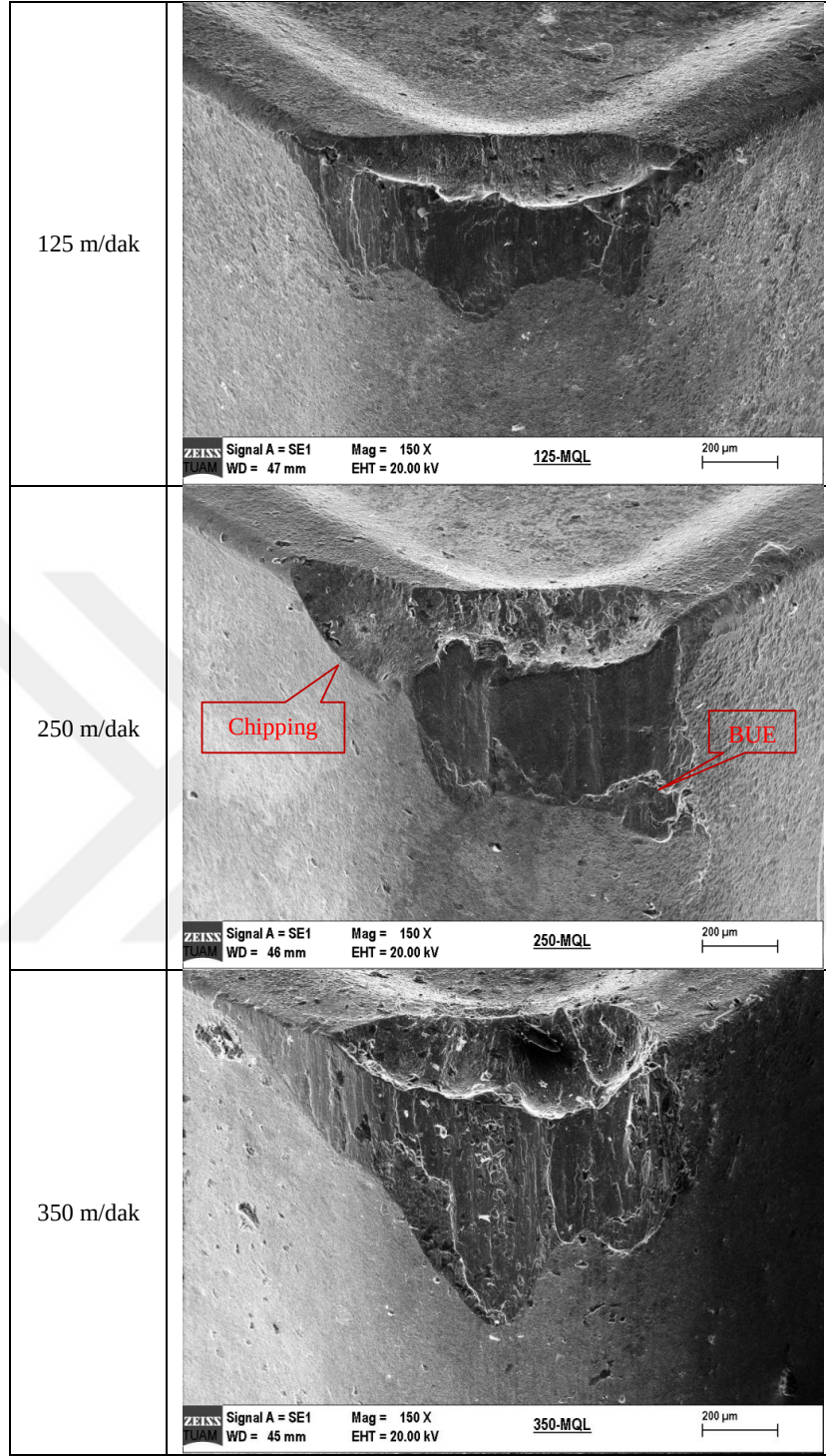
Şekil 4.4 MQL ile kesme şartlarında kesme hızının serbest yüzey aşınması üzerine etkisi.

Resim 4.5’de 125 m/dak kesme hızında takımda oluşan serbest yüzey aşınmasının gelişimi verilmiştir. MQL sistemi ile her ne kadar kesme bölgesinde sürtünmenin azaltılarak sıcaklığın düşürülmesi istense de ortaya çıkan ısıнын etkisi şekilden görülmektedir. 125 m/dak kesme hızında aşınma bölgesi düzenli yapısını korumuştur. Fakat artan kesme mesafesiyle birlikte düzenli aşınma yerini düzensiz bir forma bırakmaktadır.



Resim 4.5 MQL ile kesme şartlarında 125 m/dak kesme hızında serbest yüzey aşınmasının gelişimi (Dijital mikroskop).

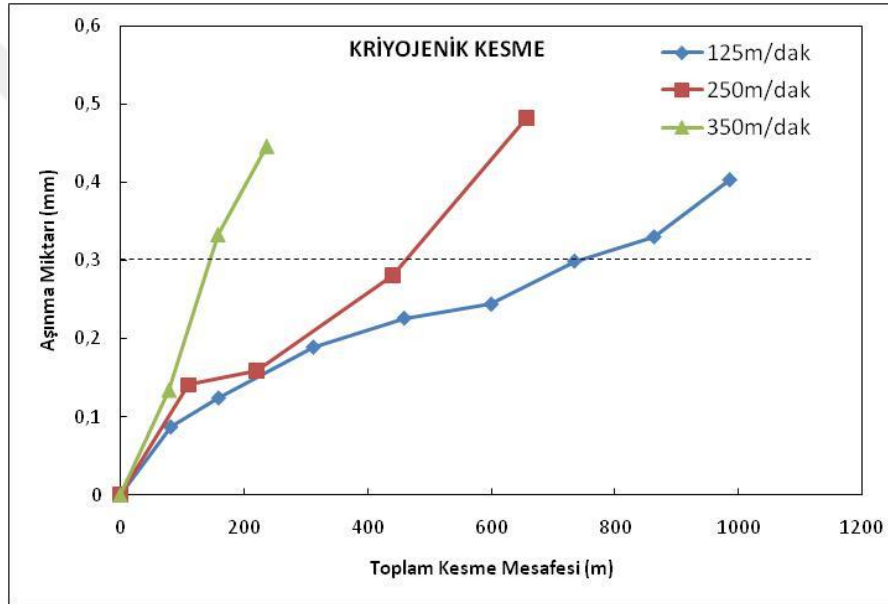
Resim 4.6’da deneyler sonucunda takımda meydana gelen aşınmaya ait SEM fotoğrafları incelendiğinde; 250 m/dak ve 350 m/dak kesme hızlarda, bölgesel sıcaklığın artmasıyla birlikte difüzyon aşınma mekanizmasının devreye girdiği, aynı zamanda bölgesel aşınmada noktasal gerilmelerde arttığı için serbest yüzey aşınmasının düzensiz bir hale geldiği ve aşınmaların derinleştiği gözlemlenmektedir. Resim 4.6’da dikkati çeken bir unsur ise 250 m/dak da takımda oluşan hasarın daha büyük olmasıdır. Oluşan kraterin sol tarafında takımda chipping tarzı bir kırılmanın meydana geldiği göze çarpmaktadır. Ayrıca 250 m/dak kesme hızında BUE oluşumunun daha belirgin olduğunu da söylemek mümkündür.



Resim 4.6 MQL ile kesme şartlarında elde edilen takımın SEM görüntüleri.

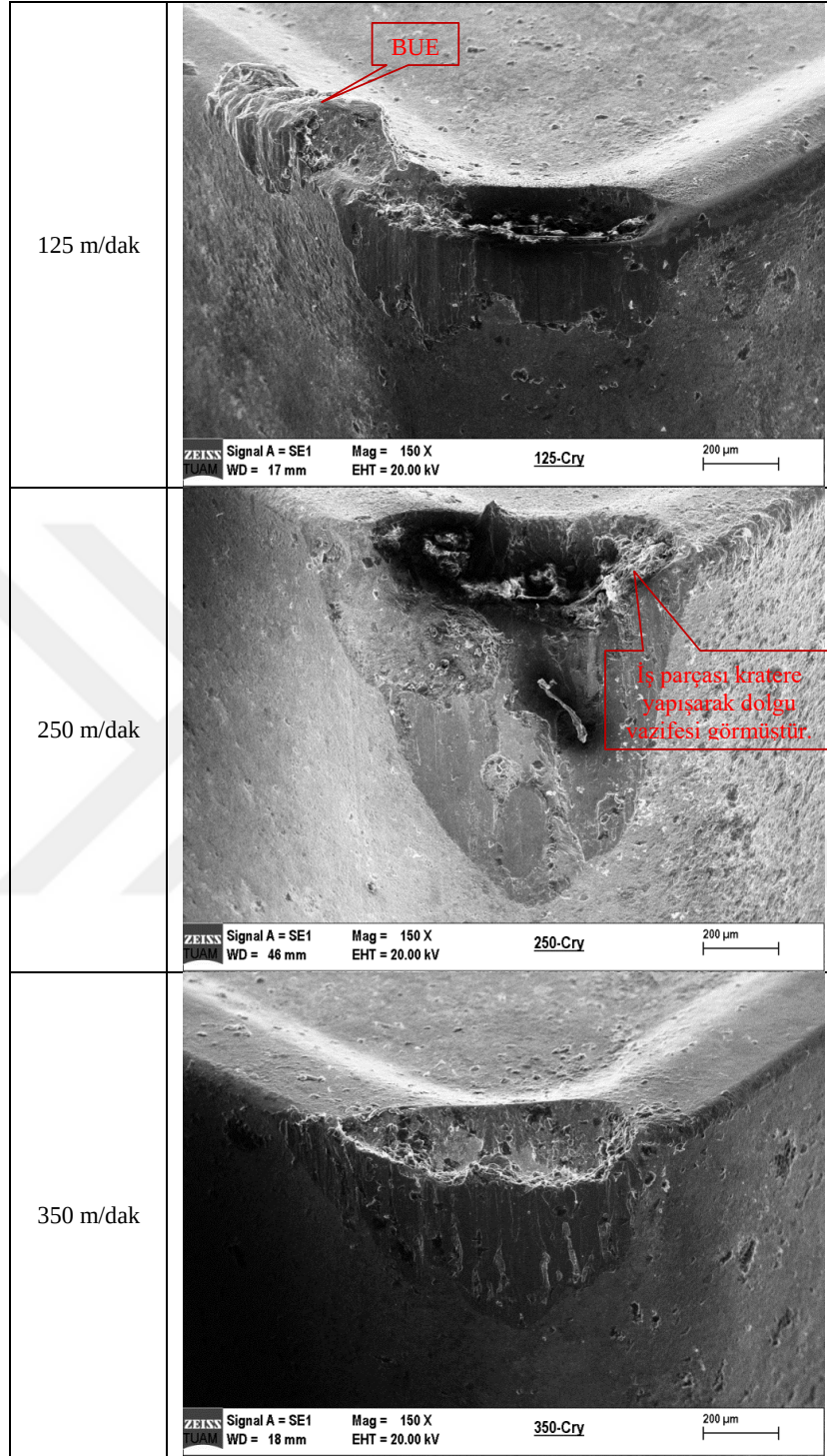
Kriyojenik kesme şartlarında elde edilen aşınma – kesme mesafesi grafiği Şekil 4.5’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde, ilk kesme uzunluklarında yakın aşınma değerleri elde edilmesine rağmen, ilerleyen kesme mesafelerinde 125 m/dak kesme hızında en iyi

takım ömrü elde edilmişti. 250 m/dak kesme hızında diğer soğutma şartlarına göre belirgin bir iyileşme olduğu gözlemlenmektedir. Kriyojenik soğutma şartları altında 250 m/dak kesme hızında aşınma kriterine yaklaşık 500 metre kesme mesafesinde ulaşılmıştır. 350 m/dak kesme hızında ise aşınma miktarı yine en yüksek olmakla birlikte diğer soğutma şartlarına göre aşınma kriterine daha yüksek bir kesme mesafesinde ulaşıldığı görülmektedir. Kriyojenik kesme şartlarında sıvı azotun sahip olduğu yüksek soğutma özelliği sayesinde 350 m/dak kesme hızında iş parçası sertliğinde azalma olmamış ve tornalama işlemi, konvansiyonel tornalama işlemlerinde olduğu gibi gerçekleşmiştir.



Şekil 4.5 Kriyojenik kesme şartlarında kesme hızının serbest yüzey aşınması üzerine etkisi.

