



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Ti-6Al-4V ALAŞIMININ FREZELENMESİNDE
KESME PARAMETRELERİNİN
İŞLENEBİLİRLİLİĞE VE TAKIM
AŞINMASINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Ahmet KARABIYIK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

NİSAN-2016
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ahmet KARABIYIK tarafından hazırlanan “Ti-6Al-4V Alaşımının Frezelenmesinde Kesme Parametrelerinin İşlenebilirliğe ve Takım Aşınmasına Etkisinin Araştırılması” adlı tez çalışması 25.04.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Çetin ÖZAY

Danışman

Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Üye

Yrd. Doç. Dr. Oktay ADIYAMAN

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. M. Tahir NALBANTÇILAR
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Ahmet KARABIYIK

Tarih: 25/04/2016

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ti-6Al-4V ALAŞIMININ FREZELENMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN İŞLENEBİLİRLİLİĞE VE TAKIM AŞINMASINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Ahmet KARABIYIK

**Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

2016, 49 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Doç. Dr. Çetin ÖZAY

Yrd. Doç. Dr. Oktay ADIYAMAN

Ti-6Al-4V alaşımı, düşük sertlik, yüksek mukavemet ve mükemmel korozyon direnci gibi özelliklerden dolayı uzay, kimya ve tıbbi uygulamalarda kullanımını arttırmıştır. Ancak bu özellikler Ti-6Al-4V alaşımların işlenmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada, Ti-6Al-4V alaşımının 8 mm çapındaki sert karbür (WC) ve TiN kaplı HSS parmak freze çakılarıyla frezelenmesinde kesme parametrelerinin frezelenen bölgeye ve kesici takıma etkileri incelenmiştir. Frezeleme deneylerinde kesme hızları 5, 10, 15 m/dak, ilerleme 0.05, 0.75, 0.1 mm/dev, kesme derinliği ise 2 mm olarak seçilmiştir. Ayrıca deneylerde kesme sıvısı kullanılmamıştır. DeneySEL çalışma sonunda kesme hızı, ilerleme ve kesici takım cinsinin; kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması, çapak yüksekliği ve kanal sapmalarında önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Her iki kesici takımda da kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinin, yüzey pürüzlülüğünün ve çapak yüksekliğinin azaldığı, ilerleme arttıkça kesme kuvvetlerinin, yüzey pürüzlülüğünün ve çapak yüksekliğinin arttığı görülmüştür. Hem kesme hem de ilerlemenin artması aşınmayı arttırmıştır. Kesme hızına göre ilerlemenin artmasıyla kanal sapmaları nominal ölçüye yakın bir değerde elde edildiği görülmüştür. Frezelenen kanalın girişindeki sapmanın çıkışındakinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Ti-6Al-4V alaşımın frezelenmesinde tüm sonuçlar için en ideal sonuçlar sert karbür (WC) parmak frezede elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aşınma, Çapak Yüksekliği, Frezeleme, Titanyum, Yüzey Pürüzlülüğü.

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF EFFECT ON MACHINABILITY AND TOOL WEAR OF CUTTING PARAMETERS IN MILLING OF Ti-6Al-4V ALLOY

Ahmet KARABIYIK

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

2016, 49 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Assoc. Prof. Dr. Çetin ÖZAY

Asst. Prof. Dr. Oktay ADIYAMAN

Ti-6Al-4V alloy has increased its use in aeronautics, chemistry and medical applications owing to various properties such as low hardness, high strength and excellent corrosion resistance. However, these properties complicate the machining of Ti-6Al-4V alloy. Therefore, in this study, the effect of cutting parameters on milling zone and cutting tools were investigated by the hard carbide (WC) and TiN coated HSS end mills with 8 mm diameters of Ti-6Al-4V alloy in milling. The following parameters were chosen in milling experiments: cutting speeds 5, 10 and 15 m/min, feed rates 0.05, 0.075 and 0.1 mm/rev and depth of cut 2mm. Also, cutting fluids were not used in the experiments. As a result of the experimental study, it was seen that cutting speed, feed rate and type of cutting tool important had significant effects on cutting force, tool wear, surface roughness, burr height and channel deviation. In both cutting tools, it was seen that as cutting speed increased, the cutting forces, surface roughness and burr heights reduced; on the other hand, as the feed rate increased, cutting forces surface roughness and burr heights increased. Tool wear increased with increasing of the both cutting speed and the feed rate. It was observed that a value close to the nominal size was obtained in channel deviations with the increasing of feed rate compared to cutting speed. It was seen that deviation in the milling channel input was higher than that of its output. For all results, optimum results were obtained from hard carbide (WC) end mills in the milling Ti-6Al-4V alloy.

Keywords: Wear, Burr High, Milling, Titanium, Surface Roughness.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında titanyum ve alaşımlarının talaşlı olarak işlenmesi için yapılmış bilimsel çalışmalara ve genel bilgilere yer verilerek Ti-6Al-4V alaşımının frezelenmesinde kesme parametrelerinin işlenebilirliğe ve takım aşınmasına etkileri incelenmiştir.

Öncelikle tez konusunu seçerken isteklerimi göz önünde bulunduran, çalışmalarım boyunca bana yol gösteren ve takıldığım konularda çözümlere ulaşmam için bilgilerini esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK'e teşekkürü bir borç bilirim. Tüm eğitim hayatım boyunca bana çok değerli bilgiler kazandıran tüm hocalarıma ve desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Ahmet KARABIYIK
BATMAN-2016

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLoların LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER.....	xii
KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Çalışması.....	2
2. GENEL BİLGİLER.....	5
2.1. Titanyum ve Alaşımları	5
2.1.1. Titanyum ve alaşımlarının metalürjisi ve yapısal bütünlüğü.....	5
2.1.2. Titanyum alaşımlarının işlenmesini zorlaştıran nedenler	6
2.1.3. Kesme parametrelerinin titanyum alaşımları üzerine etkisi	7
2.1.4. Titanyum alaşımlarının işlenmesinde oluşan sıcaklık, gerilme ve takım aşınması	8
2.2. Frezeleme İşlemi.....	11
2.2.1. Frezelemede talaş oluşumu.....	12
2.2.2. Yüzey kalitesi	13
3. Ti-6Al-4V ALAŞIMININ FREZELEME DENEYLERİ	16
3.1. Çalışmanın Amacı.....	16
3.2. Materyal ve Yöntem	16
3.3. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi	21
3.4. Çapak Yüksekliği, Kanal Genişliği ve Takım Aşınmasının Belirlenmesi.....	21
4. DENEYSEL SONUÇLAR	22
4.1. Frezeleme Deneylerinde Oluşan Talaş Tipleri	22
4.2. Ti-6Al-4V Alaşımının Frezelenmesinde Sıcaklık Oluşumu.....	23
4.3. Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvvetleri Üzerine Etkisi	25
4.4. Ti-6Al-4V Alaşımının Frezelenmesi Sonucu Oluşan Takım Aşınması	28
4.5. Frezelenen Kanallarda Oluşan Yüzey Pürüzlülüğü	32
4.6. Frezelenen Kanallarda Oluşan Çapak Yüksekliği	34
4.7. Kesme Parametrelerinin Frezelenen Kanal Genişliğindeki Etkisi.....	37

4.8. Frezelenen Ti-6Al-4V Alaşımının Matematiksel Modellenmesi	38
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	40
5.1. Sonuçlar	40
5.2. Öneriler	41
KAYNAKLAR	42
EK 1: Matlab Kodları.....	44
ÖZGEÇMİŞ	50



TABLoların LİSTESİ

Tablo	Sayfa
Tablo 3.1. Ti-6Al-4V alaşımasının mekanik özellikleri.....	16
Tablo 3.2. Ti-6Al-4V alaşımasının kimyasal özellikleri	16
Tablo 3.3. Ti-6Al-4V alaşımasının frezelenmende kullanılan kesme parametreleri.....	18
Tablo 3.4. 8 mm çapa sahip WC ve TiN kaplı HSS freze çakılarıyla Ti-6Al-4V alaşımasının frezelenmesi için çıkartılan CNC kodları.....	19
Tablo 4.1. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak Ti-6Al-4V'nin frezelenmesinde ölçülen kesme kuvvetlerinin değerleri	26
Tablo 4.2. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak parmak frezelerde oluşan takım aşınması	31
Tablo 4.3. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri	32
Tablo 4.4. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak frezelenen kanallarda oluşan çapak yüksekliği.....	35
Tablo 4.5. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak TiN Kaplı HSS kesici takımla frezelenen kanalların giriş ve çıkışlarında ölçülen değerler	37
Tablo 4.6. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak WC kesici takımla frezelenen kanalların giriş ve çıkışlarında ölçülen değerler	37
Tablo 4.7. Kesme kuvveti, takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve çapak yüksekliğiformüllerine ait sabit değerler	39

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Titanyum ve çeliğin işlenmesi esnasında oluşan ısı dağılımı (Konig, 1979)...	9
Şekil 2.2. Bazı malzemelerin talaşlı imalatla oluşan Normal ve Tanjant gerilmeleri (Konig, 1979).....	10
Şekil 2.3. Yüzeylerin ve profillerin grafiklerle gösterilişi (www.ybu.edu.tr)	14
Şekil 2.4. Aritmetik ortalama pürüzlülük (Ra) (www.korozyondoktoru.org).....	15
Şekil 2.5. Ortalama pürüz yüksekliği (Rz) (www.korozyondoktoru.org)	15
Şekil 3.1. TiN kaplı HSS Freze Çakısı	17
Şekil 3.2. WC Freze Çakısı	17
Şekil 3.3. CNC freze tezgahı ile dinamometre bağlantısı.....	18
Şekil 3.4. CNC freze tezgahına bağlanan Ti-6Al-4V alaşımı	18
Şekil 3.5. TiN kaplı HSS freze çakısıyla açılan 2. freze kanalı.....	20
Şekil 3.6. Ti-6Al-4V alaşımının freze çakısıyla kanal açılması	20
Şekil 4.1. Kesme parametrelerine bağlı olarak oluşan talaş tipleri	22
Şekil 4.2. TiN kaplı HSS takım ile işlenen alaşımın kanal girişinde oluşan sıcaklık.....	23
Şekil 4.3. WC kesici takım ile işlenen alaşımının kanal girişinde oluşan sıcaklık.....	23
Şekil 4.4. TiN kaplı HSS kesici takım ile kanal açılan yerin dışından ısı merkezine doğru oluşan sıcaklık	24
Şekil 4.5. WC kesici takım ile kanal açılan yerin dışından ısı merkezine doğru oluşan sıcaklık	24
Şekil 4.6. TiN kaplı HSS kesici takım ile ölçülen kuvvet diyagramı	25
Şekil 4.7. WC kesici takım ile ölçülen kuvvet diyagramı	26
Şekil 4.8. TiN kaplı HSS parmak frezeden kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen kesme kuvvetleri (N).....	27
Şekil 4.9. WC parmak frezeden kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen kesme kuvvetleri (N).....	27

Şekil 4.10. TiN kaplı HSS parmak frezenin uç kesitinde oluşan aşınma	29
Şekil 4.11. TiN kaplı HSS parmak frezenin uç kenarlarında oluşan aşınma.....	30
Şekil 4.12. TiN kaplı HSS parmak frezeden kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen takım aşınma değerleri	31
Şekil 4.13. WC parmak frezeden kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen takım aşınma değerleri.....	32
Şekil 4.14. TiN kaplı HSS parmak frezeden kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü.....	33
Şekil 4.15. WC parmak frezeden kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü.....	33
Şekil 4.16. 5 m/dak kesme hızı ve 0.05 mm/dev ilerleme ile frezelenen kanallarda oluşan çapak görüntüsü.....	35
Şekil 4.17. Kesme parametrelerine bağlı olarak TiN kaplı HSS parmak freze ile açılan kanallarda oluşan çapak yüksekliği	36
Şekil 4.18. Kesme parametrelerine bağlı olarak WC parmak freze ile açılan kanallarda oluşan çapak yüksekliği	36

SİMGELER

d	Kesici takımın çapı (mm)
h	Çapak yüksekliği (mm)
$h_{\text{TiN-HSS}}$	TiN kaplı HSS parmak freze için çapak yüksekliği (mm)
h_{WC}	WC parmak freze için çapak yüksekliği (mm)
n	Dönme devri (d/d)
Ra	Ortalama yüzey pürüzlülüğü (μm)
$Ra_{\text{TiN-HSS}}$	TiN kaplı HSS parmak frezede için ortalama yüzey pürüzlülüğü (μm)
Ra_{WC}	WC parmak freze için ortalama yüzey pürüzlülüğü (μm)
s	İlerleme (mm/dev)
u	Dakikadaki ilerleme miktarı (mm/dak)
V	Kesme hızı (m/dak)
VB	Ortalama serbest yüzey aşınması
$VB_{\text{TiN-HSS}}$	TiN kaplı HSS parmak freze için ortalama serbest yüzey aşınması (mm)
VB_{WC}	WC parmak freze için ortalama serbest yüzey aşınması (mm)
T	Takım ömrü
W	İşlenen yüzeye dik aşınma boyu
W_o	Bağıl aşınma (μm)
l_m	Kesme boyu (mm)
t	Zaman

KISALTMALAR

BCBN	Bağlayıcısı az olan kübik bor nitrür
CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)
CBN	Kübik bor nitrür
HSS	High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)
SEM	Elektron mikroskop
WC	Sert karbür
TiN	Titanyum Nitrür
PEPE	Perfluoropolieten
EDC	Elektro Erozyon ile işleme

1. GİRİŞ

Yüksek mukavemet, düşük ağırlık oranı, iyi şekillendirilebilme, üstün korozyon direnci gibi özelliklere sahip olan titanyum ve alaşımları havacılık, deniz, kimya, petrokimya endüstrisi ve mühendislik gibi pek çok alanda kullanımını geleneksel malzemelerin kullanım sınırlılığından dolayı arttırmıştır(Farias ve Ark., 2013).

Titanyum alaşımlarının yüksek mukavemeti, yüksek sıcaklıkta metalografik kararlılığı ve akış oranının düşüklüğü, füze motoru ve yakıt tankları gibi havacılık uygulamalarında, bıçak ve disk gibi jet motoru bileşenlerinde kullanımını önemli ölçüde arttırmıştır. İyi mukavemet ve düşük ağırlık oranından dolayı uçak gövdelerinin iniş takımları, kirişleri, hidrolik hatları, kanat kutuları, tutucuları ve cıvatalarında da kullanımını artırmıştır. Bu alaşımlar, asidik atmosfere ve deniz suyuna dayanıklı olduğundan dolayı korozyona karşı dayanıklıdır. Bu durum titanyum alaşımlarının, deniz uygulamalarında kullanılmasını yaygınlaştırmıştır. Ayrıca biyomedikal uygulamalarda da avantajlar sağlamıştır. Çünkü titanyum ve alaşımları insan sıvısı ve dokusuna uyumlu bir kaç malzeme türünden birisidir. Özellikle kemik ve diş uygulamalarında protez araç olarak kullanılmaktadırlar (Farias ve Ark., 2013). Ancak değişik alanlarda kullanılan Titanyum ve alaşımlarının işlenmesi, kesici takımların işleme kabiliyetlerinin zayıf olmasından dolayı zordur (Wang ve Ark., 2005). Son yüzyılda kesici takım malzemelerinin gelişmesinde büyük ilerlemeler var olmasına rağmen karmaşık mikroyapı karakterlerinden dolayı titanyum alaşımlarını talaşlı olarak işlemek için bir şey yapılmamıştır (Nouari ve Makich 2013). Titanyum ve alaşımlarının işlenmesi zor olduğundan dolayı büyük firmalar işleme maliyetini minimize etmek için yeni teknikler geliştirmişlerdir (Wang ve Ark., 2005).

Titanyum ve alaşımları arasında en çok kullanılan Ti-6Al-4V'dir. Bu alaşımların termal iletkenliği düşüktür. Düşük termal iletkenlik, titanyum malzemenin işlenmesi esnasında takım ile iş parçası arasındaki sürtünmeden dolayı ısıyı arttırır ve talaşın takıma yapışmasını kolaylaştırır (Minton ve Ark., 2013). Bunun neticesinde yüzey zararları ortaya çıkar. Titanyum alaşımlarının işlenebilmesi için üreticiler sert metallerin kullanılmasını, bu sert metaller için uygun kesme parametrelerinin seçilmesini ve oluşan ısının azaltılması için kesme sıvılarının kullanılmasının gerekli olduğunu tavsiye etmişlerdir. Titanyum ve alaşımlarının kuru işlenmesi oldukça zor olduğundan dolayı özellikle kesme sıvılarını kullanmak takım ömrünün uzamasına ve dolayısıyla işlenen

yüzey kalitesinin daha iyi olmasına edilmesine neden olmaktadır (Minton ve Ark., 2013; Cantero ve Ark., 2005).

Malzemenin geometrik kalitesi çoğunlukla işleme esnasında oluşan çapak tarafından belirlenir. Çapak oluşumunu azaltmak ve takım aşınmasını önlemek için talaşın iş parçası yüzeyinden güvenli olarak uzaklaştırılması gerekir. İşlenen yüzeylerde çapak oluşumu ilave işlemlerin yapılmasını gerektirir. Alman otomotiv ve makine enstitüsü çapak almanın insan gücü ve çevrim sürecinin yaklaşık %15'ini, çaptan dolayı makina arızalanmasının %4'nü ve buna bağlı olarak toplam sürecin %9'unu etkilediğini bildirmiştir (Feldshtein, 2011).

HSS takım çelikleri ile titanyum ve alaşımlarını 30 m/dak kesme hızının üzerinde işlemek zordur. Tungsten karbür ile bu durum 60 m/dak'dır. Bunun için kübik bor nitrür (CBN) ve polikristal elmas kullanmak daha mantıklıdır. CBN ve polikristal elmas kesici takımlar, titanyum ve alaşımları ile kolaylıkla reaksiyona girerek kesme hızları 400 m/dak'ya çıkabilir. Ancak bu takımlar çok pahalıdır (Wang ve Ark., 2005). Ayrıca her titanyum alaşımı için kesme hızları farklılık gösterebilir. Ti6246 titanyum alaşımı Ti54M ve Ti-6Al-4V alaşımlardan daha yüksek mukavemet değerlerine sahip olduğundan Ti6246 alaşımı daha düşük kesme hızında işlenmelidir (Armendia ve Ark., 2012).

1.1. Literatür Çalışması

Konu ile yapılmış bilimsel çalışmalar aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir.

Wang ve arkadaşları (2005), takım performansı ve aşınma mekanizmasını incelemek için bağlayıcısı az olan kübik bor nitrür (CBN) takım kullanarak Ti-6Al-4V alaşımını frezelemiştir. Bunun için yüksek kesme devrine sahip olan 3 eksenli yatay tezgâh kullanmışlardır. Deneysel çalışma için, kesme hızını 350 m/dak, kesme derinliğini 0.05, 0.075 ve 0.1 mm ve ilerlemeyi 0.05, 0.075 ve 0.1 mm/dev olarak belirlemiştir. Ayrıca boşluk açısı 20°, eksenel eğimi 1°, radyal eğimi 10°, diş sayısı 1, kesme çapı 20 mm olan CBN slot freze çakısı ve yüksek basınçlı soğutucu kullanmışlardır. Deneyler esnasında kesme kuvvetlerini ise Kistler 9265B dinamometre ile ölçmüşlerdir. Deney sonucunda takım aşınmasını belirlemek için mikroskop kullanmışlardır. Ayrıca, takımın SEM ve EDM analizlerine bakmışlardır. Sonuç olarak, yüksek kesme hızında BCBN takım ömrünün oldukça iyi olduğunu, yüksek kesme hızında asıl aşınmanın talaşın iş parçasına yapışmasından meydana geldiğini,

ilerlemenin düşmesi takım aşınmasını daha da geciktirdiğini ve kesme zamanını arttırdığını, talaş kaldırma kalınlığının azda olsa aşınmayı etkilediğini ve daha fazla talaş kaldırmanın aşınmayı hızlandırdığını belirtmişlerdir.

Nouari ve Makich (2013), Ti-6Al-4V ve Ti-555 alaşımlarının işlenmesindeki zorluklardan dolayı kesme işleminin kararlılığı ve takım aşınma davranışının iş parçası mikroyapısına etkisini analiz etmek için deneyler yapmışlardır. Deneylerde 4µm kalınlığında TiAlN kaplı tungsten karbür takım kullanmışlardır. Kesme hızlarını 20, 35 ve 65 m/dak, ilerlemeyi 0.1 mm/dev olarak belirlemişlerdir. Farklı kesme şartları altında takım-talaş etkileşimi neticesinde sürtünme, sıcaklık artışı, takım aşınması ve iş parçasının mikroyapısı gibi değerleri analiz etmişlerdir. Kesme hızı arttıkça sıcaklığın arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinin Ti-6Al-4V ve Ti-555 alaşımları için farklı davranışlar gösterdiğini bildirmişlerdir. Ti-555 alaşımının mukavemeti Ti-6Al-4V alaşımından farklı olduğu için kesici takımlarda oluşan aşınmanın farklılık gösterdiğini gözlemlemişlerdir.

Zareena ve Veldhuis (2012), saf Titanyum (Cp-Ti) ve Ti-6Al-4V alaşımlarını ultra hassas işleme sistemi ile farklı burun radiuslara (0.3, 0.5 ve 1.5mm) sahip tek uçlu kaplamalı ve kaplamasız konik ve silindirik kristal elmas takımlar kullanarak işlemişlerdir. Takım ömrünü uzatmak ve aşınmayı azaltmak için kaplama malzemesi olarak perfluoropolieter (PFPE) kullanmışlardır. PFPE kaplamalı kristal elmasın kullanılması takım ve iş parçası arasındaki sürtünme katsayısını düşürdüğünü ve sonuç olarak takım ömrünün uzadığını dolayısıyla işlenen yüzeyin kalitesinin iyileştiğini belirtmişlerdir.