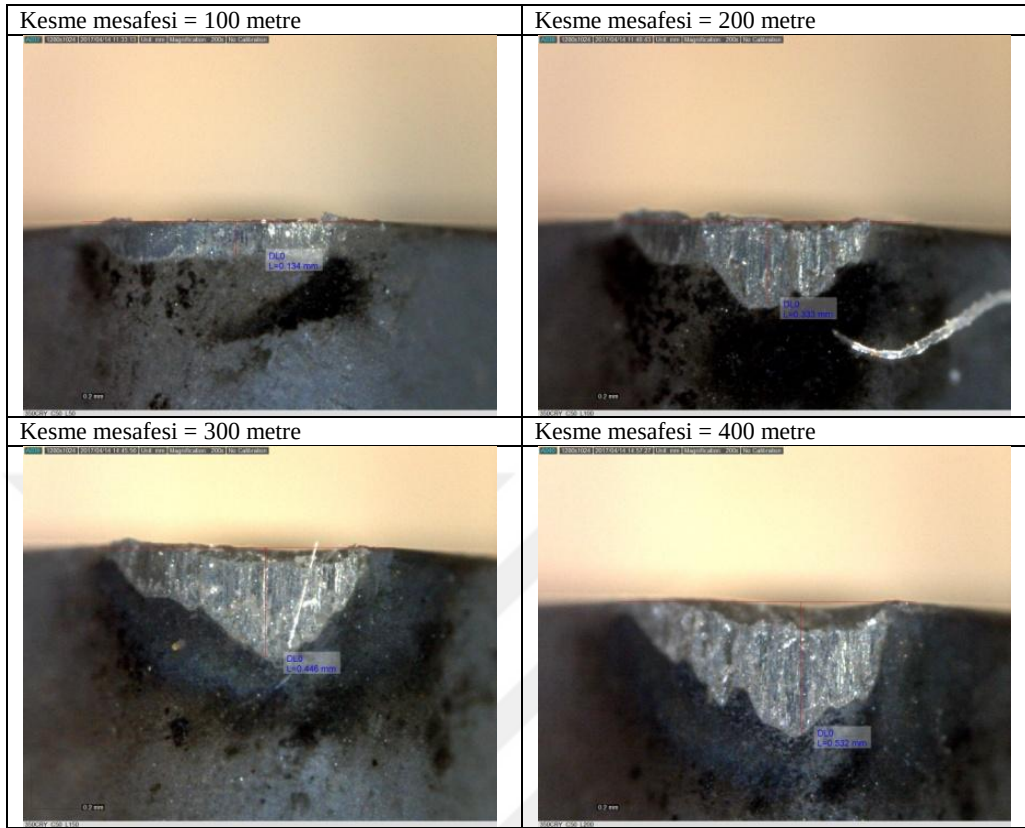
Resim 4.7’de ise deneyler sonucunda takımda oluşan aşınmanın SEM fotoğrafları görülmektedir. Resim 4.7’de elde edilen en önemli nokta; kriyojenik soğutmanın hem krater derinliğinin hem de serbest yüzey aşınmasının azalmasına katkıda bulunmuş olmasıdır. 125 m/dak kesme hızında BUE oluşumu gözlemlenirken, 350 m/dak kesme hızında gözlemlenmemiştir. Ayrıca 250 m/dak kesme hızında iş parçası kratere yapışmak suretiyle dolgu vazifesi görmüştür.



Resim 4.7 Kriyojenik kesme şartlarında elde edilen takımın SEM görüntüleri.

Resim 4.8’de kriyojenik kesme şartları altında serbest yüzey aşınmasının gelişimi verilmiştir. Bu resimler incelendiğinde; ilk kesme mesafesinde serbest yüzey aşınması düzenli bir seyir izlediği görülmektedir. Fakat 200 m kesme sonrasında aşınma düzensiz

olarak gerçekleşmekle birlikte krater derinliği de gözle görünür şekilde artmaktadır.



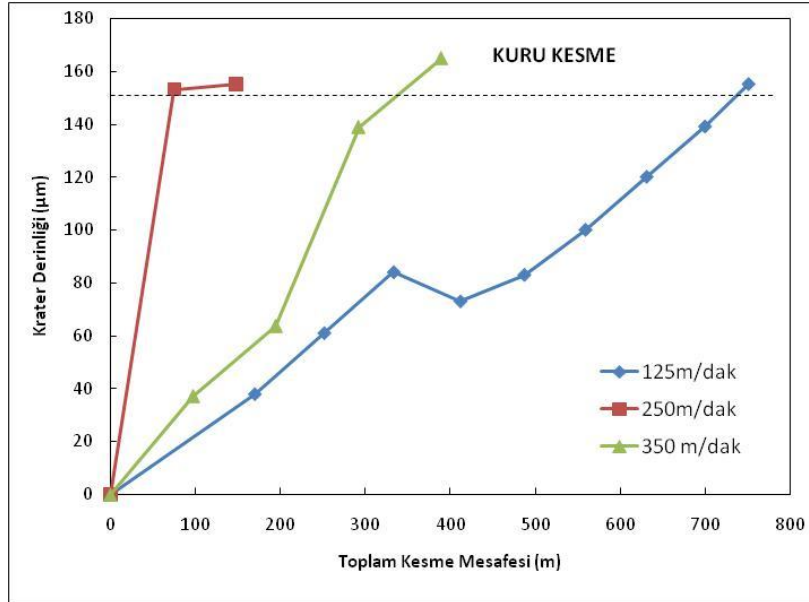
Resim 4.8 Kriyojenik kesme şartlarında 350 m/dak kesme hızında serbest yüzey aşınmasının gelişimi (Dijital mikroskop).

4.1.2 Kesme Hızının Krater Aşınmasına Etkisi

Krater aşınması takımın talaş yüzeyinde meydana gelen bir aşınma tipidir. Takımın talaş yüzeyi, kesilen talaşın takım üzerinden aktığı bölgedir. Kesme hızı arttıkça talaşın bu bölgedeki hızı da arttığı için krater aşınması da çoğalır. Krater aşınmasına etki eden bir diğer faktörde takım talaş ara yüzeyinde meydana gelen difüzyon veya kimyasal reaksiyondur. Aslında krater aşınması takım ömrünü sınırlamasa da kesici bölgenin dayanımını azalttığı için takımın kırılarak hasar almasına neden olabilir. Ayrıca takımın bilenmesini de zorlaştırdığı için çok istenilen bir durum değildir. Krater aşınması için genellikle krater derinliği dikkate alınır. Aşınma kriteri 150 μ m olarak kabul edilmiştir. Deneyler bu değere ulaşıldığında sonlandırılmıştır. Ancak bazı şartlarda kesme mesafesine bağlı olarak bu değerın üzerine çıkıldıysa da, grafiklerde aşınma kriteri kesikli çizgiyle belirtilerek, bu kritere ulaşılan kesme mesafesi belirlenmeye

çalışılmıştır.

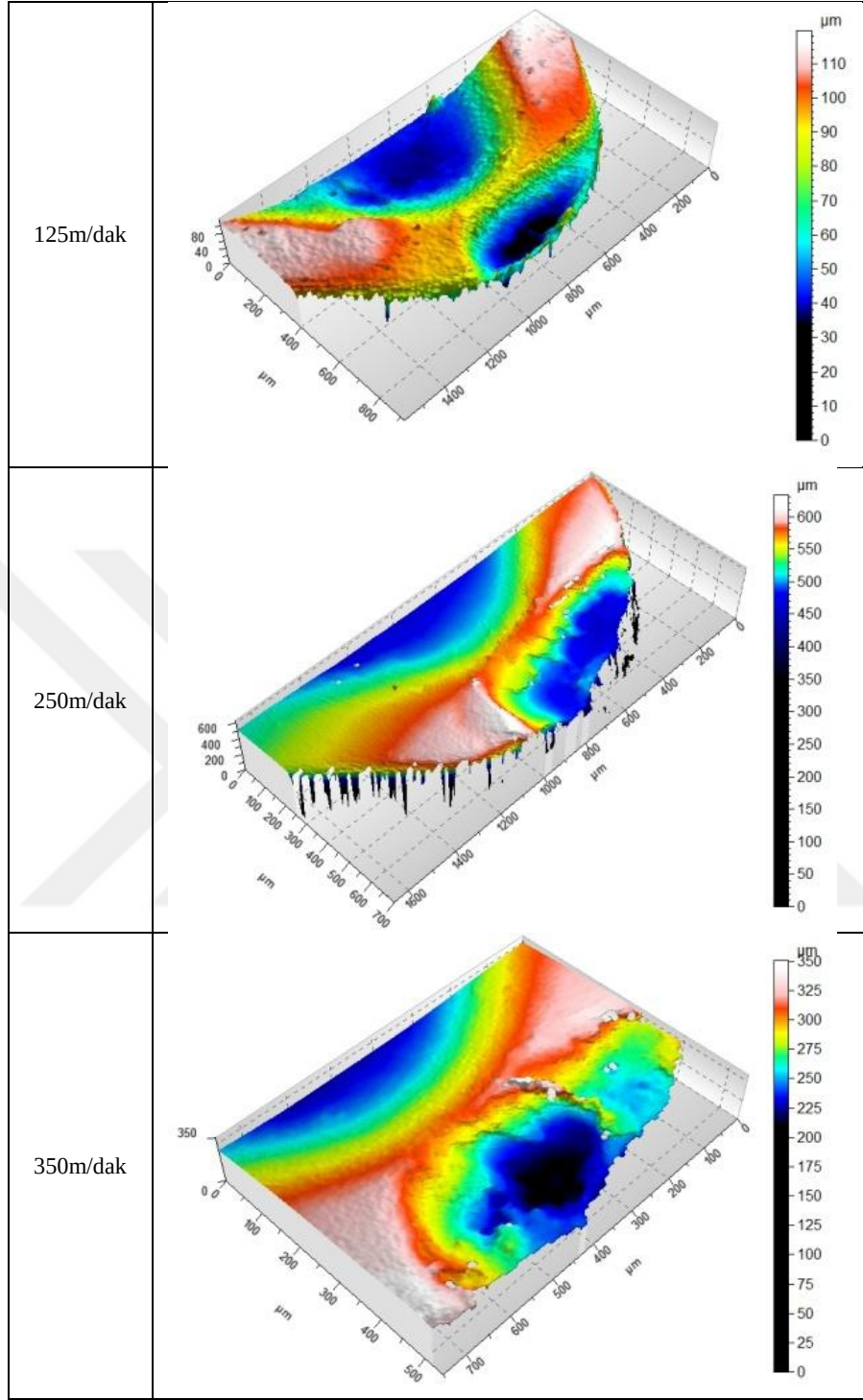
Şekil 4.6’da kuru kesme şartlarında kesme hızının krater derinliği üzerindeki etkisi kesme hızlarına bağlı olarak verilmiştir. Grafikten de anlaşılabacağı üzere kesme hızının en düşük olduğu 125 m/dak kesme hızında krater derinliğinin en düşük seviyede ilerlemektedir. Aşınma kriteri olan $150\mu\text{m}$ değerine 700 metre kesme mesafesinin üzerinde ulaşmıştır. Kesme hızı arttıkça krater derinliğinin de arttığı açıkça görülmektedir. Krater derinliğinin artmasında kesme hızının artmasıyla birlikte artan sürtünmeden dolayı etkili olan abrasiv aşınma mekanizmasının yanında yine artan kesme hızıyla birlikte artan sıcaklığın etkisiyle oluşan difüzyon aşınma mekanizması da devreye girmektedir. İşleme sırasında yüksek sıcaklıklar ve basıncın etkisiyle iş parçası ve takımın atom arası bağlar zayıflar ve birbirleriyle difüze olurlar. Bu difüzyon olayı takım yüzeyinde zayıflamaya ve abrasiv aşınma mekanizmasının etkisiyle malzeme kaybına neden olur. Bu noktada talaş ve takım malzemesi difüze olarak katı bir çözeltide oluşturabilirler. 125 m/dak kesme hızında ortaya çıkan 300 ile 500 metre kesme mesafeleri arasında ki krater derinliğinin azalmasının sebebinin krater yüzeyinde böyle bir katı çözelti oluşmuş olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 4.6 Kuru kesme şartlarında kesme hızının krater derinliği üzerine etkisi.

Burada dikkati çeken bir diğer husus, serbest yüzey aşınmasında karşılaşıldığı gibi 350 m/dak kesme hızında elde edilen krater derinliklerinin 250 m/dak kesme hızında oluşan krater derinliklerinden daha düşük olduğudur. Bunun sebebi 350 m/dak kesme hızında kesme bölgesinde meydana gelen yüksek sıcaklığın iş parçasının sertliğini düşürmesi dolayısıyla takımın talaş yüzeyinden akan talaşın daha yumuşak olmasını sağlayarak abrasiv aşınma mekanizmasını zayıflattığı düşünülmektedir. Resim 4.9'da kuru kesme şartlarında yaklaşık 300 metre kesme mesafesinde takım yüzeylerinden alınan profilometre sonuçları gösterilmektedir. 250 m/dak kesme hızında krater derinliğinin daha büyük olduğu da buradan net olarak görülmektedir. Fakat 350 m/dak kesme hızında kraterin etkili olduğu yüzey alanının daha büyük olduğunu da belirtmekte fayda vardır.