Thepsonthi ve Özel (2013), Ti-6Al-4V alaşımını kübik bor nitrür (CBN) kaplı tungsten karbür takım ve kaplamasız tungsten karbür takımla mikrofrezleme işlemine tabi tutmuşlardır. Frezeleme deneylerinde dönme devirlerini 16000, 32000 ve 48000 dev/dak, kesme hızlarını 25, 50 ve 75 m/dak, ilerlemeyi 0.5, 2.5 ve 4.5 µm/diş ve eksenel kesme derinliğini 40, 70, 100 µm olarak belirlemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve çapak oluşumu bakımından CBN kaplı ve kaplamasız tungsten karbür takımların Ti-6Al-4V alaşımının mikrofrezelenmesindeki performansını karşılaştırmışlardır. Ayrıca Deform-2D sonlu elemanlar yazılımını kullanarak kesme kuvvetleri, takım sıcaklığı, temas basıncı, kayma basıncı ve takım aşınmasını incelemişlerdir. Sonlu elemanlardan elde ettikleri verileri deneysel çalışmadan elde ettikleri sonuçlarla kıyaslamışlardır. Sonuç olarak, mikrofrezelemede kesme kuvvetlerini asıl etkileyen parametrenin diş başına ilerleme olduğunu belirtmişlerdir.

CBN kaplı takımlarda kesme kuvvetlerini kaplamasız takımlara göre daha yüksek elde etmelerine rağmen, CBN kaplı takımlarda daha düşük kesme sıcaklıkları elde etmişlerdir. Ayrıca CBN takımlardan elde edilen aşınmanın daha düşük olduğuna, takımlarda oluşan ısının ve aşınmanın kesme hızının ve diş başına ilerlemenin artmasıyla arttığına, yüzey pürüzlülüğü ve çapak oluşumunu etkileyen en önemli parametrenin diş başına ilerleme olduğuna değinmişlerdir.

Wang ve arkadaşları (2014), Ti-6Al-4V alaşımını yüksek kesme hızına sahip elektro erezyon ile işleme (EDM) yöntemini kullanarak şekillendirmişlerdir. İşleme esnasında akımı 700, 100 ve 30 A olacak şekilde sırasıyla belirlemişlerdir. En iyi şekli 30 A ile elde ettiklerini belirtmişlerdir.

López de lacalle ve arkadaşları (2000), alfa-beta alaşımlarından olan Ti-6Al-4V alaşımını ve Inconel 718 alaşımını, kaplamalı ve kaplamasız takımlar kullanarak frezelemişlerdir. Kaplamasız takım olarak K10 takımı seçmişlerdir. Bu freze çakılarının ağız sayısını 3, 4 ve 6, helis açısını ise 30°, 45° ve 60° olacak şekilde belirtmişlerdir. Kaplamasız takım deneylerinde kesme kızılarını 11 ile 140 m/dak arasında, ilerlemeyi ise 0.04 ile 0.15 mm/diş arasında değerler seçerek yapmışlardır. Ayrıca TiC, TiAlN, TiN ve TiCN kaplı takımlarla da deneyleri yapmışlardır. Bu takımlarla deneyleri 15 ile 50 m/dak kesme hızlarında ve 0.03 ile 0.05 mm/diş ilerleme değerlerinde yapmışlardır. İlerleme arttıkça yanal aşınmanın hızlandığını, Ti-6Al-4V alaşımının Inconel 718'den daha yüksek kesme uzunluğu elde edildiğini, ilerleme ve kesme hızı arttıkça kesme uzunluğunun azaldığını ve kesme uzunluğu arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığını belirtmişlerdir.

Bach ve arkadaşları (2012), titanyum ve alaşımlarını değişik kesme hızlarında ve kesme derinliklerinde işleyerek kesme zamanını ve yanal aşınma oluşumunu incelemişlerdir. Düşük kesme hızlarında titanyum ve alaşımlarından daha fazla talaş kaldırılabilmesine, kesme zamanının artması ile yanal aşınmanın arttığına değinmişlerdir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Titanyum ve Alaşımları

2.1.1. Titanyum ve alaşımlarının metalürjisi ve yapısal bütünlüğü

Saf titanyumun kübik hacim merkezli alfa yapıdan kübik yüzey merkezli beta yapıya dönüşümü 882.5°C’de alotropik dönüşüm ile gerçekleşir (Collings, 1984). Dönüşüm sıcaklığı alaşım elementlerinin ilave edilmesiyle değişmektedir. Dönüşüm sıcaklığını arttıran veya alfa kararlılığını arttıran elementler Al, O, N ve C’dur. Beta kararlılığı olarak bilinen Mo, V, Nb, Cu ve Si gibi elementler dönüşüm sıcaklığını düşürmektedirler. Diğer dönüşüm elementleri dönüşüm sıcaklığında çok az etkiye sahipken Sn ve Zr gibi elementler hiçbir etki göstermemektedir. Saf Titanyum (Ti) sembolü ile gösterilmekte olup 47,9 atom ağırlığına, 22 atom numarasına, 3289 °C kaynama noktasına ve 1670 °C erime noktasına sahip bir metaldir. Titanyum ve alaşımları; alaşımsız, alfa-yakın alfa alaşımlı, alfa-beta alaşımlı ve beta alaşımlı olmak üzere dört ana grup altında sınıflandırılmaktadır. Alaşımsız titanyumlar mükemmel korozyon direnci sunmaktadırlar. Ancak düşük mukavemet değerlerine sahiptirler. Mukavemetindeki artış O ve Fe elementlerinin küçük oranda ilave edilmesi ile elde edilebilir. Alfa-yakın alfa alaşımlı titanyumlar; alfa alaşımlarını ve alfa dengeleyicilerini içermektedirler. Mükemmel sünme direnci sunarlar. Yakın alfa alaşımları sınırlı miktarda beta dengeleyicilerini içeren alfa alaşımlarıdır. Fakat yakın alfa alaşımları alfa alaşımları gibi davranırlar. Alfa-beta alaşımlı titanyumlar; oda sıcaklığında alfa ve beta fazının bir karışımını sunarlar ve hem alfa hem de beta dengeleyicilerini içerirler. Bu gruptaki alaşımlar genellikle havacılık endüstrisinde kullanılırlar. Özellikle, Ti-6Al-4V alaşımı en çok kullanılanıdır. Beta alaşımlı titanyumlar ise büyük miktarda beta dengeleyicilerini içerirler. Yüksek sertleştirilebilirliğe ve yoğunluğa sahiptirler (Collings, 1984; Machado ve Ark. 1990).

Titanyumun alaşımsız ve alfa-yakın alfa alaşımlı türleri başlıca korozyona ve kriyojenik uygulamalara maruz kalan yerlerde, alfa-beta alaşım türleri yüksek mukavemet uygulamalarında, beta alaşım türleri sertleştirilebilirlik, iyi dövülebilme ve soğuk şekillendirmenin gerekli olduğu yerlerde kullanılırlar. Titanyum üretiminin yaklaşık %30’unu alaşımsız türler, yaklaşık %45’ini alfa-beta alaşımı olan Ti-6Al-4V ve geri kalan yaklaşık %25’ini ise diğer alaşımlar oluşturmaktadır (Metals Handbook, 1980).

Titanyum ve alaşımları çeliklerle karşılaştırıldığında iyi mekanik özelliklere sahiptir. Ancak termal özellikleri zayıftır. Titanyumun özgül ısısı çeliklerden yüksek olmasına rağmen hacimsel özgül ısısı daha düşük yoğunluğa sahiptir. Genellikle titanyum içerisindeki alaşım içeriği arttıkça mukavemet düzeyi artar ve bu durum beta fazının artmasına sebep olur. Bunun neticesinde işlenebilirlik performansı düşer. Titanyum yüksek mukavemet gerektiren parçalar için genellikle faydalı olan bir malzemedir. Bu sebeple yüzey pürüzlülükleri ve alt yüzeylerin gerilme dirençleri dâhil kontrol edilmelidir. Bazı özel yüzey bütünlük parametreleri, mikroyapı, sertlik, yüzey pürüzlülüğü ve gerilme dirençleridir. Kesici takımlarla titanyum alaşımları işlendiği zaman titanyum malzemede ısınmadan dolayı sertleşme gözlemlenebilir. Ayrıca kesme şartlarına bağlı olarak titanyum alaşımlarının gerilme dirençleri şekillenebilir. Gerilme direnci kesme hızı ile artar (Machado ve ark., 1990)

2.1.2. Titanyum alaşımlarının işlenmesini zorlaştıran nedenler

Bir veya daha fazla faktörün sıklığı titanyum ve alaşımlarının zor işlenen malzeme olarak sınıflandırılmasına neden olmaktadır. Titanyum alaşımlarının yüksek mukavemete sahip olması talaşlı imalat esnasında yüksek sıcaklıkların oluşmasına neden olur. Ayrıca yüksek mukavemet talaş oluşumunda ihtiyaç duyulan plastik deformasyonu zorlaştırır. Düşük elastik modülünden dolayı, titreşim, bozulma ve sürtünme problemleri gözlemlenebilir. Çalışma sertliği yüksek orandadır. Titanyum talaşı, takımın iş parçasına nüfus eden etki alanının düşük olmasından dolayı çok incedir. Diğer bir deyişle titanyumların aynı ilerleme ve kesme derinliğinde normal çeliklere göre etkileşim alanı $1/3$ 'dür. Bu durum takımın yüksek gerilmelere maruz kalmasını sağlar. Ancak kesme kuvvetleri çeliklerle aynıdır. Bu yüzden titanyum alaşımları ile çelik alaşımlarının işlenmesi esnasındaki güç tüketimi yaklaşık olarak aynıdır. Titanyum ve alaşımlarının sürtünme katsayısı yüksektir. Bu alaşımlar hemen hemen tüm takımlar ile $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerinde kimyasal tepkimeye girerler. Düşük hacimsel özgül ısıya sahip olması ve nispeten takım ve talaş arasındaki etkileşim alanının çok küçük olmasından dolayı takım ucundaki sıcaklığın $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar çıkmasına neden olabilir. Yığılma kenar ağzı oluşumu düşük kesme hızlarında olmasına rağmen bu bazı işlemlerde kötü son yüzey işlemeye yol açabilir. Tüm bu faktörler göz önünde bulundurulduğu zaman titanyum alaşımlarının işlenmesinde takımın oldukça

hızlı aşındığı ve işlenen yüzey kalitesinin kötü olduğu söylenebilir (Harvey, 1982; Machado ve Ark., 1990; Şahin, 2001).

2.1.3. Kesme parametrelerinin titanyum alaşımları üzerine etkisi

Talaş, kesme bölgesinde kesici takım hareketlerinin iş parçasına basma gerilmesi uygulaması ve bu gerilmenin iş parçası malzemesinin akma dayanımını aşmasıyla şekillenir. Şekillendirme esnasında deformasyon enerjileri termal enerjiye dönüşür. Ancak titanyumun düşük termal özelliklerinden dolayı iş parçası ve kesici takım arasında aşırı sıcaklık artışı oluşur. Sıcaklığın etkisiyle malzemede yerel olarak yumuşamalar oluşur ve sıcaklık malzeme yüzeyinde iyi iletilmediği için aynı düzlemde malzemenin dayanımı devam eder. Bunun neticesinde titanyumun işlenmesinde elde edilen talaş formu tırtıklı elde edilir. Bu durumda elde edilen talaş, kötü kesilmiş talaş olarak sınıflandırılır. Çoğu malzemelerin talaş formu kesme esnasında düzensiz kalınlıklarda ve sürekli talaş formundadır.

Deformasyon işlemi kesme bölgesindeki dönme hareketleri ile olur. Uygun bir düzlem üzerinde soğuk bir malzemenin plastik deformasyonu için gerekli kuvvetler bu dönme hareketinin aşırı olmasından dolayı artar. Bu işlem termoplastik kesme ile ilgilidir. Bu süreçte testere dişli talaş formları oluşur. Talaş oluşumunun bu işlemi ya ticari ya saf titanyumun ya da onun alaşımlarının tümünde görülebilir. Ancak talaş bölümlerinin koşulları mikroyapıya göre değişir ve tipik olarak tırtıklı talaş alfa-beta alaşımlarda görülür. Adyabatik kesme deformasyonu beta alaşımlarının talaş formunda iki misli oluşur (Motonişi ve Ark., 1987; Machado ve Ark.,1990).

Talaş oluşumu üzerinde kesme parametrelerinin etkisi, kesme sıcaklığının etkisi ile anlaşılabilir. Düşük kesme hızlarında termal ısınma sürtünmenin düşük olmasından dolayı düşüktür. İlerlemenin artması ile kesme hızlarının düşürülmesi gerekmektedir. Çünkü kesme hızının artması iş parçası ve kesici takım arasında sıcaklığın artmasına neden olur. Kesme derinliğinin artması ise elde edilen talaş kalınlığının artmasına neden olmaktadır.

Talaş oluşumu esnasında kesici takıma kuvvetler gelmektedir. Buna bağlı olarak takım üzerinde aşınmalar oluşmaktadır. Alaşım elementlerinin artması kesici takıma gelen kuvvetlerin artmasına ve takım aşınmasının hızlanmasına neden olmaktadır. Ayrıca, kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği gibi kesme parametreleri de kesme

kuvvetlerini, takım aşınmasını, talaş oluşumunu ve kesme esnasında oluşan sıcaklığı etkilemektedir (Motonishi ve Ark., 1987).

2.1.4. Titanyum alaşımlarının işlenmesinde oluşan sıcaklık, gerilme ve takım aşınması

Kesme işlemi sırasında işlemi yapan sistemin elemanları ısınır ve bu, ısınma veya termik hatalara sebep olur. Kesme sırasında meydana gelen ısı nedeniyle kesici takımın sıcaklığı yükselir ve bunun sonucu olarak kesici takım genişler. Tek uçlu bir takımın uç kısmı gövde kısmına göre daha çabuk ısınır. Dolayısıyla takımın çeşitli yerlerinde sıcaklık değişiklikleri görülür, bunun sonucu olarak da termik deformasyonlar oluşur.

İşleme hassasiyeti, işlenen yüzeye dik doğrultudaki termik deformasyona bağlı olarak kesici ağızla işlenen yüzey arasındaki uzaklığın değişmesinden etkilenir. Kuyruk, punta başlığı, araba ve yatak çok az ısınırlar ve bunların termik deformasyonlarının işleme hassasiyeti üzerindeki etkileri son derece önemsizdir.

İş parçasının sıcaklığının ne kadar yükselebileceği; parçaya geçen ısının miktarına, iş parçası malzemesinin özgül ısısına, kesme parametrelerine (kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği v.b) bağlıdır. İş parçasının kütlesi ne kadar büyük olursa, o parça termik deformasyonlara o ölçüde az uğrar.

Takımın işlenen yüzeye dik doğrultudaki aşınması (ölçüden düşme), işleme hassasiyetini çok büyük ölçüde etkiler. Bu aşınma, takımın iş parçasına göre izlediği yola bağlıdır.

Eğer takımın ömrü biliniyorsa, bu takım ömrüne göre kesme boyunu saptayabiliriz (Denklem 2.1).

$$l_m = V.T \quad (2.1)$$

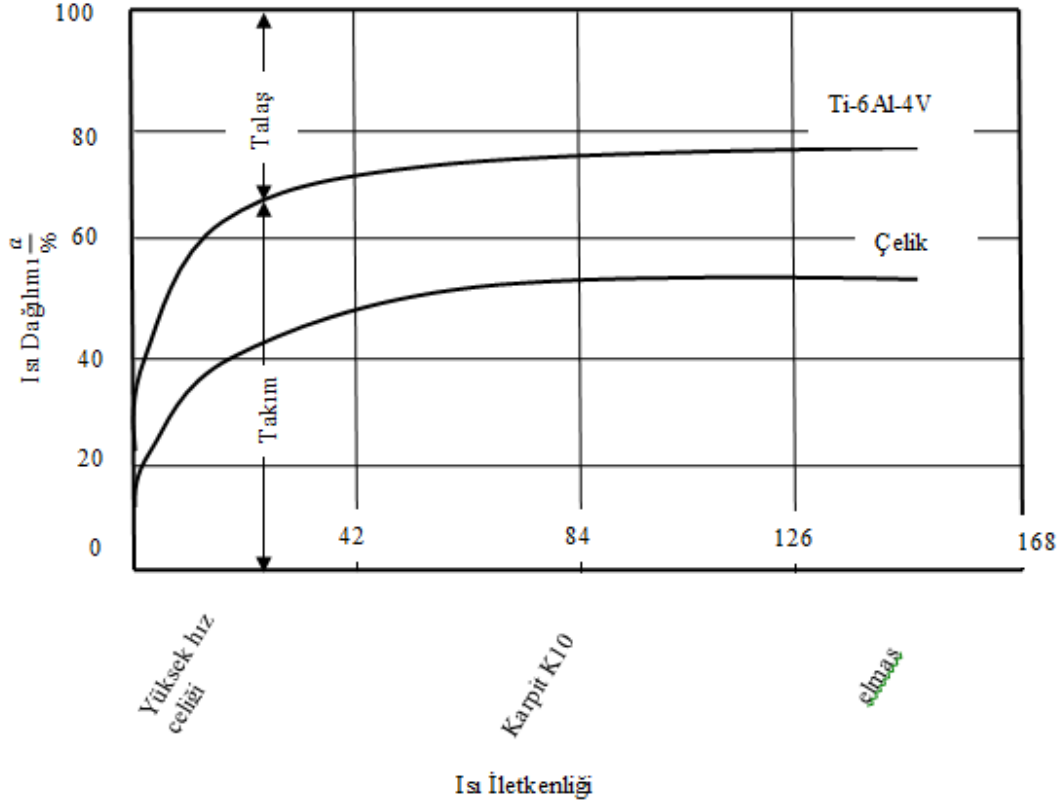
İşlenen yüzeye dik aşınma boyu Denklem 2.2'deki gibi elde edilir.

$$w = \frac{w_o.L_m}{1000} \text{ micron. dur.} \quad (2.2)$$

İş parçasında iç gerilmelerin dağılımı, işleme hassasiyeti bakımından dikkate alınması gerekmektedir. Bu tip iç gerilmeler genellikle döküm veya dövme parçalarda değişik soğuma hızlarının bir sonucu olarak ortaya çıkarlar. Metalin dış tabakalarını (özellikle dökümlerin dış yüzlerini) işlerken bu iç gerilmeler yeniden bir dağılım gösterip, iş parçasının deforme olmasına sebep olabilirler (Danilevsky, 1987).

Titanyum alaşımlarının işlenmesi esnasında yüksek sıcaklıkların elde edildiği iyi bilinmektedir. Gerçekte bu yüksek sıcaklık kesici takım ucuna yakın bir yerde oluşur ve

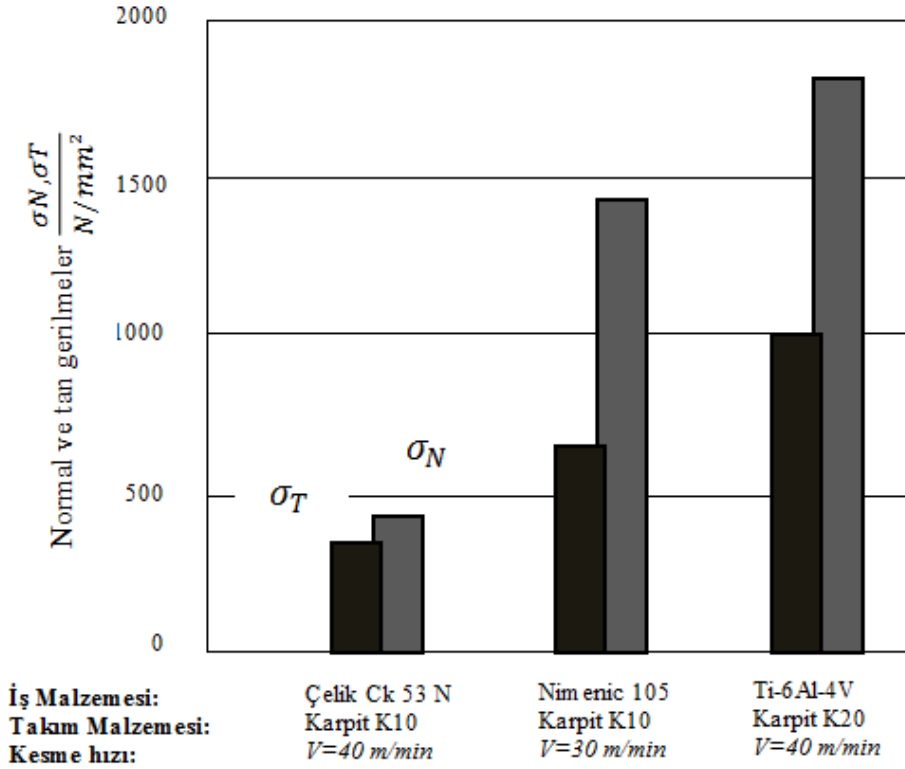
takımın hızlı aşınmasına yol açar. Konig (1979), değişik takım malzemeleri ile titanyum alaşımlarını işleyerek bir ısı dağılım eğrisi oluşturmuştur. Elde ettiği ısı dağılım eğrisini çeliğinki ile karşılaştırmıştır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Titanyum ve çeliğin işlenmesi esnasında oluşan ısı dağılımı (Konig, 1979)

Titanyum işlendiği zaman ısının %80'i takıma geçer, çelikler işlendiğinde ise takıma geçen ısı yaklaşık %50-60'dır. Titanyum çeliklere göre takımlarla daha az etkileşim alanına sahip olması ve titanyumun işlenmesinde ısının büyük bir kısmının takıma geçmesi kesme ucunda gerilmelerin artmasına yol açmaktadır. Şekil 2.2'de Konig (1979) tarafından elde edilen farklı malzemeler için gerilme değerleri verilmiştir.

Hem yüksek sıcaklık hem de yüksek gerilmeler plastik deformasyona ve takımın aşırı aşınmasına neden olur. Bu problemleri minimize etmek için temel kural olarak kesme sıvısı kullanılmalıdır. Soğutucu olarak yüksek basınçlı emisyon sıvılarının kullanılması takım sıcaklığının azalmasına neden olur (Machado ve Ark., 1990).