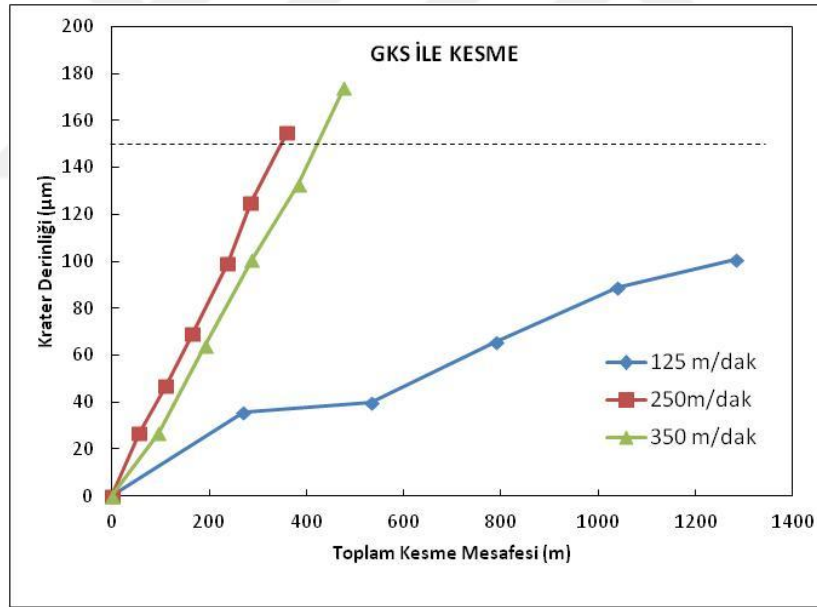




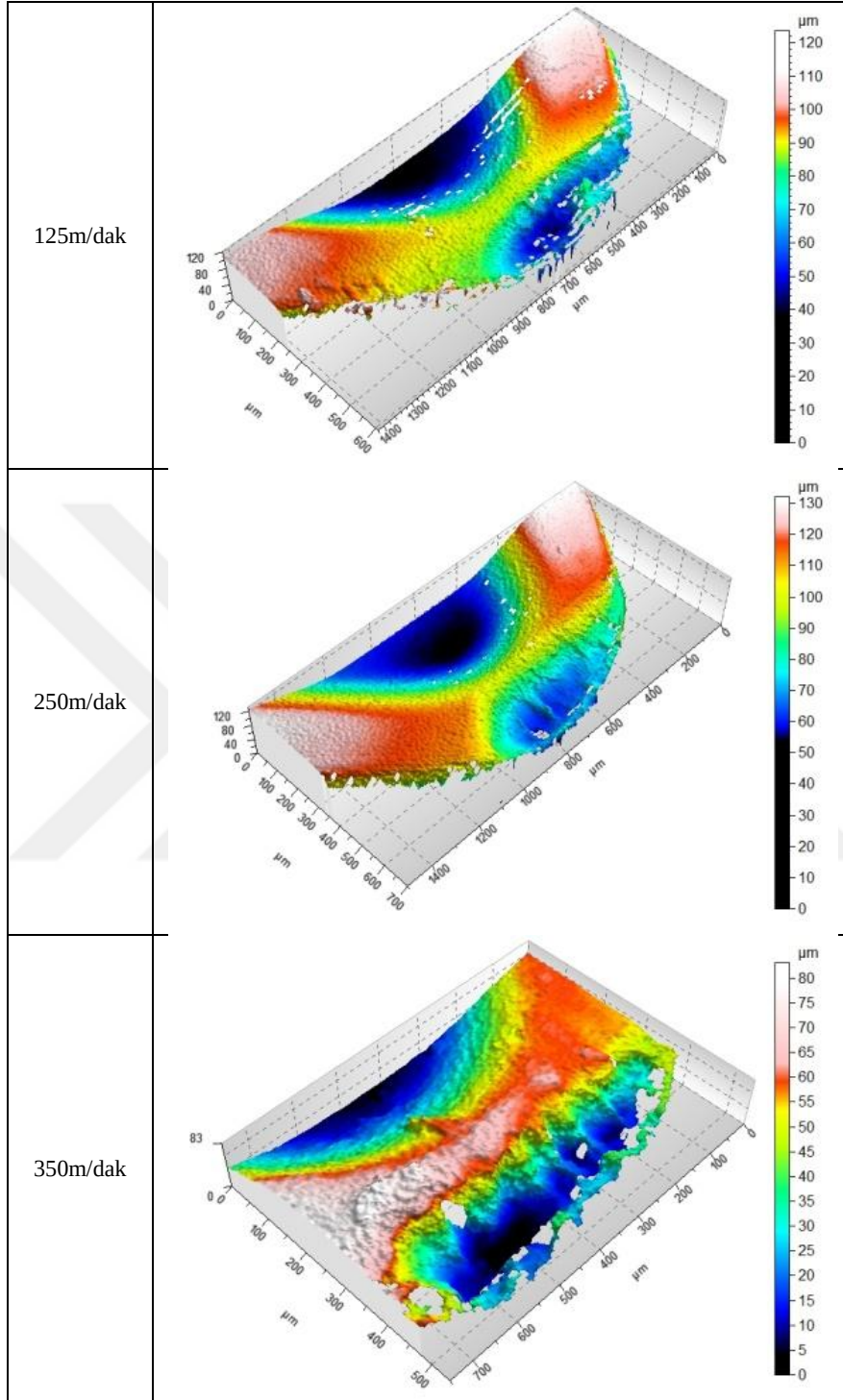
Resim 4.9 Kuru kesme şartlarında 300 metre kesme mesafesinde kesme hızının takım aşınması üzerindeki etkisi (profilometre sonuçları).

Şekil 4.7’de verilen grafik geleneksel kesme sıvısı ile kesme şartları altında 125 m/dak, 250 m/dak ve 350 m/dak kesme hızlarında yapılan deneyler sonucunda krater derinliğinin toplam kesme mesafesine göre değişimi verilmektedir. Grafik

incelendiğinde 125 m/dak kesme hızında en düşük krater derinliklerinin elde edildiği açıkça görülmektedir. Krater derinliğinde aşınma kriteri olan 150 μm değerine 1200 metre kesme mesafesinin üzerinde dahi ulaşamamıştır. Serbest yüzey aşınmasında aşınma kriterine ulaşıldığı ve krater aşınması kriterine eğrinin eğiminden çok daha uzun mesafelerde ulaşılacağı tahmin edildiğinden deneyin sürdürülmesine gerek duyulmamıştır. Geleneksel kesme sıvısı ile kesme şartlarında da kesme hızı arttırıldığında krater derinliğinin arttığı görülmektedir. Ancak burada kesme sıvısının etkisiyle 250 m/dak kesme hızı ile 350 m/dak kesme hızları arasındaki krater derinliği farkının azaldığı görülmektedir. 350 m/dak kesme hızında geleneksel kesme sıvısı kesme bölgesinde sıcaklığın yükselmesini engellemiş, iş parçasının sertliğinin azalmasının önüne geçerek krater derinliklerinin 250 m/dak kesme hızındaki değerlere yakın olmasını sağlamıştır. Resim 4.10'da geleneksel kesme sıvısı ile kesme şartlarında elde edilen takım yüzeylerinin profilometre sonuçları verilmiştir.



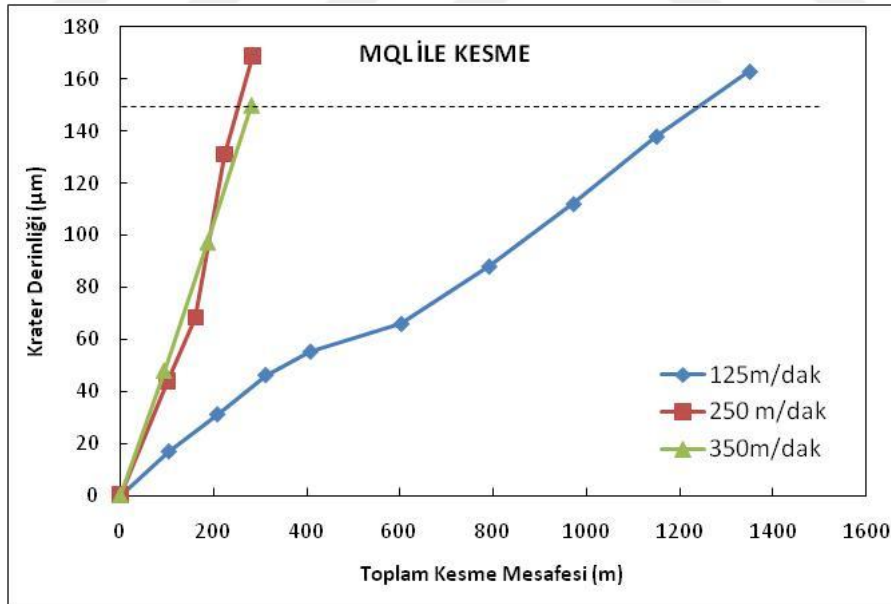
Şekil 4.7 Geleneksel kesme sıvısı ile kesme şartlarında kesme hızının krater derinliği üzerine etkisi.



Resim 4.10 Geleneksel kesme sıvısı ile kesme şartlarında 600 metre kesme mesafesinde kesme hızının takım aşınması üzerindeki etkisi (profilometre sonuçları).

ML ile yapılan kesme deneyleri sonucunda elde edilen Şekil 4.8'deki grafik incelendiğinde, en az krater derinliğinin 125 m/dak kesme hızında olduğu açıkça

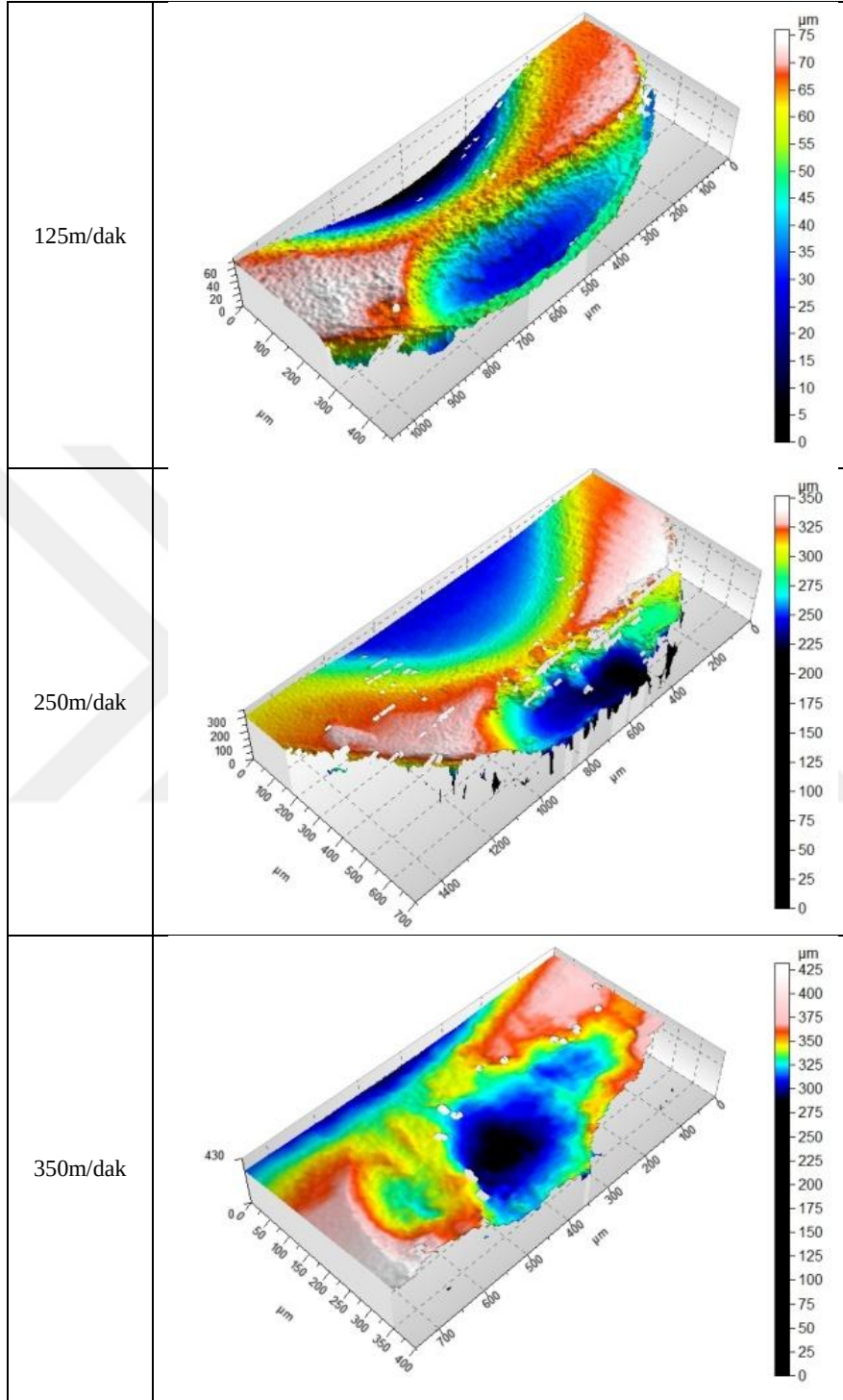
görülebilmektedir. Ayrıca, bu kesme hızında aşınma kriteri değerine 1200 metre civarında diğer kesme hızlarının oldukça üzerinde ulaşılması da dikkat çekicidir. 250 m/dak kesme hızına göre hızın yarı yarıya azalmasına rağmen aşınma kriterine kadar kesilen mesafe yaklaşık beş katına çıkmıştır. Bu durum, kesme hızının aşınma mekanizmalarını nasıl tetiklediğini ve takım aşınması üzerindeki etkisini açıkça göstermektedir. Bununla birlikte, geleneksel kesme sıvısı ile kesme şartları altındaki kesme deneyleri sonucunda elde edilen Şekil 4.7'deki grafikte birlikte değerlendirildiğinde, 250 m/dak ve 350 m/dak kesme hızlarından elde edilen eğrilerin arasındaki farkın kapanarak eğrilerin üst üste çıkması dikkat çekici bir husustur. MQL ile kesme şartlarında takım talaş ara yüzeyine püskürtülen yağın sürtünmeyi azaltarak abrasiv aşınma mekanizmasını ve sürtünmenin azalmasıyla birlikte azalan sıcaklıkla difüzyon mekanizmasının etkisini azaltarak takım aşınmasının önüne geçtiği görülmektedir. Bu etkili sıcaklığın azalmasıyla birlikte 350 m/dak kesme hızında meydana gelen takım aşınması daha konvansiyonel bir yol izlemiş ve 250 m/dak kesme hızında elde edilen sonuçlara yakın değerler oluşmasını sağlamıştır.