Şekil 2.2. Bazı malzemelerin talaşlı imalatta oluşan Normal ve Tanjant gerilmeleri (Konig, 1979)

Titanyum malzemeleri aşağıdaki özelliklere sahip kesici takım malzemeleri ile işlenmelidir.

- Yüksek gerilme dirençleri için yüksek sıcaklıkta yüksek sertliğe sahip olma,
- Talaş oluşumu sırasında iyi bir talaşlanma direncine sahip olma,
- İyi sertlik ve yorulma direnci gösterme,
- Titanyum ile reaksiyona girme eğiliminin az olması,
- Yüksek basınç direnci,
- İyi bir termal iletkenlik.

Günümüzde, titanyum ve alaşımlarının yüksek kesme hızlarında frezelenebilmesi, planyalanabilmesi, delinebilmesi ve tornalanabilmesi için seramik ve kaplamalı karpit takımlar geliştirilmiştir. Ancak seramikler titanyumun işlenmesinde uygun değildir. Machado ve ark. (1990) bu alaşımların işlenmesinde süper sert takım malzemeleri olan kübik bor nitrür ve polyester elmasların en iyi aşınma performanslarına sahip olduklarına değinmişlerdir. Farklı takım malzemelerinin farklı aşınma mekanizmasına sebep olduğunu bilmek önemlidir. Plastik deformasyon, özellikle titanyum alaşımlarının yüksek hız çelikleri ile delinmesinde kesici takımda

oldukça sık görülen aşınma tiplerindendir. Yüksek basınçlı gerilmelerin varlığı ve yüksek sıcaklığın oluşması kesici takımın talaş kaldırma yeteneğini azaltır. Plastik deformasyon ve termal şok, titanyum alaşımlarının yüksek kesme hızlarında sementit karbür ve seramik takımlarla işlenmesinde görülen aşınma tipleridir. Takım ve talaş arasındaki kararlı tepkime tabakası göz önünde bulundurulduğunda sementit karbür, kübik bor nitrür ve polikristalin elmas titanyum alaşımlarının işlenmesinde en iyi takım malzemeleridir. Kesici takımlardaki gelişmeler ile çok ince taneciklerdeki sementit karbürlerin sinterlenmesiyle farklı özel geometriye sahip takımların üretilmesine yol açmıştır. Bu kesici takımlar bazı avantajlar sağlamıştır. Ancak daha radikal gelişmeler yapılmalıdır. Özellikle, General Elektrik düz çıkıntılı ve döner takımlar geliştirmişlerdir. Düz çıkıntılı takımlar uzun süre takımın işlenmesine olanak sağlamaktadır. Döner takımlar ise uzun geçmişe sahip olmasına rağmen son yıllarda titreşimden kaçınmak, daha iyi soğutma ve yağlama olanağı sağlamak, sıcaklığı geniş alana yaymak ve talaşı hızlıca uzaklaştırmak gibi özelliklere sahip olmasından dolayı tekrar gündeme gelmiştir. Döner takımların normal takımlara göre ömrü 7 kat fazladır. Bu takımlar Ti-6Al-4V alaşımlarını 1 mm/dev ilerlemeye kadar kesme işlemini gerçekleştirmektedir (Machado ve Ark., 1990).

2.2. Frezeleme İşlemi

Frezeleme, kesme hareketi takımın kendi ekseninde dönmesi ve parçanın ilerleme hareketi yapması ile gerçekleşen bir işlemdir. Freze adını taşıyan ve çevresinde diş denilen birçok kesme ağızlı bulunan takım, çok ağızlı takımdır. Bundan dolayı frezeleme, üretkenliği oldukça yüksek olan bir işlemdir. Frezeleme ile dış yüzeyler, çeşitli kanallar ve cepler, formlu yüzeyler işlenir; vida ve dişli çarklar açılır.

Freze takımları çok çeşitli olmalarına rağmen sapsız (delikli) ve saplı olmak üzere iki gruba ayrılabilirler. Sapsız frezeler silindirik veya disk şeklinde olabilirler. Yöntem olarak çevresel ve alın frezeleme olmak üzere iki yöntem vardır. Her iki yöntemde kullanılan takımlar silindirik olmakla beraber çevresel frezeleme, dişleri yan yüzeyde bulunan silindirik freze; alın frezeleme dişleri alın yüzeyde bulunan alın freze ile gerçekleşir.

Frezeleme işlemi, freze denilen takım tezgâhlarında yapılır. Freze tezgâhları, takım taşıyan ve malafa denilen elemanın konumuna göre yatay ve dikey freze olarak iki gruba ayrılabilirler. Yatay freze: temel plaka, hız ve ilerleme dişli mekanizmalarını

taşıyan kolon, tabla gövdesi ve parçayı taşıyan tabla gibi ana elemanlardan meydana gelir. Ayrıca malafayı desteklemek için gövdeye bağlı bir konsol da bulunur. Malafa, tezgâhın ana miline bağlıdır. Şöyle ki motordan alınan dönme kuvveti, vites kutusunu ana mile ve buradan malafaya verilir ve takımın dönmesini sağlar. İlerleme hareketi sağlayabilmek için, V vites kutusundan alınan hareket I ilerleme vites kutusundan kardan miline ve buradan tablaya bağlı olan sonsuz vida mekanizmasına ulaştırılır. Sonsuz vida mekanizmasının yardımıyla dönme hareketi öteleme hareketine dönüştürülür ve tablanın parça ile hareketi sağlanır. Bağlantı halinde bulunan, V ve I vites kutuları, dönme ile ilerleme hareketi arasında bir uyum sağlarlar. Şöyle ki, tam bir dönme hareketine karşılık parça belirli bir s (mm/dev) ilerleme hareketi yapar. Kesme derinliği elle veya mekanik olarak tablanın yukarı-aşağı hareketi ile gerçekleşir. Ayrıca yine ayar hareketi olarak tabla, tabla gövdesi üzerinde enine hareket (kolona yaklaşma ve uzaklaşma) yapabilmektedir. Yatay freze tezgâhlarında silindirik freze kullanılır. Dikey frezenin yatay frezelere göre farkı malafanın dikey olmasından ileri gelmektedir. Alın frezeler için elverişli olan bu tezgâhlarda malafanın dönme ve ilerleme hareketi aynı şekilde sağlanır (Akkurt, 1998).

Birçok hallerde freze tezgâhlarına dik başlık monte edilebilecek şekilde yapılır. Takımı taşıyan bu başlık, eğik duruma da getirilebilir; bu tip tezgâhlara üniversal freze tezgâhı denir. Bunun yanı sıra, uzun parçaların işlenmesi için kullanılan planya tipi freze tezgâhları da vardır. Bu tip freze tezgâhlar, tek başlık veya dikey ve yan taraflarda olmak üzere birçok başlık ile donatılabilirler. Ayrıca frezeleme ve delme işlemlerini yapabilen ve işleme merkezi (Machining Center) denilen CNC freze tezgâhlar da vardır (Akkurt, 1998).

2.2.1. Frezelemede talaş oluşumu

Talaş kaldırma; belirli boyut, şekil ve yüzey kalitesine sahip bir parça meydana getirmek için ucu keskin bir takımla ve güç kullanarak, iş parçası (hammadde) üzerinden tabaka şeklinde malzeme kaldırma işlemidir. Ayrılan malzeme tabakasına talaş denir. Fiziksel bakımdan talaş kaldırma işlemi, elastik ve plastik şekil değiştirmeye dayanan, sürtünme, ısı oluşumu, talaşın kırılması ve büzülmesi, işlenen parçanın yüzeyinin sertleşmesi, takım ucunun (ağzının) aşınması gibi olayları içeren karmaşık bir olaydır (Akkurt, 1998).

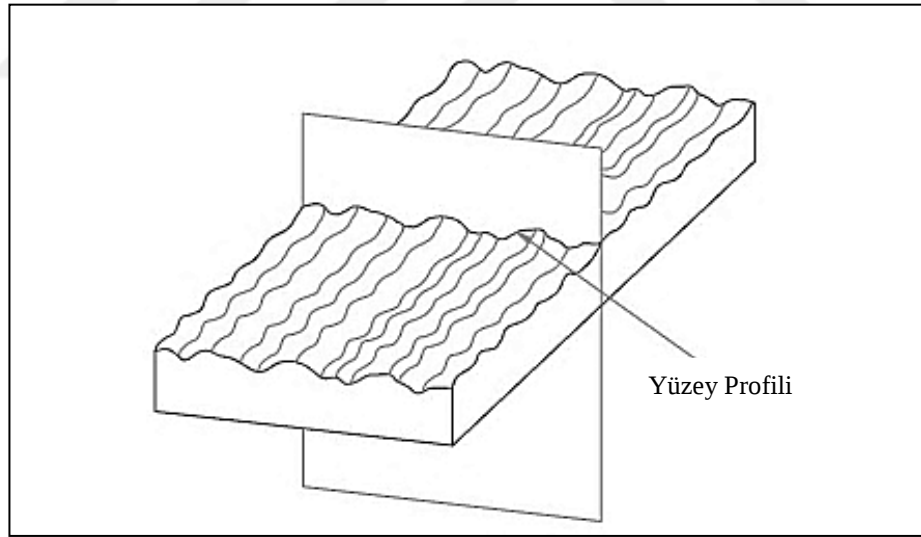
Bir parçanın üzerinden belirli bir malzeme tabakasının kaldırılması için, takımın o malzemeye nüfus etmesi gerekir. Bu da, ancak takıma uygulanan kuvvetlerin yeterli ve takım malzemesinin parça malzemesinden daha sert olması halinde gerçekleşir. Ayrıca takım ucunun kama şeklinde yapılması, olayı kolaylaştıran bir etkidir. Talaş kaldırma olayını incelemek için kama şeklinde bir kesme ucundan (ağızından) meydana gelen bir takım modeli oluşturulur. Bu takım ile talaş kaldırma işlemine ortogonal kesme denilir. Ortogonal kesmede takımın kesme kenarı, takım ile parça arasındaki kesme hızına dik veya eğik olabilir. Bu son duruma ortogonal eğik (meyilli) kesme denilir. Böyle bir takımın bir parça üzerine belirli bir kuvvetle bastırıldığını ve kuvvet yönüne doğru hareket ettirildiği düşünülürse, takım ucunun temas ettiği metal tabakasında önce elastik sonra plastik şekil değiştirmeler meydana gelir. Metal tabakasında akmalar başlar ve gerilmeler malzemenin kopma sınırını aştığı anda tabaka, talaş şeklinde belirli bir yüzey boyunca parçadan ayrılır. Tabakanın parçadan ayrılma şekli, parça malzemesinin özelliklerine ve işleme koşullarına bağlı olarak farklı bir şekilde gerçekleşir. Buna göre çeşitli talaş şekilleri meydana gelir (Akkurt, 1998). Ancak üç temel şekil olan kesintisiz talaş, kesintili talaş ve yapışık talaş vardır. Talaşın kesintisiz ve sürekli çıkması, bazı müstesnalar dışında bir bakıma kesici takım açılarının iyi olduğunu ve bilemenin iyi yapıldığını gösterir. Çıkan talaşın bir yandan ideal sayılan kesintisiz talaş olması istenirken, diğer yandan bu talaşın tezgâha ve operatöre zarar vermemesi ve depolama/taşıma kolaylığı sağlanması istenir. Durum böyle olunca kesintisiz talaşın belli bir boyda kopması arzu edilir. Bunu sağlamak için de talaş kırıcılar kullanılır (Aydın ve ark., 2012).