Şekil 4.8 MQL ile kesme şartlarında kesme hızının krater derinliği üzerine etkisi.

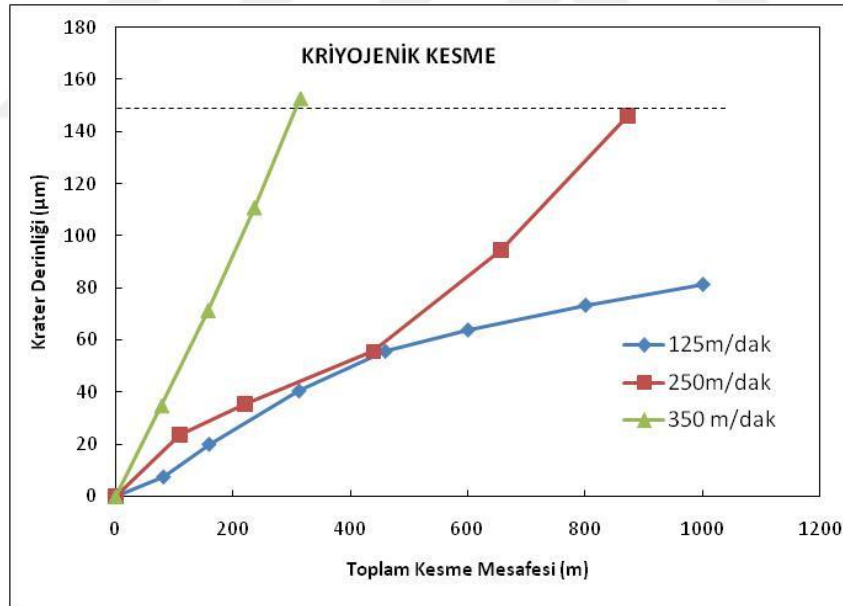
Resim 4.11'de MQL ile kesme şartlarında elde edilen takım yüzeylerinin profilometre görüntüleri verilmiştir. MQL ile yapılan kesme işleminde, yüksek kesme hızlarında (250 m/dak ve 350 m/dak) krater derinliği ve alanı birbirine yakın bir seyir izlemiştir.

En nihayetinde 350 m/dak kesme hızında elde edilen krater alanının daha büyük olduğu buradan da görülmektedir.



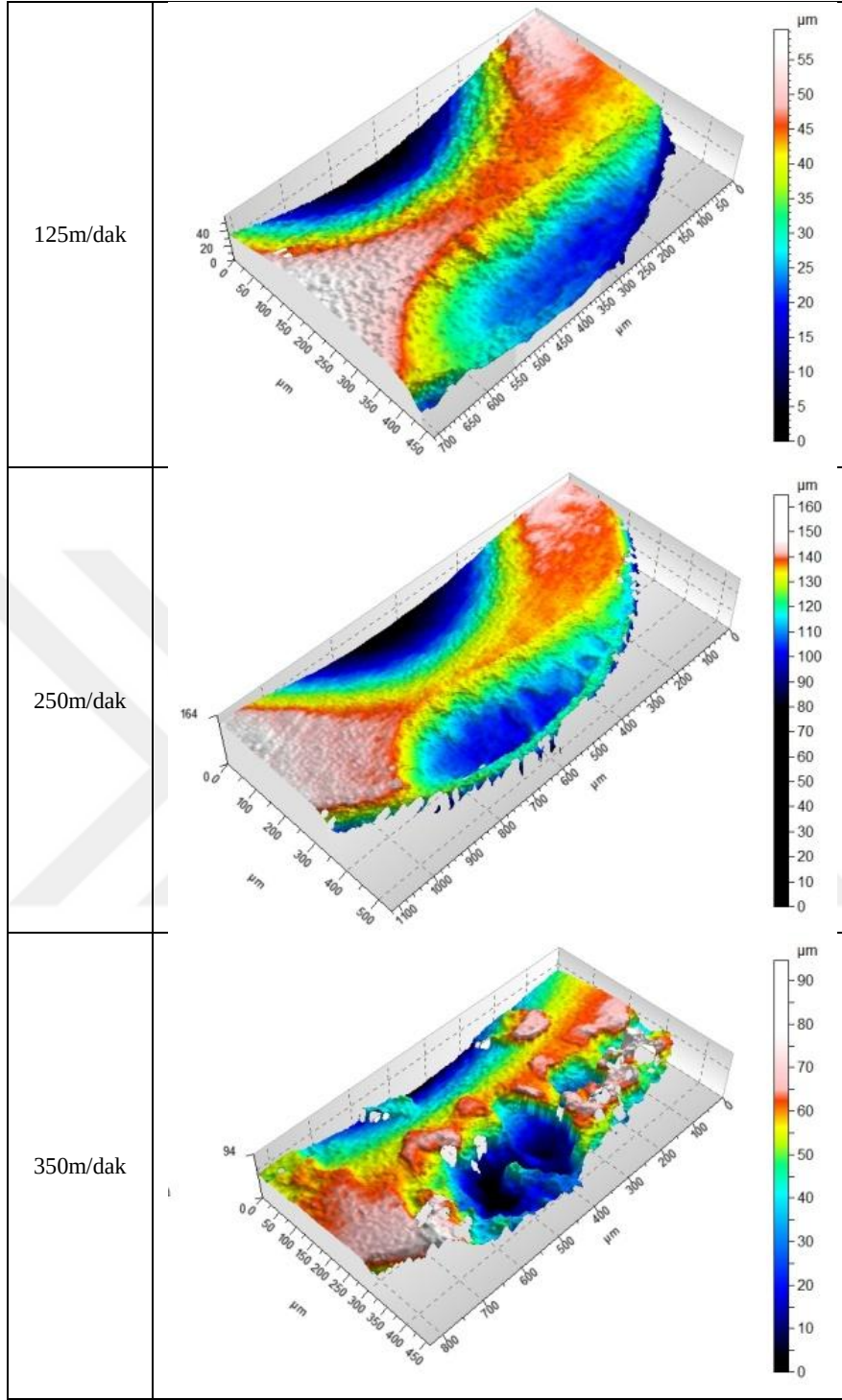
Resim 4.11 MQL ile kesme şartlarında 300 metre kesme mesafesinde kesme hızının takım aşınması üzerindeki etkisi (profilometre sonuçları).

Kriyojenik kesme deneyleri neticesinde elde edilen krater derinliği değişimi Şekil 4.9'da verilmektedir. Kriyojenik soğutma takım aşınması üzerindeki olumlu etkileri grafikten açıkça anlaşılmaktadır. Özellikle 125 m/dak kesme hızında yapılan deneyler sonucunda, aşınma kriteri olan 150 μm değerine yaklaşılamamıştır. Bu hızda serbest yüzey aşınmasında aşınma kriterine ulaşılmasıyla birlikte deneyler sonlandırılmıştır. Bu kesme mesafesinde dahi kriter derinliği 80 μm civarında kalmıştır. Bununla birlikte, kriyojenik soğutma şartlarında da kesme hızının artmasıyla birlikte, krater derinliğinin arttığı grafikten anlaşılmaktadır. Ancak krater derinliklerinin daha düşük seviyelerde olduğu da açıktır. 250 m/dak kesme hızında elde edilen eğri 125 m/dak kesme hızında elde edilen eğriye yaklaşımıştır. Kriyojenik soğutmanın etkisiyle, yüksek kesme hızlarında gördüğümüz termal etkiyle iş parçasının sertliğinin düşmesi durumu burada ortadan kalkmıştır. Deneylerde kullanılan kesme hızları arasında konvansiyonel tornalama işlemlerinde görülen kesme hızının artmasıyla takım aşınmasının da arttığı durumu burada net olarak görülmektedir.



Şekil 4.9 Kriyojenik kesme şartlarında kesme hızının krater derinliği üzerine etkisi.

Resim 4.12'de 350 m/dak kesme hızında kopan talaş parçalarının kratere ve krater etrafına yapıştığı görülmektedir. 125 m/dak ve 250 m/dak kesme hızlarında krater oluşumunun çok düzgün bir seyir izlediği söylenebilir.



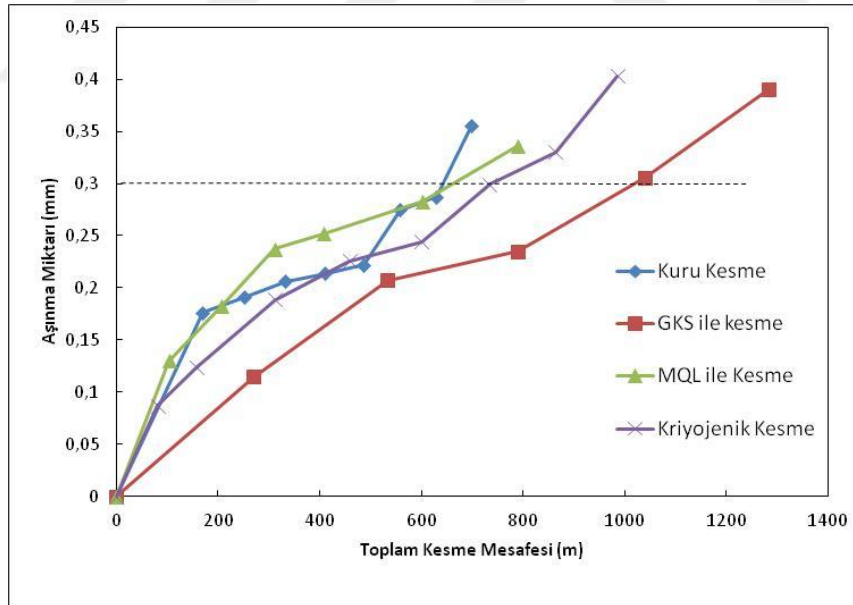
Resim 4.12 Kriyojenik kesme 200 metre kesme mesafesinde kesme hızının takım aşınması üzerindeki etkisi (profilometre sonuçları).

4.2 Kesme Koşullarının Etkisi

4.2.1 Kesme Koşullarının Serbest Yüzey Aşınmasına Etkisi

Farklı kesme koşullarında kesme uzunluğu ile yan yüzey aşınmasının değişimini Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'deki grafiklerle gösterilmektedir. Yan yüzey aşınması (0,3 mm) için takım hasar kriteri, grafiklerde yatay kesikli bir çizgi ile gösterilmektedir.

125 m/dak kesme hızında farklı soğutma sistemleri altında gerçekleşen deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.10'daki grafikte gösterilmiştir. Deneylerde kullanılan kesme hızlarından en düşüğü olan 125 m/dak kesme hızında en uzun takım ömürleri elde edilmiştir. Kuru kesme ve MQL ile kesme şartları altında aşınma kriteri değeri olan 0,3 mm ye 600 metre civarında ulaşılırken, kriyojenik kesme şartlarında bu değer 800 metrelere, geleneksel kesme sıvısı ile kesme şartlarında ise 1000 metrenin üzerine çıkmıştır.

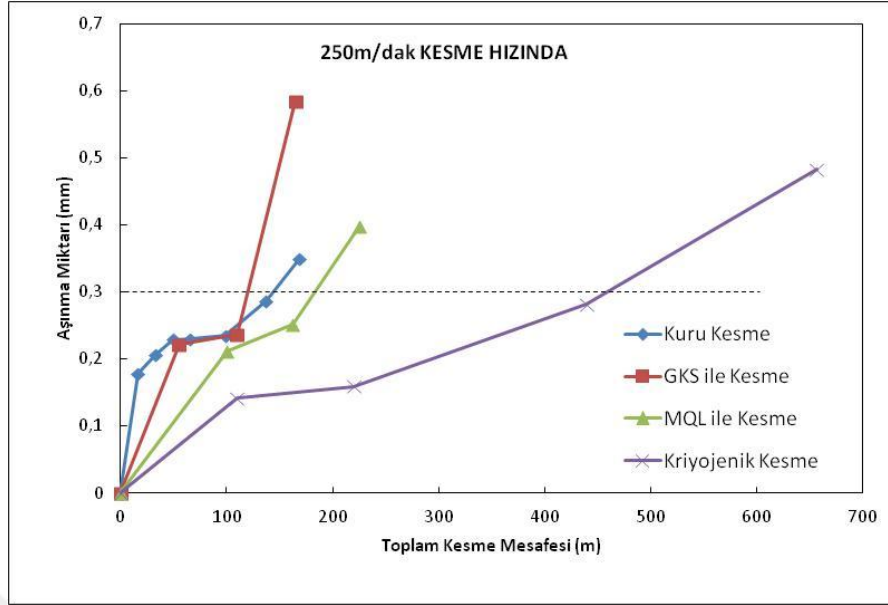


Şekil 4.10 125 m/dak kesme hızında soğutma şartlarının serbest yüzey aşınmasına etkisi.

Kesme sıvısının yoğun bir şekilde kesme bölgesine püskürtülmesiyle kesme bölgesindeki sürtünmeler minimuma indirilmekte böylece geleneksel kesme sıvısı ile kesme şartlarında en uzun takım ömrü elde edilmektedir. Geleneksel kesme sıvısının

soğutma ve yağlama özelliklerinin kombinasyonu takım ömrünü uzatmıştır. Geleneksel kesme sıvısının uygulanması, kesme bölgesindeki sürtünmeyi ve ısıyı aynı anda en aza indirir ve böylece abraziv, adheziv ve difüzyon aşınma mekanizmalarının etkilerini bastırır. Kuru kesme ve MQL ile kesme şartlarında değerlerin bu şekilde yakın çıkmasının nedeni, MQL ile kesme de soğutmadan çok kesme bölgesinde yağlama yaparak iş parçası yüzey kalitesinin iyileştirilmesinin amaçlanmasıdır. MQL ile kesmenin soğutma özelliği ise dolaylıdır. Kesme bölgesinde sürtünme azaltılarak sıcaklığın düşürülmesi hedeflenir. Ancak burada MQL ile yağlamada çok az miktarda yağ kullanıldığı için kesme bölgesindeki yüksek sıcaklığın ve dönme işlemindeki merkezkaç kuvvetinin etkisiyle yağ damlalarının kesme bölgesine ulaşmadan buharlaşması ya da savrulması olabilir. Kriyojenik soğutma şartlarında ise yağlama etkisi olmadığı için soğutma etkisinden dolayı difüzyon mekanizması bastırılmış ancak abraziv aşınma mekanizmasının önüne geçemediğinden dolayı takım aşınmasını geleneksel kesme sıvısı kadar azaltmamıştır. Geleneksel kesme sıvısının hem yağlayıcı hem de soğutucu etkisi olduğundan dolayı aynı anda abraziv ve difüzyon aşınma mekanizmalarını bastırabilmektedir.

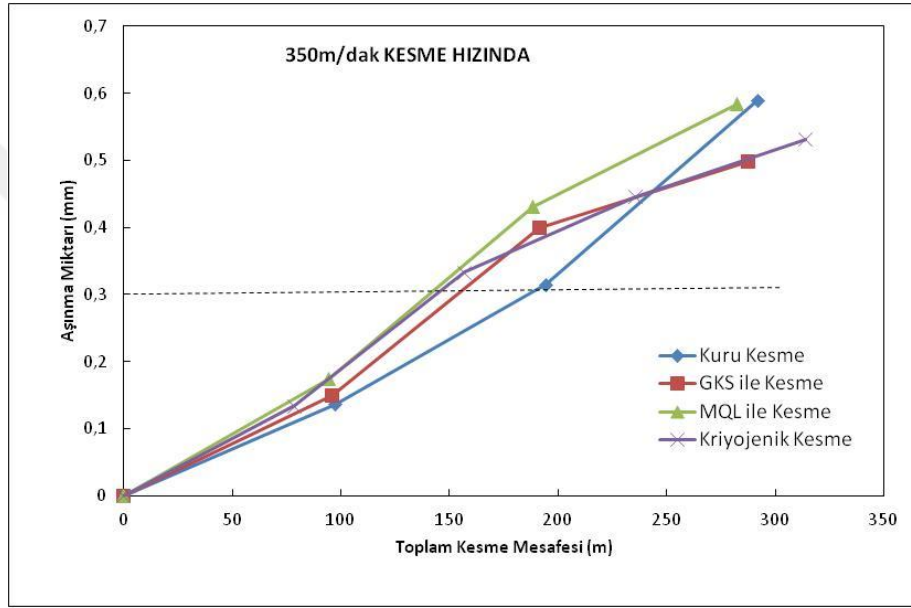
Şekil 4.11’de farklı soğutma şartları altında 250 m/dak kesme hızında serbest yüzey aşınmasının kesme mesafesine göre değişimi grafiği verilmiştir. Diğer soğutma/yağlama koşullarına kıyasla, kriyojenik soğutma koşulları altında 250 m/dak’da (yaklaşık 500 m kesme uzunluğu) önemli bir gelişme gözlemlenmiştir. Yüksek kesme hızlarında, artan kesme sıcaklıkları, kesme sıvısının etkinliğini azaltmaktadır. Islak kesme koşullarının performansı yüksek kesme hızlarında sınırlıdır. Çünkü kesme sıvısı yüksek sıcaklıklarda buharlaşmaya eğilimlidir. Bu durum, kesme sıvısının kesme bölgesine etkin bir şekilde nüfuz etmesini en aza indirir.



Şekil 4.11 250m/dak kesme hızında soğutma/yağlama şartlarının serbest yüzey aşınmasına etkisi.

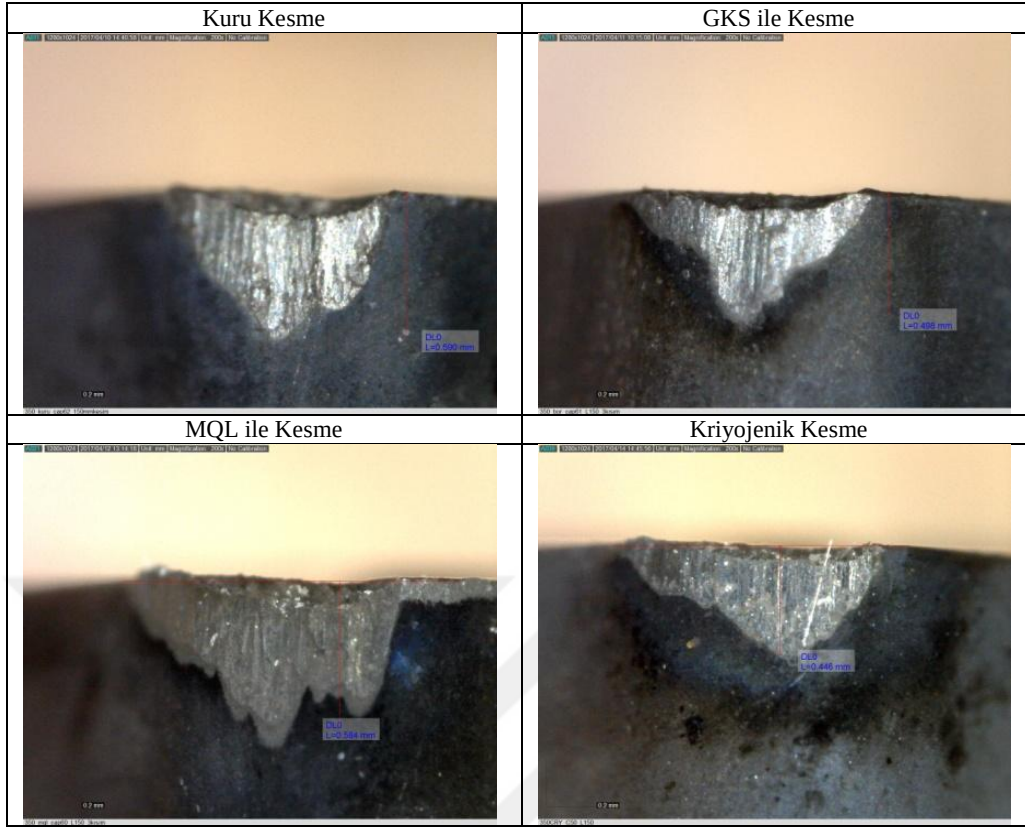
Şekil 4.12’de 350 m/dak kesme hızında farklı soğutma/yağlama sistemlerinde serbest yüzey aşınma miktarının toplam kesme mesafesi ile değişimi grafiği verilmiştir. Serbest yüzey aşınması için aşınma kriteri olarak kabul edilen 0,3 mm aşınma miktarına kuru kesme şartları altında yaklaşık 200 metre civarında ulaşılsa da elde edilen bütün değerler birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bütün kesme şartlarında benzer takım performansları gözlenmiştir (140-150m kesme uzunluğu). Bunun nedeni yüksek kesme hızı sonucunda oluşan sürtünme ve sıcaklığın kesme sıvısının kesme bölgesinde soğutma işlemini tam olarak yerine getirememesidir. Buna ek olarak soğutma/yağlama sıvısının takım ile iş parçası arasındaki etkileşim süresi yüksek kesme hızlarında daha azdır. Bu nedenle kesme sıvısının yararlı etkileri daha az olmaktadır. Yüksek kesme hızlarında oluşan yüksek sıcaklıklar abrasiv ve difüzyon aşınma mekanizmalarını tetiklemiştir. Kriyojenik soğutma şartlarındaki eğri ile geleneksel kesme sıvısı ile soğutma şartlarındaki eğrinin tamamen örtüşmesi dikkat çekicidir. Yüksek kesme hızlarında kesme bölgesine sıvı azotun yetersiz nüfuz etmesiyle, kriyojenik koşullar altında 350 m/dak kesme hızında daha uzun takım ömrü gözlenmemiştir. Yüksek kesme hızlarında, soğutma etkisi çok daha yüksek olan kriyojenik soğutmanın, hem yağlayıcılık hem de soğutma etkisi olan bor yağıyla aynı derecede takım aşınmasını etkilediği söylenebilir. Ancak diğer kesme koşulları ile kıyaslandığında kuru kesme şartlarında en düşük takım aşınması 350 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Bu

durumun ana nedeni, daha yüksek kesme hızlarında artan sıcaklıklardır ve bu da iş parçası malzemesinin daha sünek davranmasına ve daha kolay talaş akışına neden olmasındır. Artan kesme sıcaklıkları, kesici takım malzemesinin ısıl yumuşamasına yol açsa da, bu etkinin iş parçası malzemesinden daha az olduğu söylenebilir. Bu nedenle abrasiv aşınmanın etkilerinin azaldığı düşünülmektedir. Ayrıca Lee ve Lin (1998), daha yüksek kesme sıcaklıklarının Ti-6Al-4V alaşımının mikro sertlik değerlerinde bir azalmaya yol açtıklarını bulmuşlardır.



Şekil 4.12 350m/dak kesme hızında soğutma/yağlama şartlarının serbest yüzey aşınmasına etkisi.

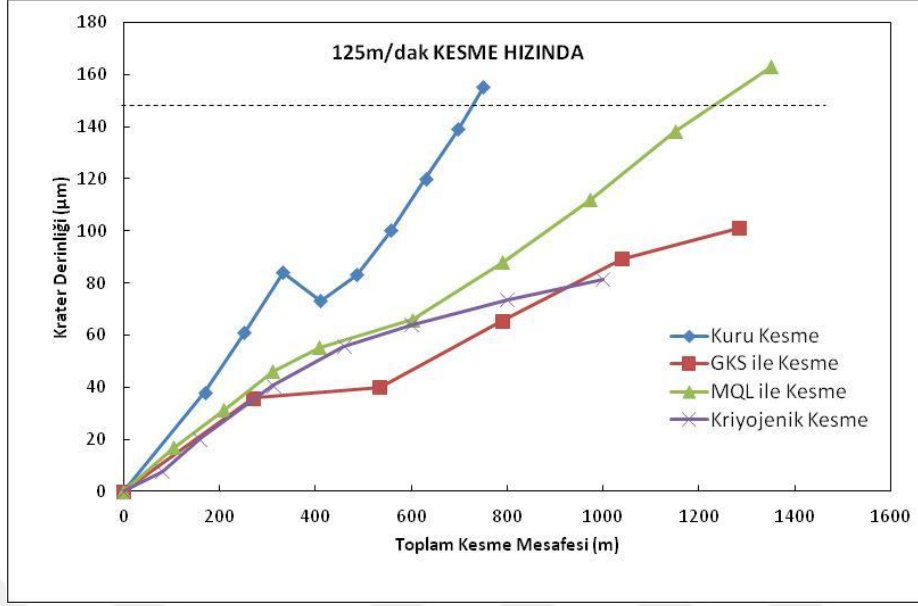
Kesme sıcaklıkları arttıkça, Ti-6Al-4V alaşımının daha yüksek ısı iletkenliğe ve daha düşük gerilme mukavemetine sahip olduğu bilinmektedir (Saini ve diğerleri 2016). Bu nedenlerle, Ti-6Al-4V alaşımının işlenmesi sırasında artan kesme hızları ile daha kolay plastik deformasyon elde edilebilir. Öte yandan, Resim 4.13'te 350 m/dak kesme hızında yaklaşık 300 metre kesme mesafesinde takımda meydana gelen aşınma resimleri tablo halinde verilmektedir. Serbest yüzey aşınması değerleri birbirine yakın değerlerde olduğu soğutucu özelliği daha az olan MQL ve kuru kesme şartlarında daha geniş bir aşınma meydana geldiği gözlemlenmektedir.



Resim 4.13 350 m/dak kesme hızında 300 metre kesme mesafesinde takımda oluşan serbest yüzey aşınması (Dijital mikroskop).