2.2.2. Yüzey kalitesi

Bir makine parçasının, gerektiği gibi çalışması ve hizmet ömrü, büyük ölçüde onun yüzey kalitesine bağlıdır. Parça resimlerinde gösterilen teorik yüzeylerin aksine, gerçekte işlenen makine parçalarının yüzeylerinde çeşitli şekillerde düzensizlikler ve yükseklikler vardır. Bunlar takım tezgâhında işleme sırasında meydana gelirler. İş parçalarının bu yüzey düzensizliklerinin; yükseklikleri, şekilleri, dağılımları ve yönleri birçok faktöre bağlıdır. Bunlar kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, kesici takımın soğutulma ve yağlanma koşulları, iş parçası malzemesinin kimyasal birleşimi ve mikroyapısı, takımın (kesici) dizaynı, geometrisi ve kesme kapasitesi; takım tezgâhının

tipi ve şartları, yardımcı avadanlıklar, kalıp ve bağlama aparatları olarak sıralayabiliriz (Danilevsky, 1987).

Teorik yüzeye, yani kusursuz yüzeye göre gerçek yüzeyin gösterdiği sapmalar arasında ayırım yapılmıştır: Makrogeometrik sapmalar, dalgalıklar ve mikrogeometrik sapmalar. Makrogeometrik sapmalar, teorik yüzeye göre seyrek olarak meydana gelen ve düzenli bir şekilde tekrarlanmayan sapmalardır. Bu, üzerinde sapmalar bulunan L boyunun, sapma h oranı olarak belirtilir ve 1000'den büyük bir rakamdır. Bu makrogeometrik sapmalar; ovallik, koniklik ve geometrik özelliklerin çeşitli kusurları olabilir. Yüzey dalgalılığı, periyodik olarak tekrarlanan bir dağlar-vadiler takımını belirtir. Bunu karakterize eden değer de, bu vadi ve dağların vadiden vadiye olan uzaklıklarının (hatvelerinin), tepeden tabana olan yüksekliklerine oranıdır $\left(\frac{L}{h}\right)$ ki 50 ~1000 rakamları arasında değişen bir değeri vardır. Mikrogeometrik sapmalar veya mikrodüzensizlikler, iş parçalarının işlenmeleri sırasında meydana gelirler. Bunlar, takımın kesici ağzının iş yüzeyi üzerindeki hareketlerinin ve işlenen malzemenin kesme sırasında gösterdiği plastik deformasyonların sonucu olarak ortaya çıkarlar (Danilevsky, 1987).



Şekil 2.3. Yüzeylerin ve profillerin grafikte gösterilişi (www.ybu.edu.tr)

Mikrogeometrik sapmalar, onların s hatvelerinin h yüksekliklerine bölünmeleriyle elde edilen küçük bir oranla belirtilirler. O halde,

$$\frac{s}{h} < 50 \quad (2.3.)$$

Mikrodüzensizliklerin dağılmaları ve karakterleri, kesme sırasındaki ilk harekete ve ilerleme hareketine bağlıdır. Enine düzensizlikler, takımın hareket doğrultusuna dikey

3. Ti-6Al-4V ALAŞIMININ FREZELEME DENEYLERİ

3.1. Çalışmanın Amacı

Titanyum ve alaşımları, özellikle mekanik özelliklerinin iyi olması, korozyona dayanıklı olması ve diğer metal ve alaşımlarına göre hafif olması nedeniyle uçak ve uzay endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak titanyum ve alaşımlarının bu üstün özelliklere sahip olması işlenmesini zorlaştırmaktadır. Bu zorlukların üstesinden gelebilmek için bir çok bilimsel çalışma yapılmıştır. Ancak, frezeleme ile ilgili yapılan çalışmalar sınırlı olmakla beraber detaylı olarak incelenmediği görülmüştür. Bu nedenle bu çalışmada titanyum alaşımlarından olan Ti-6Al-4V alaşımının frezelenmesinde kesme parametrelerinin frezelenen yüzeye ve takım aşınmasına etkileri incelenmiştir.

3.2. Materyal ve Yöntem

Ti-6Al-4V alaşımının frezelenmesinde kesme hızı ve ilerleme gibi kesme parametrelerinin frezelenen yüzeye ve kesici takıma etkilesini analiz edebilmek için 3 adet 100x150x10 mm boyutlarında Ti-6Al-4V alaşımı temin edildi. Ti-6Al-4V alaşımının mekanik özellikleri Tablo 3.1’de, kimyasal özellikleri ise Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Ti-6Al-4V alaşımının mekanik özellikleri

	Kimyasal kompozisyon						
	N	C	H	Fe	O	Al	V
Grade5 Ti-6Al-4V	0.05	0.08	0.015	0.40	0.20	5.50	3.50

Tablo 3.2. Ti-6Al-4V alaşımının kimyasal özellikleri

Mekanik değerler		
Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	Akma Mukavemeti (N/mm ²)	% Uzama (%)
900-1100	830	10

Frezeleme deneyleri için 8 mm çapına sahip DIN 844/1-2 standart numaralı TiN kaplı HSS parmak frezeler ile 69448080 4F sert karbür (WC) parmak frezeler kullanılmıştır. Bu freze çakıları sırasıyla Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de verilmiştir.

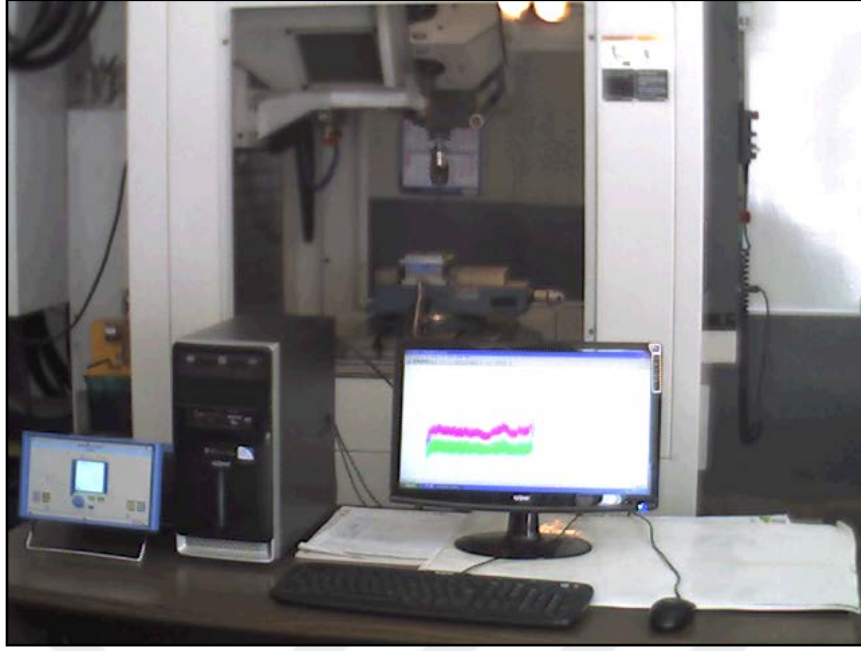


Şekil 3.1. TiN kaplı HSS Freze Çakısı



Şekil 3.2. WC Freze Çakısı

Frezeleme deneyleri için Topper Tongtai marka, TMV-610A+APC CNC freze tezgahı kullanıldı. CNC freze tezgahının tabla ölçüleri 700x410 mm, iş mili hızı 80-8000 dev/dak ve iş mili motor gücü 7.5 kW’tır. Frezeleme deneylerinde kesme parametrelerine bağlı olarak kuvvetlerin değişimini görebilmek için Kistler 9257B dinamometre CNC freze tezgahına bağlandı. Şekil 3.3’de CNC freze tezgahı ile dinamometre bağlantısı verilmiştir.



Şekil 3.3. CNC freze tezgahı ile dinamometre bağlantısı

İş parçasının dinamometre üzerine bağlanması için 100*150*10 mm boyutlarında olan Ti-6Al-4V alaşım plakalarına 2 şer adet delik delinmiştir. Delikler arası mesafe 125 mm olacak şekilde plakaya ortalanmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. CNC freze tezgahına bağlanan Ti-6Al-4V alaşımı

Ti-6Al-4V alaşımının frezelenmesi için yapılan bilimsel çalışmalar doğrultusunda kesme parametreleri Tablo 3.3'deki gibi belirlenmiştir.

Tablo 3.3. Ti-6Al-4V alaşımının frezelenmede kullanılan kesme parametreleri

Parametreler	Değerleri
Kesme hızı (m/dak)	5, 10, 15
İlerleme (mm/dev)	0.05, 0.075, 0.1

Kesme hızı (V) ve ilerlemelerin (s) CNC programına kesme devri (n) ve dakikadaki ilerleme miktarı (u) olarak girilmesi için Denklem 3.1 ve 3.2'den yararlanılmıştır.

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (3.1)$$

$$s = \frac{u}{n} \rightarrow u = n \cdot s \quad (3.2)$$

Kesme devirleri (n), 8 mm çapındaki freze çakısı ve 5, 10 ve 15 m/dak kesme hızları için yaklaşık olarak sırasıyla 200, 400 ve 600 dev/dak olduğu hesaplandı. Her bir devir ve ilerleme için kombinasyon yapıldığında, dakikadaki ilerleme değerleri (u); 200 dev/dak için 10, 15, 20 mm/dak, 400 dev/dak için 20, 30, 40 mm/dak ve 600 dev/dak için 30, 45, 60 mm/dak bulundu. Bulunan bu değerlere göre 8 mm çapındaki WC ve TiN kaplı HSS freze çakılarıyla Ti-6Al-4V alaşımının frezelenmesi için CNC kodlar çıkartıldı. Çıkartılan Kodların bazı parametreleri Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4. 8 mm çapa sahip WC ve TiN kaplı HSS freze çakılarıyla Ti-6Al-4V alaşımının frezelenmesi için çıkartılan CNC kodları