4.2.2 Kesme Koşullarının Krater Aşınmasına Etkisi

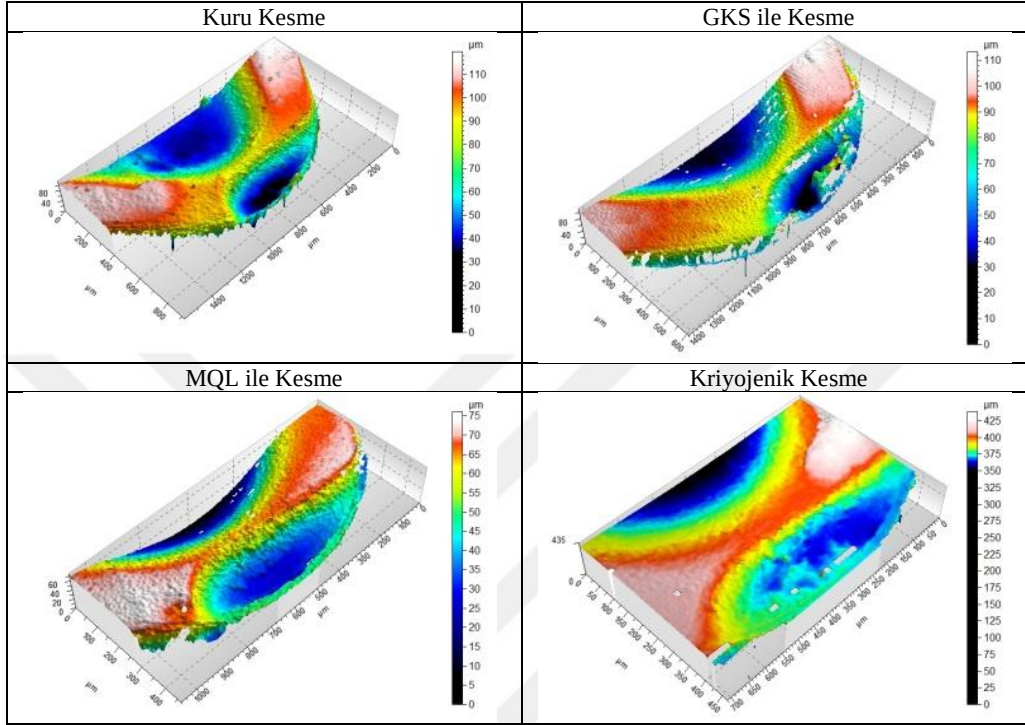
Soğutma/yağlama sistemlerinin krater aşınması üzerindeki etkilerinin araştırılması için yapılan deneylerden 125 m/dak kesme hızında elde edilen veriler Şekil 4.13'te verilen grafikte toplanmıştır.



Şekil 4.13 125m/dak kesme hızında soğutma şartlarının krater derinliği üzerine etkisi.

Bu grafik incelendiğinde, kuru kesme şartları altında beklendiği şekilde, kesme bölgesinde oluşan sıcaklık hızlı transfer edilemediği için abrasiv ve difüzyon aşınma mekanizmaları etkili olmuş ve takım aşınmasını artırarak, takım ömrünün kısalmasında etkili olmuştur. Geleneksel kesme sıvısı ve kriyojenik kesme şartları altında oluşan eğriler incelendiğinde, birbirine yakın değerler elde edildiği görülmekle birlikte, kesme sıvısının biraz daha iyi bir performans gösterdiği söylenebilir. Geleneksel kesme sıvısı yağlayıcılık etkisiyle birlikte abrasiv ve difüzyon aşınma mekanizmalarının etkilerini azaltırken, kriyojenik soğutmanın yüksek soğutma özelliği özellikle difüzyon aşınmasının önüne geçerek aşınmayı azaltmış ve takım ömrünü uzatmıştır. Bu soğutma şartları altında grafik eğrilerinden de anlaşılacağı üzere aşınma kriteri değeri olan 150 µm değerine çok uzun mesafelerde ulaşılacağı anlaşılmış olup, serbest yüzey aşınması değerinin aşınma kriterine ulaşmasıyla deneyler sonlandırılmıştır. MQL ile kesme şartlarında ise aşınma kriteri değerine 1200 metre civarında ulaşılmıştır. Bu değer kuru kesme şartları altında oluşan kriter derinliğinden iyi olsa da, kriyojenik ve geleneksel kesme sıvısı ile kesme şartlarına göre oldukça geridedir. MQL sisteminin soğutucu özelliğinin ön planda olmadığı, daha çok sürtünmeleri azaltarak termal ısınmanın önüne geçmeye çalıştığı daha önce ifade edilmişti. Burada kesme bölgesine püskürtülen yağ damlacıkları kesme bölgesindeki sürtünmeleri azaltarak abrasiv aşınma mekanizmasının bir miktar önüne geçtiyse de, büyük ölçüde bir soğutma etkisi olmadığı

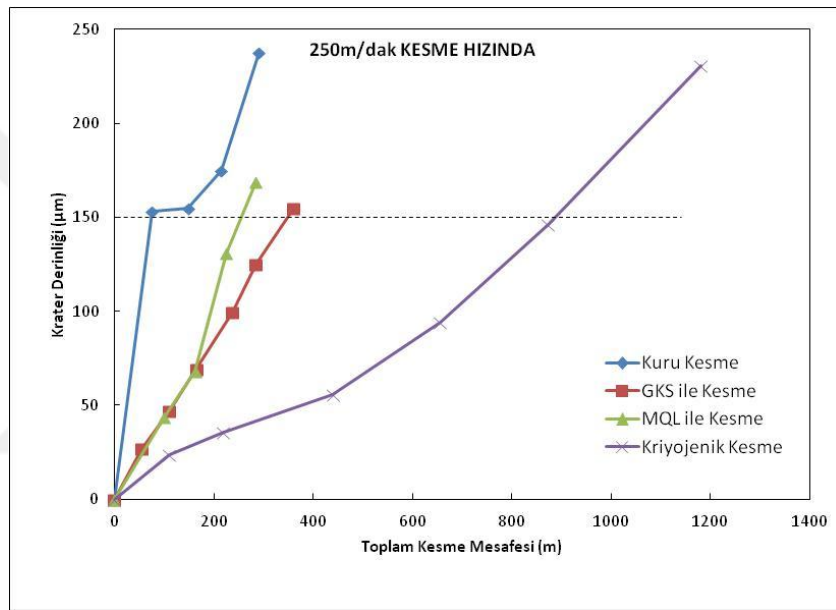
için difüzyon aşınma mekanizmasının etkilerini engelleyememiştir. Resim 4.14’de 125 m/dak kesme hızında yaklaşık 400 metre kesme mesafesinde farklı soğutma/yağlama şartları altında krater oluşumu görülmektedir.



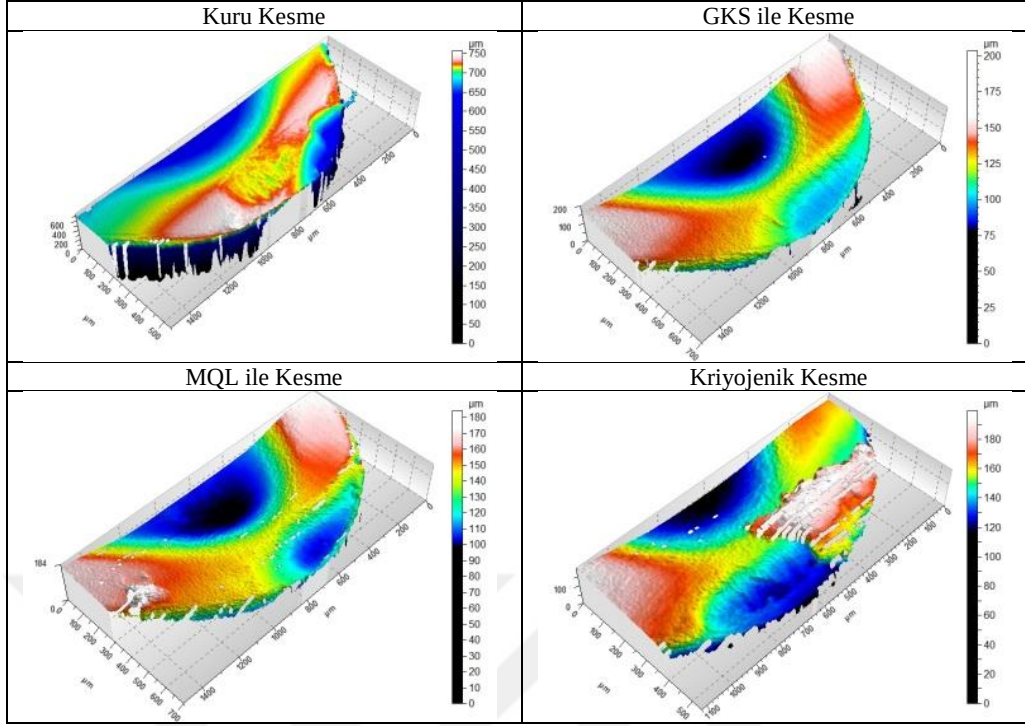
Resim 4.14 125m/dak kesme hızında 400 metre kesme mesafesinde soğutma sisteminin takım aşınması üzerindeki etkisi (profilometre sonuçları).

250 m/dak kesme hızı için yapılan deneyler sonucunda hazırlanan Şekil 4.14’deki grafikte farklı soğutma/yağlama şartları altında krater derinliğinin kesme mesafesi ile değişimi verilmiştir. Kuru kesme şartlarında yapılan deneyler sonrasında elde edilen eğriye bakıldığında, bekleneceği üzere en kısa kesme mesafelerinde en derin krater derinliklerine ulaşıldığı anlaşılmaktadır. Krater aşınmasında etkili olan takım talaş yüzeyi üzerinde meydana gelen abrasiv aşınma ve difüzyon aşınma mekanizmaları yükselen hız ve dolayısıyla yükselen sıcaklıklarla iyiden iyiye etkisini göstermeye başlamıştır. Ayrıca, artan kesme hızlarıyla birlikte kesme bölgesinde oluşan yükselen basınçlarda bu mekanizmaların etkisini artırmaktadır. MQL ve geleneksel kesme sıvısı ile kesme şartlarında yapılan deneyler sonucunda elde edilen eğriler incelendiğinde ilk kesme mesafelerinde birbiriyle örtüşen aşınma miktarları elde edildiyse de geleneksel kesme sıvısı ile kesmenin daha iyi bir performans sergilediği görülmektedir. Geleneksel

kesme sıvısının yüksek yağlayıcılık ve soğutma özellikleri hem abrasiv hem de difüzyon aşınma mekanizmalarının etkilerini azaltmıştır. 250 m/dak kesme hızında ise en iyi performans gösteren soğutma şartı kriyojenik soğutma olmuştur. Sıvı azotun sahip olduğu yüksek soğutma özelliği krater aşınmasında önemli bir mekanizma olan difüzyon aşınmasının önüne geçmiş ve takım ömrünü olumlu yönde etkilemiştir. Resim 4.15'te 250 m/dak kesme hızında yaklaşık 200 metre kesme mesafesinde farklı soğutma şartları altında krater oluşumu profilometre sonuçlarından elde edilen yüzey topograflarıyla verilmiştir.

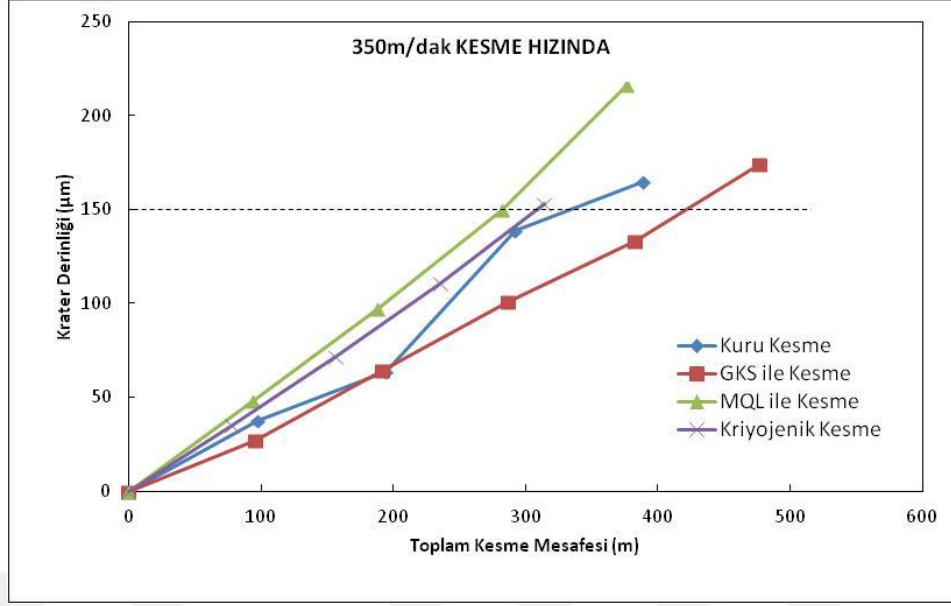


Şekil 4.14 250m/dak kesme hızında soğutma şartlarının krater derinliği üzerine etkisi.