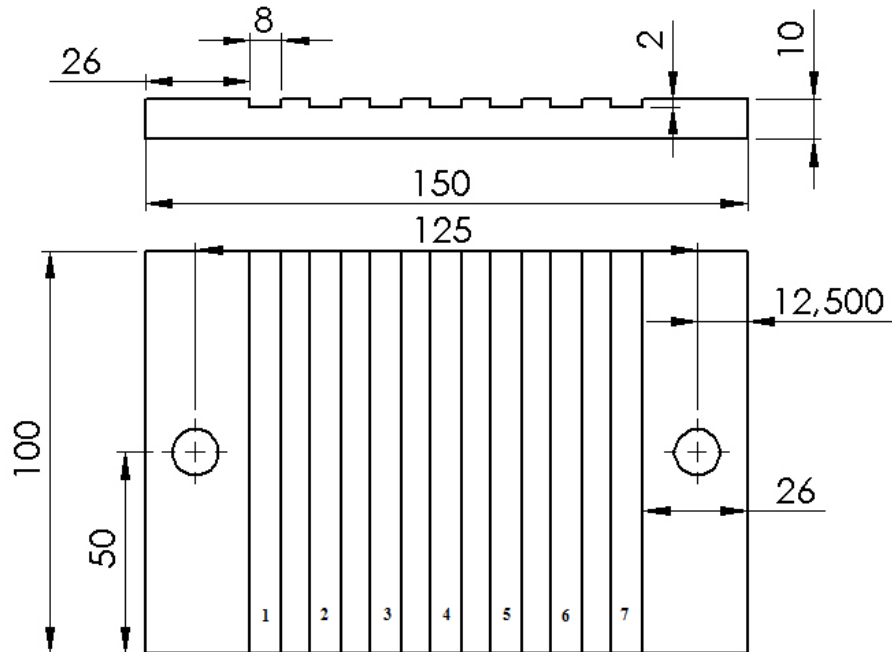
CNC Programı	Plaka Numarası	Kanal Sıra Numarası	Devir n (d/d)	X eksen (x ₁)	İlerleme u (mm/dak)
O0001; G15 G17 G40 G49 G80; G28 G91 Z0; M6 T1; M3 S(<u>n</u>); G0 G90 G54 X(<u>x₁</u>) Y0; G43 Z50 H1; G0 Z5; G1 Z-2 F100; Y 110 F(<u>u</u>); G0 Z5; G28 G91 Z0; M5 M30;	1. Plaka	1 (HSS-TiN)	200	0	10
	1. Plaka	2 (HSS-TiN)	200	15	15
	1. Plaka	3 (HSS-TiN)	200	30	20
	1. Plaka	4 (HSS-TiN)	400	45	20
	1. Plaka	5 (HSS-TiN)	400	60	30
	1. Plaka	6 (HSS-TiN)	400	75	40
	1. Plaka	7 (HSS-TiN)	600	90	30
	2. Plaka	8 (HSS-TiN)	600	0	45
	2. Plaka	9 (HSS-TiN)	600	15	60
	2. Plaka	10 (WC)	200	30	10
	2. Plaka	11 (WC)	200	45	15
	2. Plaka	12 (WC)	200	60	20
	2. Plaka	13 (WC)	400	75	20
	2. Plaka	14 (WC)	400	90	30
	3. Plaka	15 (WC)	400	0	40
	3. Plaka	16 (WC)	600	15	30
	3. Plaka	17 (WC)	600	30	45
	3. Plaka	18 (WC)	600	45	60

Bu parametrelerde TiN kaplı HSS freze çakısıyla açılan 2. freze kanalının görüntüsü Şekil 3.5'de verilmiştir. Ayrıca açılan kanalların katı model çizimi ise Şekil 3.6'da verilmiştir. Şekilde 3.6'da da görüldüğü gibi derinlik 2 mm olacak şekilde 100

mm enine doğru frezeleme yapılmıştır. CNC kodları çıkartılırken 1. Kanal başlangıç noktası seçilmek kaydı ile toplam 18 kanal soğutma sıvısı kullanılmadan açılmıştır. Bu işlem deneysel geçerliliği arttırmak ve hata payını düşürmek için 3 kez tekrarlanmıştır. Ayrıca her bir kanal için ayrı freze çakısı kullanılmıştır.



Şekil 3.5. TiN kaplı HSS freze çakısıyla açılan 2. freze kanalı



Şekil 3.6. Ti-6Al-4V alaşımının freze çakısıyla kanal açılması

Frezeleme esnasında, Testo 881-2 termal kamera ile iş parçası ve takım arasındaki etkileşimden dolayı oluşan sıcaklıklar ölçüldü. Ayrıca deney esnasında çıkan talaş örneklerini analiz etmek için her parametre için talaş örnekleri alındı.

3.3. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi

Farklı kesme parametreleri için frezelenen yüzeylerin pürüzlülük değerleri, Taylor-Hobson's Surtronic 3+ yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile ölçüldü. Ölçümlerde örnekleme uzunluğu (cut-off) 2.5 mm olarak seçilmiştir. Ölçme işlemi frezelenen kanala paralel olacak şekilde 3 farklı noktadan ölçülerek ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra) tespit edildi.

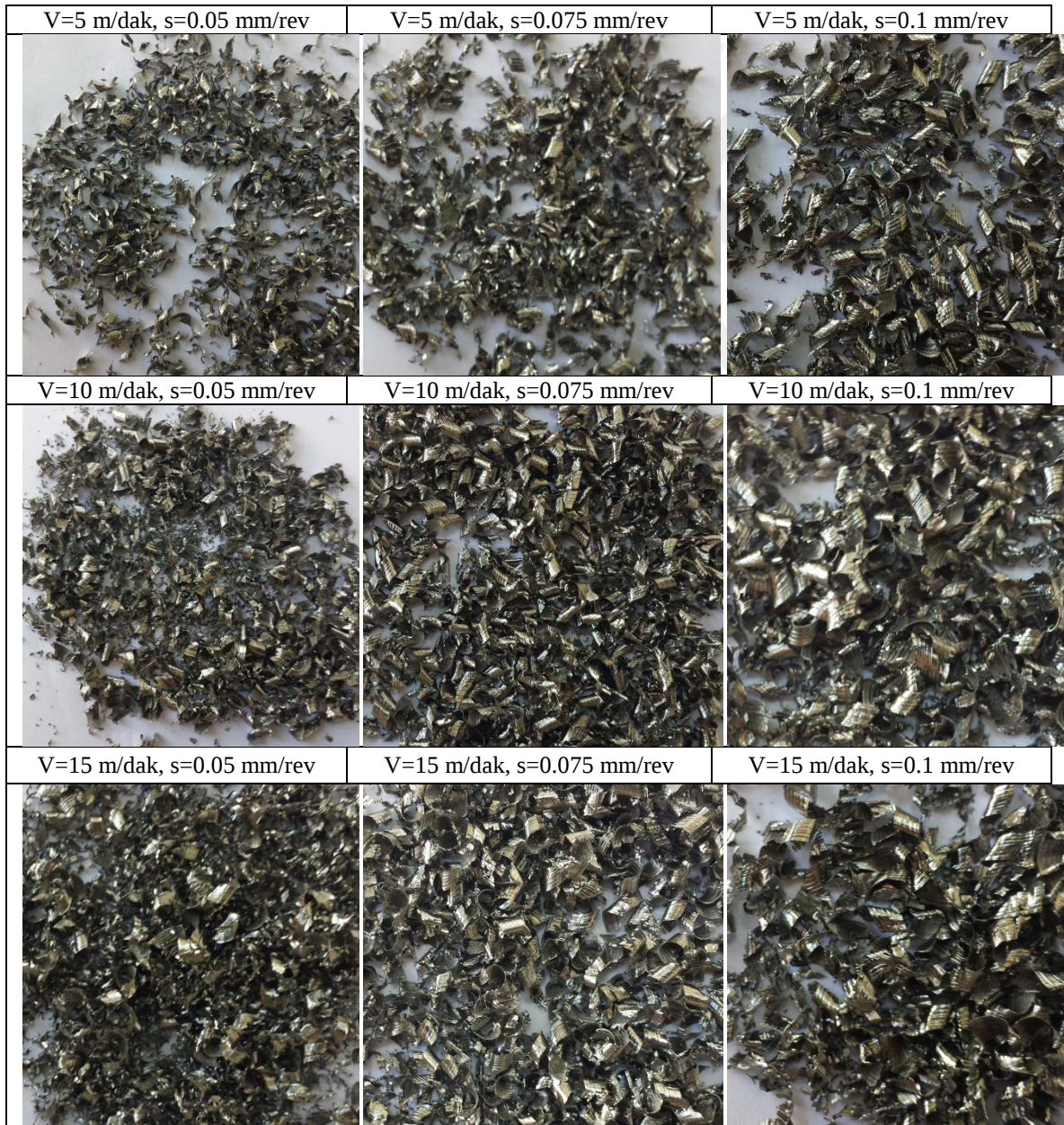
3.4. Çapak Yüksekliği, Kanal Genişliği ve Takım Aşınmasının Belirlenmesi

Günümüzde çapak yükseklikleri, kanal genişlikleri ve takım aşınmalarının ölçümleri farklı teknikler kullanılarak belirlenmektedir. Teknolojinin ilerlemesi ile bu tekniklere yeni uygulama alanları da ilave edilmiştir. Bunlardan biri de 3 boyutlu koordinat ölçüm cihazlarıdır. Bu yüzden yaptığımız Ti-6Al-4V alaşımının frezelenmesinde çapak yüksekliğinin, kanal genişliğinin ve takım uc aşınmasının belirlenmesi için Kocaeli'nde bulunan 3D Model Yap firmasında Breuckman optik (SmartSCAN^{3D}) tarama sistemi ve OptiCAD yazılımı kullanılarak ölçümler alınmıştır.

4. DENEYSEL SONUÇLAR

4.1. Frezeleme Deneylerinde Oluşan Talaş Tipleri

Talaş (sürekli, kesintili ve yapışık talaş) tiplerinin oluşumunu etkileyen ana etken malzemenin karakteristik özellikleri ile malzemenin işlenmesinde seçilen parametrelerdir. Sürekli talaş, genellikle sünek malzemelerin işlenmesinde oluşurken yapışık talaş, sünek malzemelerin orta kesme hızı ve yüksek ilerleme değerlerinde işlenmesinde oluşmaktadır. Kesintili talaş ise gevrek malzemelerin işlenmesinde oluşmaktadır. Ti-6Al-4V alaşımının farklı kesme parametrelerinde frezelenmesi sonucu elde edilen talaş tipleri Şekil 4.1’de verilmiştir.