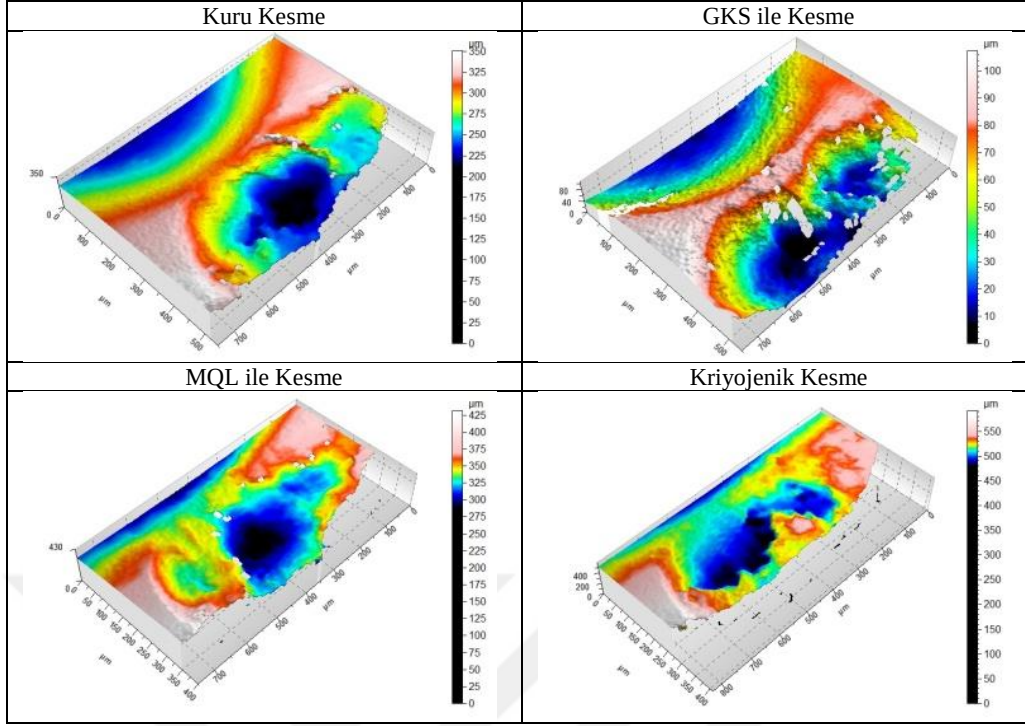
Resim 4.15 250m/dak kesme hızında 200 metre kesme mesafesinde soğutma/yağlama sisteminin takım aşınması üzerindeki etkisi (profilometre sonuçları).

Ti-6Al-4V alaşımının tornalanmasında yüksek bir hız kabul edilen 350 m/dak kesme hızında farklı soğutma/yağlama şartları altında yapılan deneyler sonucunda elde edilen Şekil 4.15'deki grafik incelendiğinde ortaya çıkan eğrilerin birbirine yakın değerler içermeleri dikkat çekicidir. Bu şunu göstermektedir ki, kesme hızı yüksek değerlere çıktıkça, kullanılan soğutma veya yağlama sisteminin etkisi gözle görünür şekilde azalmaktadır. Bununla birlikte farklar küçük olsa da boryağı ile kesme şartlarında takımın bir miktar daha iyi bir performans gösterdiği söylenebilir. Bunun nedeni daha öncede ifade edildiği gibi krater aşınmasında etkili olan abrasiv ve difüzyon aşınma mekanizmalarının geleneksel kesme sıvısının yüksek soğutma ve yağlama özelliği nedeniyle baskılandığıdır.



Şekil 4.15 350m/dak kesme hızında soğutma şartlarının krater derinliği üzerine etkisi.

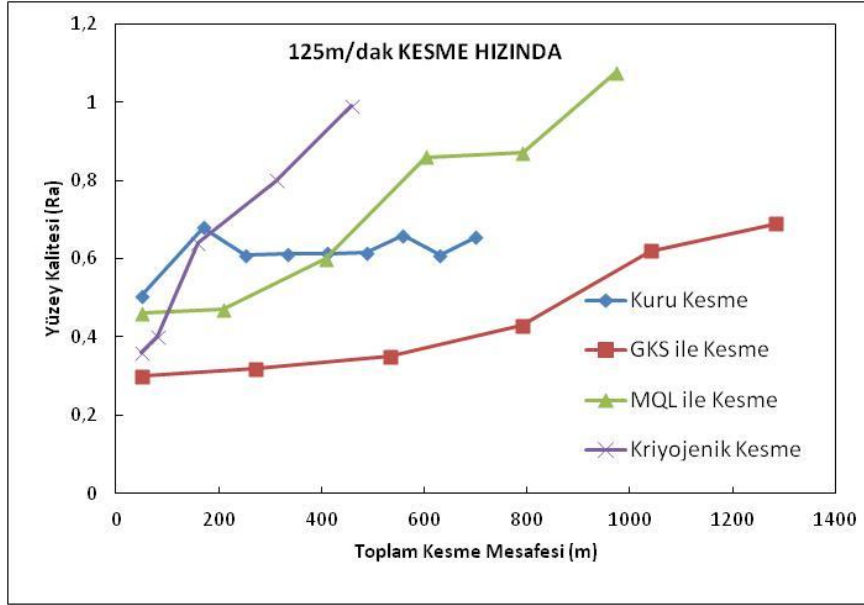
Kriyojenik soğutma şartlarında ise yüksek soğutma kabiliyeti kendini göstermiş ve MQL yağlama sisteminin önüne geçmiş olsada elde edilen sonuçlar birbirine oldukça yakındır. Burada dikkat çekici bir diğer nokta kuru kesme şartları altında elde edilen takım performansının MQL ve kriyojenik soğutma şartlarına göre daha iyi bir şekilde görünmesidir. Buna difüzyon aşınma mekanizmasının neden olduğu yüksek sıcaklık ve basıncın etkisiyle takım ve iş parçası atomlarının bağlarının zayıflayarak birbirine karıştığı bazı durumlarda ortaya çıkan katı çözelti durumu neden olmuş olabilir. Resim 4.16'da 350 m/dak kesme hızında yaklaşık 300 metre kesme mesafesinde farklı soğutma şartlarında oluşan krater aşınması topografyaları verilmiştir.



Resim 4.16 350m/dak kesme hızında 300 metre kesme mesafesinde soğutma/yağlama sisteminin takım aşınması üzerindeki etkisi (profilometre sonuçları).

4.3 Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkileri

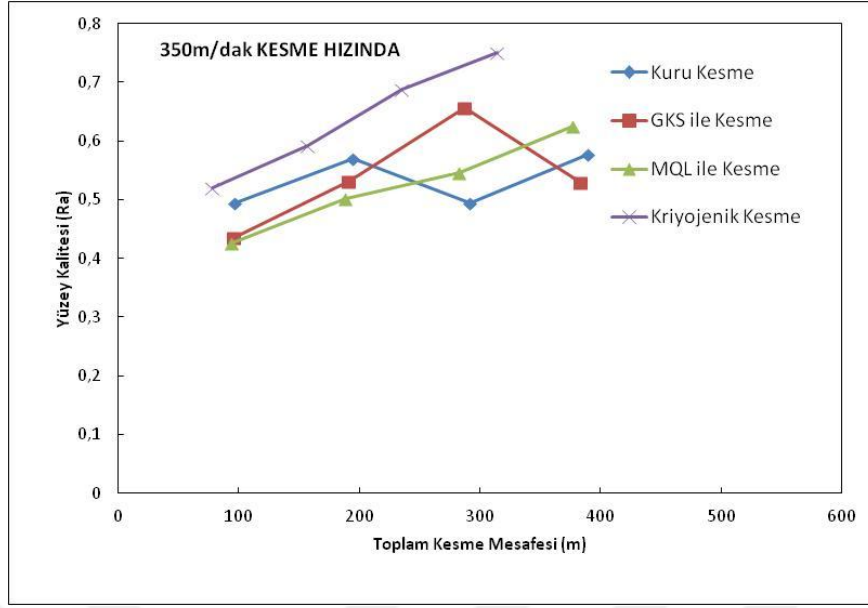
125 m/dak kesme hızında yapılan deneyler sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin toplam kesme mesafesine göre değişimi grafiği Şekil 4.16'da verilmiştir. Grafikten de anlaşılabacağı üzere toplam kesme mesafesine göre en iyi ortalama yüzey pürüzlülük değeri geleneksel kesme sıvısı ile kesme şartlarında elde edilmiştir. Bunun nedeni yoğun olarak kullanılan kesme sıvısının soğutucu özelliğinin yanında yüksek yağlayıcı özelliğinin etkisidir.



Şekil 4.16 125 m/dak kesme hızında soğutma şartlarının yüzey pürüzlülüğü etkisi.

Yüksek soğutuculuk özelliğine rağmen kriyojenik soğutmada ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin artışı dikkat çekicidir. Bunun nedeni yapılan yoğun soğutma işlemiyle iş parçasının sertliğinin artması olabilir. Sıvı azotun yağlayıcılık özelliği de oldukça az olduğu için yüzey pürüzlülük değerinin arttığı düşünülmektedir. MQL ile kesme şartlarında ise 400 metre kesme mesafesine kadar yüzey pürüzlülük değeri kuru kesme ve kriyojenik soğutmadan daha iyi olsa da, merkezkaç kuvvetinin etkisiyle yağ taneciklerinin kesme bölgesine tam nüfuz edememesi ve çok küçük yağ taneciklerinin buharlaşarak etki gösterememesi yüzey pürüzlülüğünü artırmıştır.

Titanyum alaşımların işlenmesinde yüksek bir kesme hızı kabul edilen 350 m/dak kesme hızında yapılan deneyler sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin değişim grafiği Şekil 4.17’de verilmiştir. Bu grafik incelendiğinde yüzey pürüzlülüğü değerlerinin birbirine yakın seyrettiği açıkça görülebilir.



Şekil 4.17 350m/dak kesme hızında soğutma şartlarının yüzey pürüzlülüğü etkisi.

350 m/dak gibi yüksek kabul edilen kesme hızında, kesme bölgesinde oluşan yüksek sıcaklıklar nedeniyle kesme sıvısının etkisini kaybettiği ve kesme işleminde kuru kesme karakteristiklerinin görüldüğü söylenebilir. Grafiklerde dikkati çeken düzensizlikler, örneğin geleneksel kesme sıvısı ile kesme şartlarında 300 metre kesme mesafesinden sonra görülen iyileşme, kuru kesme şartlarındaki iyileşmeler ve kötüleşmeler, işlem sırasında meydana gelen takım aşınması sonucunda takımın kesici ucundaki geometrisinin değişmesinin bir sonucudur. Daha önce yapılan çalışmalarda da ortaya konulduğu üzere; takımlardaki ani aşınmaların bir sonucu olarak burun yarıçapının artarak daha iyi yüzey kalitesi elde edilmesi durumu burada da göze çarpmaktadır.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

- Kuru kesme şartlarında kesme hızının artmasıyla birlikte artması beklenen serbest yüzey aşınması miktarı, 250 m/dak kesme hızının üzerindeki hızlarda kesme bölgesinde ortaya çıkan yüksek sıcaklığın etkisiyle iş parçasında meydana gelen termal yumuşama sonucunda azalmaktadır.
- Geleneksel kesme sıvısı ile kesme şartlarında yapılan soğutma ve yağlamanın sonucunda termal yumuşamanın etkisinin azalarak serbest yüzey aşınması miktarı artmıştır.
- MQL ile soğutma şartlarında 250 m/dak ve 350 m/dak hızlarda aşınma miktarları hemen hemen aynı olurken, kriyojenik kesme şartlarında sıvı azoton etkisiyle iş parçasında termal yumuşama etkisi kaybolmuş ve aşınma miktarları beklenildiği şekilde oluşmuştur.
- Krater aşınması üzerinde de yüksek kesme hızlarında iş parçasında meydana gelen termal yumuşama etkisi oluşmaktadır.
- 250 m/dak ve üzerindeki kesme hızlarında oluşan krater aşınmasında, termal yumuşama etkisiyle, serbest yüzey aşınmasında ki karakteristiklerin oluştuğu görülmüştür.
- 125m/dak kesme hızında serbest yüzey aşınması ve krater aşınması değerleri beklendiği şekilde oluşmakta ve kesici takıma, aşınma kriterine ulaşmadan önce daha yüksek kesme hızlarına göre çok fazla miktarda iş yaptırılabilir.
- 125 m/dak kesme hızında geleneksel kesme sıvısı ile soğutma yapılmasının krater ve serbest yüzey aşınması açısından en olumlu etkiyi yaptığı görülmüştür. Kriyojenik soğutmanın ise geleneksel kesme sıvısına en yakın olumlu etkiyi yaptığı gözlemlenmiştir.
- 125 m/dak kesme hızında geleneksel kesme sıvısı ve kriyojenik soğutma şartlarında, krater aşınması açısından çok yüksek kesme mesafeleri alınmasına rağmen aşınma kriterine ulaşamamıştır.
- Kesme hızının 350 m/dak gibi çok yüksek hızlara çıktığı durumlarda uygulanan soğutma sisteminin hiçbir etkisi olmadığı, hem krater aşınmasında hem serbest yüzey aşınmasında ve ayrıca iş parçasının yüzey kalitesinde kuru kesme karakteristiklerinin oluştuğu görülmüştür.

- 125m/dak kesme hızında ve geleneksel kesme sıvısı ile kesme şartlarında en iyi yüzey pürüzlülüğü değerlerinin elde edildiği görülmüştür.
- Takımın kesici uç yarıçapının büyümesi yüzey kalitesini olumlu yönde etkilemektedir. 250 m/dak ve daha yüksek kesme hızlarında takım aşınmasından kaynaklı kesici uç yarıçapının ani değişimleri yüzey kalitesini olumlu etkileyebilmektedir.
- Ti-6Al-4V alaşımının işlenmesinde işleme şartlarının seçimi, kesme hızı dikkate alınarak yapılmalıdır.
- Termal yumuşamanın takım ömrü üzerindeki olumlu etkilerini tespit etmek için kuru kesme şartlarında daha yüksek kesme hızlarında çalışmalar yapılabilir.
- Titanyum alaşımları, uzun takım ömrü ve iyi yüzey kalitesi elde edilerek yüksek hızlarda işlenilebilmesi için bundan sonraki çalışmalarda hibrit soğutma sistemleri üzerinde durulabilir.

6. KAYNAKLAR

- Akkurt, M. (2000). Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları. Birsen Yayınevi.
- Akyol, S. (2007). Ti-6Al-4V titanyum alaşımının işlenebilirliğinin ısıtıl işlem yardımıyla artırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alava, L.A. (2008). Multistage Cryogenic Treatment Of Materials: Process Fundamentals And Examples Of Application. Cryobest International, S.L. Vitoria, Spain.
- Altıntaş, Y. (2000). “Manufacturing Automation”, Cambridge University Press.
- Aronson, R.B. (1994). Machine Tool 101: Part 6, Machine Servers. *Manufacturing Engineering*, **6**: 47-52.
- Arrazola, P.J., Garaya, A., Iriarte, L.M., Armendia, M., Marya, S., Maitre, F.L. (2009). Machinability of Titanium Alloys (Ti-6Al-4V and Ti555.3). *Journal of Materials Processing Technology*, **209**: 2223-2230.
- Aslan, E. (2005). Experimental investigation of cutting tool performance in high speed cutting of hardened X210 Cr12 cold-work tool steel (62 HRC). *Materials and Design* **26**: 21–27.
- ASM Handbook, (1990). 10. Edition, Volume 2 Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, Introduction to Titanium and Titanium Alloys, 1770.
- Aydın, B. (2002). AA2014 Alaşımında Yaşlandırma Isıl İşleminin İşlenebilirlik Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bamford, E. (2016). Tool wear in Turning of titanium alloy Ti-6Al-4V. Yüksek Lisans Tezi, Uppsala Üniversitesi, Uppsala, İsveç.
- Bargel, H. J., Schulze, G. (1980). Malzeme Bilgisi Cilt-2. MBEAE Matbaası, Gebze.
- Cantero, J.L., Tardío, M.M., Canteli, J.A., Marcos, M., Miguélez, M.H. (2005). Dry drilling of alloy Ti-6Al-4V. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, **45**: 1246-1255.
- Çakır, M.C. (1999), “Modern Talaslı İmalatın Esasları”, V_PAS AS., Bursa.
- Çiftçi, İ. (2005). Kesici takımlar ve kesme teorisi ders notları. Z.K.Ü. Karabük Teknik

- Eğitim Fakültesi Ders Notları, Karabük, 3-15.
- Çoğun C., Özses B. (2002). Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 17, **1**: 59 – 75.
- Demir, H., Ulas, H.B., Zeyveli, M. (2009). Talaşlı üretimde kullanılan kesme sıvılarından istenen özellikler. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Türkiye.
- Donachie, M. J. Jr., (2000). Titanium: A Technical Guide, Second Edition. ASM International, Metals Park, Ohio, USA.
- Ensarioğlu, C., Çakır, M.C. (2005). Titanyum ve Alaşımlarının İşlenebilirlik Etüdü 1. Bölüm. *Mühendis ve Makine*, Cilt: 46 Sayı: 546.
- Ensarioğlu, C., Çakır, M.C. (2005). Titanyum ve alaşımlarının işlenebilirlik etüdü 2. Bölüm, *Mühendis ve Makine*, Cilt: 46 Sayı: 547.
- Ezugwu, E.O., Bonney, J., Yamane, Y. (2003). An overview of machinability of aeroengine alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, **134**: 233–253.
- Ezugwu, E.O., Da Silva, R.B., Bonney, J., Machado, A.R. (2005). Evaluation of the performance of CBN tools when turning Ti–6Al–4V alloy with high pressure coolant supplies. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, **45**: 1009-1114.
- Gadelmavla, E.S., Koura, M.M. (2002). Roughness Parameter. *Journal Of Material Processing Technology*, **123**: 133-145.
- Ghani, J.A., Choudhury, A., Masjuki, H. H. (2004). Performance of P10 TiN coated carbide tools when end milling AISI H13 tool steel at high cutting speed. *Journal of Materials Processing Technology*, 153–154, 1062–1066.
- Groover, M.P. (1996). Fundamentals of modern manufacturing – Materials, processes and systems. Prentice-Hall Inc., 220-639.
- Grujicic, M., Narayan, C.P. (1992). A Study of $\beta \rightarrow \alpha''$ Martensitic Transformation Volume Change in Ti-Al-V Alloys. *Materials Science and Engineering, A*, **151**: 217-226.
- Güllü, A. (1995). Silindirik taşlamada istenen yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için taşlama parametrelerinin bilgisayar yardımıyla optimizasyonu. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Gürsakal, N. (2005). “Altı Sigma Müşteri Odaklı Yönetim”, Nobel Yayın Dağıtım, Bursa.
- Hong, S.Y., Ding, Y., Jeong W.C. (2001). Friction and cutting forces in cryogenic machining of Ti-6Al-4V. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, **41**: 2271-2285.
- Aydın, F. (2006) Takım Ömrünün Sebep-Sonuç Diyagramları İle Açıklanması, Yüzey Pürüzlülüğü Ve Takım Ömrüne Etkili Faktörlerin Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Jawaid, A., Sharif, S., Koksai, S. (2000). Evaluation of wear mechanisms of coated carbide tools when face milling titanium alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, **99**: 266-274.
- Joshi, V.A. (2006). Titanium Alloys. Taylor & Francis, London.
- Kara, F., Aslantaş, K. ve Çiçek, A. (2010). Ortogonal kesme işleminde kaplama malzemesinin talaş morfolojisi üzerinde etkisinin araştırılması. 2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi Balıkesir, 11-12 Kasım.
- Kıvak, T. (2012). Kesici Takımlara Uygulanan Kriyojenik İşlemin Ti-6Al-4V Alaşımının Delinebilirliği Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- König, W. (1984). Fertigungsverfahren / Manufacturing Methods, VDI-Verlag, Dusseldorf, Almanya.
- Kurt, A. (2006). Talaş kaldırma sırasında oluşan kesme kuvvetleri ve mekanik gerilmelerin deneysel olarak incelenmesi ve matematiksel modellerinin oluşturulması. Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Lacalle, L.N., Lopez de, P.J., Llorente, J.I., Sanchez, J.A. (2000). Advanced cutting conditions for the milling of aeronautical alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, **100**: 1-11.
- Lee, W-S., Lin C-F. (1998). Plastic deformation and fracture behaviour of Ti-6Al-4V alloy loaded with high strain rate under various temperatures, *Materials Science and Engineering*, **A241**: 48-59.
- Leyens, C., Peters, M. (2003). Titanium and Titanium Alloys-Fundamentals and Applications. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Almanya.
- Mavi, A. (2013). Kesici Takımlara Uygulanan Kriyojenik İşlemin Ti-6Al-4V Titanyum

- Alaşımının İşlenmesinde Kesici Takım Performansının Etkisi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Moiseyev, V.N. (2006). Titanium Alloys: Russian Aircraft and Aerospace Applications. CRC Pres, Boca Raton.
- Nady, A.K., Gowrishanka, M.C., Paul, S. (2009). Some studies on high-pressure cooling in turning of Ti-6Al-4V. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, **49**: 182-198.
- Obikawa, T., Kamata, Y., Shinozuka, J. (2006). High-speed grooving with applying MQL, *Science Direct*, **46**: 1854-1861.
- Özses, B. (2002). Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- Özdemir, U., Erten, M. (2003). Talaşlı İmalat Sırasında Kesici Takımda Meydana Gelen Hasar Mekanizmaları ve Takım Hasarlarını Azaltma Yöntemleri. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, **1**: 37-50.
- Palanisamy, S., McDonald, S.D., Dargusch, M.S. (2009). Effects of coolant pressure on chip formation while turning Ti-6Al-4V alloy. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, **49**: 739-743.
- Saini, A., Pabla, B., Dhama, S., (2016). Developments in cutting tool technology in improving machinability of Ti-6Al-4V alloy: A review. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: *Journal of Engineering Manufacture*, **230**: 1977-1989.
- Sayit, E. (2007). KGDD Malzemeler için Sürekli Olmayan Kesme Şartlarında Takım Ömrü Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Shokrani, A., Dhokia, V., Munoz-Escalona, P., Newman, ST. (2013). State-of-the-art cryogenic machining and processing. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, **26**: 616-648.
- Smith, G.T. (2008). Cutting Tool Technology, Industrial Handbook. Springer-Verlag London Limited.
- Su, Y., He, N., Li, L., Iqbal, A., Xiao, M.H., Xu, S., Qiu, B.G. (2007). Refrigerated cooling air cutting of difficult-to-cut materials. *Science Direct*, **47**: 927-933.

- Su, Y., He, N., Li, L., Li, X.L. (2006). An experimental investigation of effects of cooling/lubrication conditions on tool wear in high-speed end milling of Ti-6Al-4V. *Wear*, **261**: 760-766.
- Sun, J., Guo, Y.B. (2009). A comprehensive experimental study on surface integrity by end milling Ti-6Al-4V. *Journal of Materials Processing Technology*, **209**: 4036-4042.
- Şahin, Y. (2003). Talas Kaldırma Prensipleri Cilt 1. Gazi Kitabevi, Ankara.
- Şeker, U. ve Kurt, A. (2006). The mathematical modelling of the compressive stresses in machining of Inconel 718. *Material Science Forum (Advances in Materials Processing Technologies)*, **526**: 229-234.
- Taktak, Ş. (2002). Plazmada Nitrülenmiş Ti-6Al-4V Alaşımının Difüzyon Kinetiği ve Aşınma Davranışının İncelenmesi. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Trent, E.M. (1989). Metal Cutting. Butterworths Press, London.
- Uçak, N., Çiçek, A. (2017) Talaşlı İmalat Süreçlerinde Kriyojenik Soğutma Uygulamaları Üzerine Bir Araştırma. Acedemic Platform Published in 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 29-30 September (ISITES2017 Baku - Azerbaijan).
- Umbrella, D. (2008). Finite element simulation of conventional and high speed machining of Ti-6Al-4V alloy. *journal of materials processing technology* **196**: 79-87.
- Ünal, E., Karaca, F. (2007). Ti – 6Al – 4V alaşımının dik işlem merkezli cnc tezgahında işlenebilirliğinin araştırılması. Doğu Anadolu Bölge Araştırmaları, 135-139.
- Xie, L. (2004). Estimation Of Two-dimension Tool WearBased On Finite Element Method. Doktora Tezi, Karlsruhe Üniversitesi, Üretim Mühendisliği Enstitüsü, Karlsruhe, Almanya.
- Venugopal, K.A., Paul, S., Chattopadhyay, A.B. (2007). Tool wear in cryogenic turning of Ti-6Al-4V alloy. *Cryogenics*, **47**: 12-18.
- Walker, T. (2013). The MQL Handbook. Copyright, Unist, Inc. V1.0.3.
- Wang, Z.G., Rahman, M., Wong, Y.S. (2005). Tool wear characteristics of binderless CBN tools used in high-speed milling of titanium alloys. *Wear*, **258**: 752-758.
- Yeyen H. E. (2006). AISI 303 Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinin deneysel

olarak araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Zeilmann, R.P., Weingaertner, W.L. (2007). Analysis of temperature during drilling of Ti6Al4V with minimal quantity of lubricant. *Journal of Material Processing Technology*, **179**: 124-127.

İnternet Kaynakları

- 1) <https://mekanikel.com/hizmetlerimiz/talasli-imalat/>, 03.01.2019
- 2) <http://www.cnctaslama.net/>, 03.01.2019
- 3) <http://mmc-permanent.learnways.com/courses/75/causes-of-tool-damage.html>, 02.01.2019
- 4) <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/general-turning/pages/troubles-hooting.aspx>, 02.01.2019
- 5) <https://www.iscar.com/Products.aspx/CountryID/1/ProductId/5390> , 02.01.2019
- 6) <https://www.americanmachinist.com/machining-cutting/air-products-cry-machining-process-gets-distributor>, 03.01.2019
- 7) <http://www.kobelco.co.jp/english/titan/characteristic/index.html> , 28.05.2018

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Osman KILIÇ
Doğum Yeri ve Tarihi : Afyonkarahisar / 20 Ocak 1984
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0555 720 04 17 / o_kilic84@hotmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Afyon Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi, (1997-2001)
Lisans : Pamukkale Üniversitesi, Makine Mühendisliği
Bölümü, (2001-2006)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri
Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı,
(2012-2019)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Süperkal Isıtma Sistemleri Ltd. Şti. (2006-2007)
Yetişkin Isıtma Sistemleri (2008-2012)
Afyonkarahisar İl Özel İdaresi (2012-Devam)