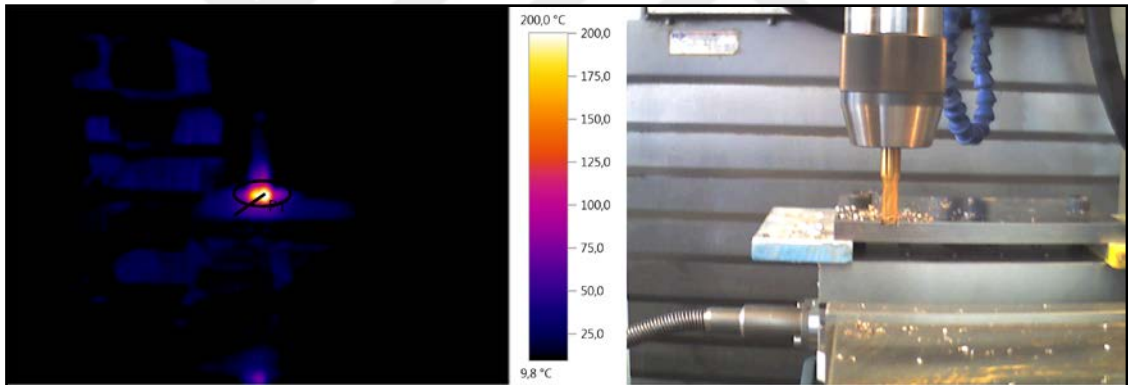


Şekil 4.1. Kesme parametrelerine bağlı olarak oluşan talaş tipleri

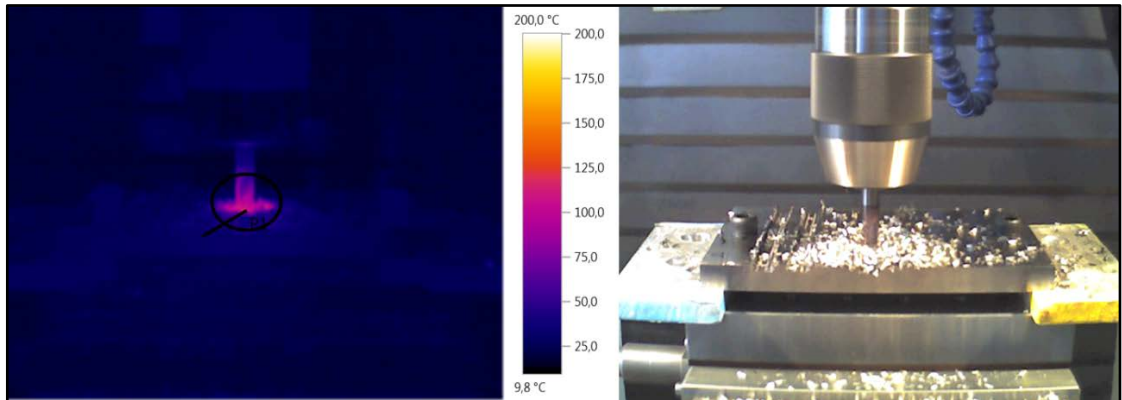
Ti-6Al-4V alaşımının yüksek mukavemet, düşük elastik modülü ve düşük termal özellik gibi üstün özelliklere sahip olması, freze çakıların bir den fazla kesme ağzının olması, kesme hızı ve ilerlemenin değişmesi ve deneylerde kesme sıvısının kullanılmaması, frezeleme sonucu elde edilen talaşların farklılık göstermesine neden olmuştur. Kesme hızı ve ilerlemenin düşük olmasıyla Ti-6Al-4V alaşımından ince kesitli talaş kaldırılmıştır. İlerlemenin artmasıyla talaş kesitinin arttığı gözlemlenmiştir.

4.2. Ti-6Al-4V Alaşımının Frezelenmesinde Sıcaklık Oluşumu

Ti-6Al-4V alaşımının frezelenmesinde, iş parçası ve kesici takım arasındaki etkileşim ve deformasyonlardan dolayı ısı oluşmaktadır. Oluşan ısı, birbiri ile etkileşim halinde bulunan bölgeyi etkilemektedir (Li, 2007). 5 m/dak kesme hızı ve 0.05 mm/dev ilerleme ile şekil 4.2’de TiN kaplı HSS ve şekil 4.3’de WC kesici takımlarla Ti-6Al-4V alaşımının frezelenmesinde kanal girişinde oluşan sıcaklıklar verilmiştir.

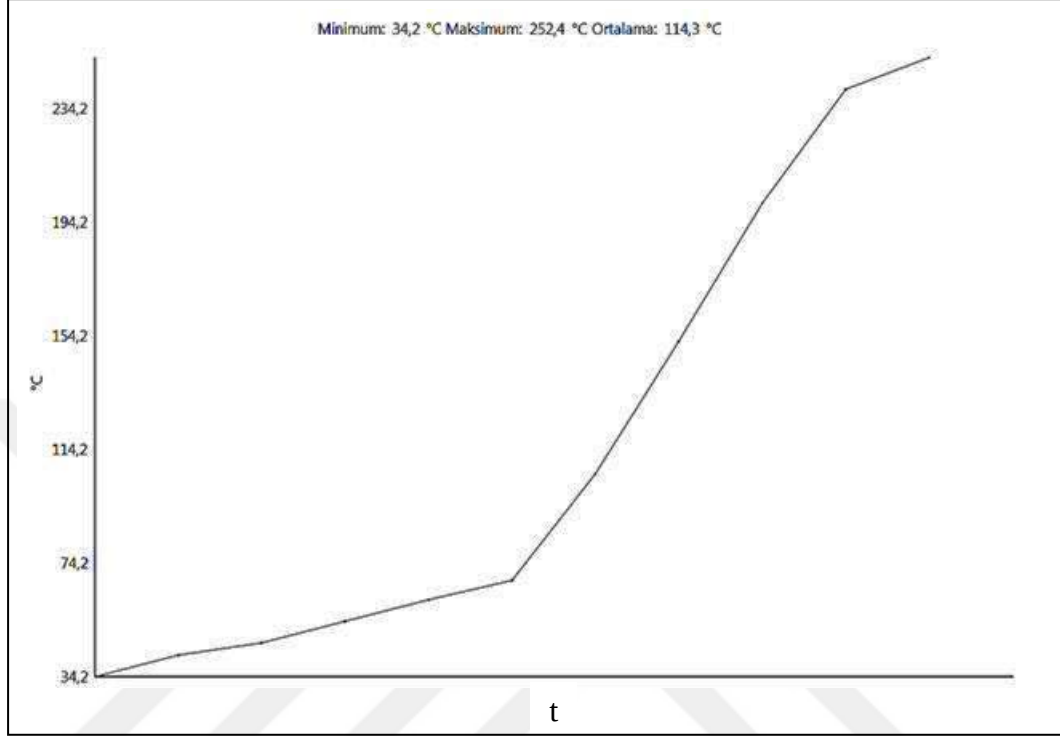


şekil 4.2. TiN kaplı HSS takımla işlenen alaşımın kanal girişinde oluşan sıcaklık

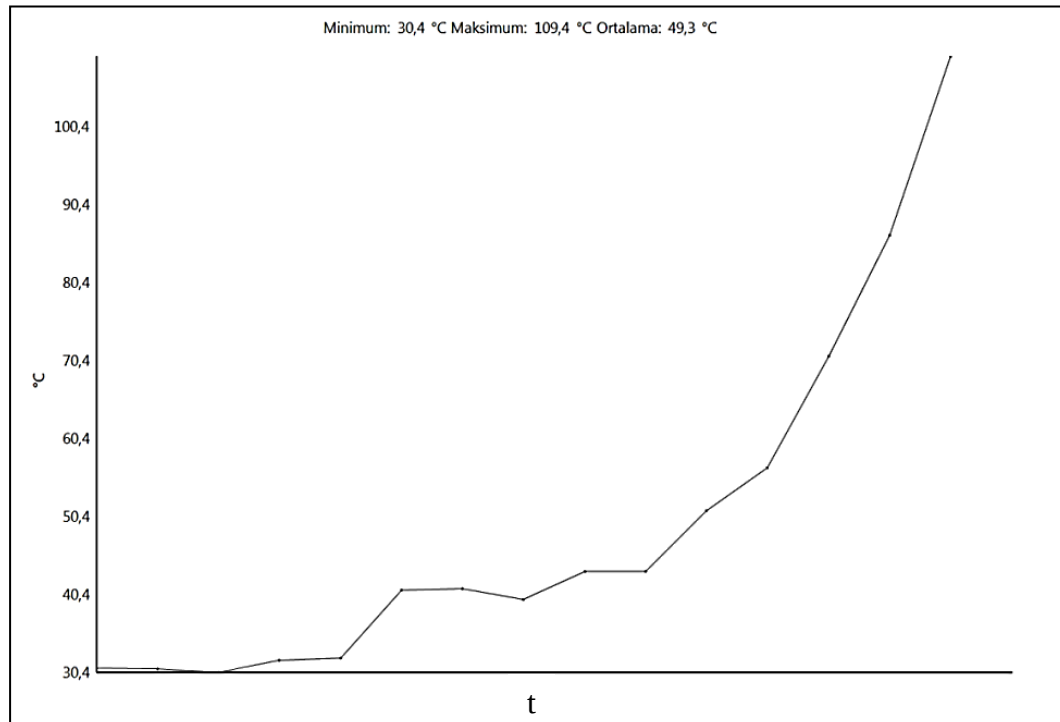


şekil 4.3. WC kesici takımla işlenen alaşımının kanal girişinde oluşan sıcaklık

Hem TiN kaplı HSS hem de WC kesici takımlarla iş parçasında açılan kanalın girişinde oluşan sıcaklıklar, kesici takım ile iş parçası arasındaki etkileşimin fazla olmamasından dolayı düşük olarak ölçülmüştür. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'deki ısının olduğu bölgelerdeki sıcaklık dağılımları sırasıyla Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'de verilmiştir.



Şekil 4.4. TiN kaplı HSS kesici takım ile kanal açılan yerin dışından ısı merkezine doğru oluşan sıcaklık

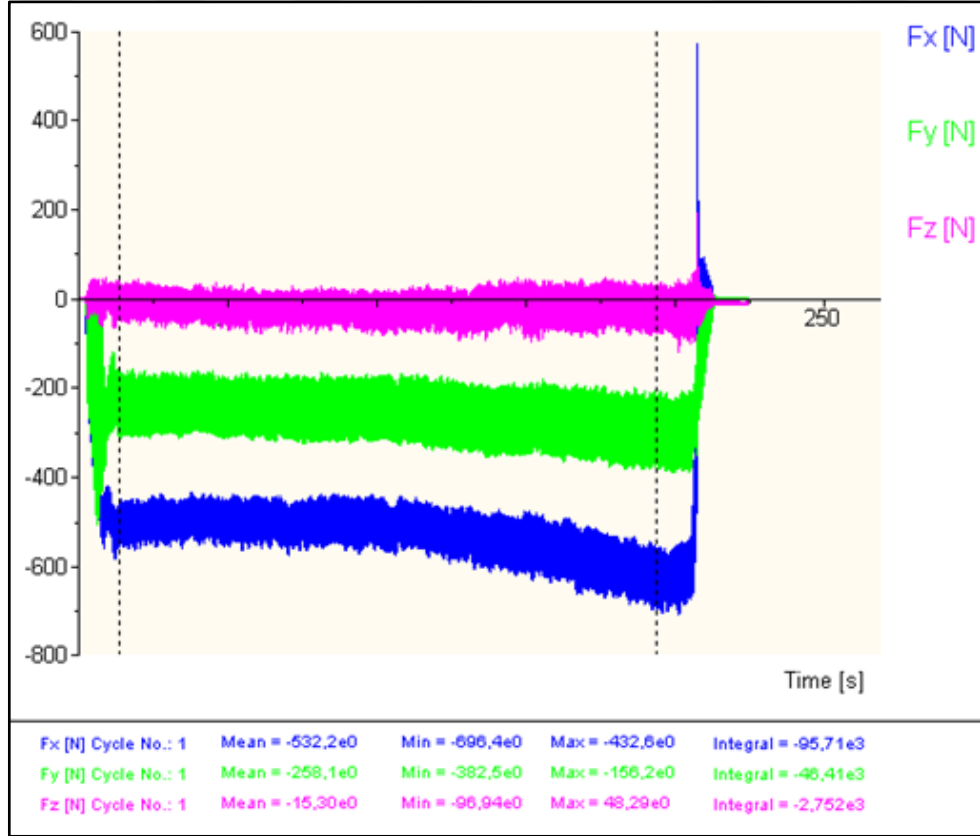


Şekil 4.5. WC kesici takımla kanal açılan yerin dışından ısı merkezine doğru oluşan sıcaklık

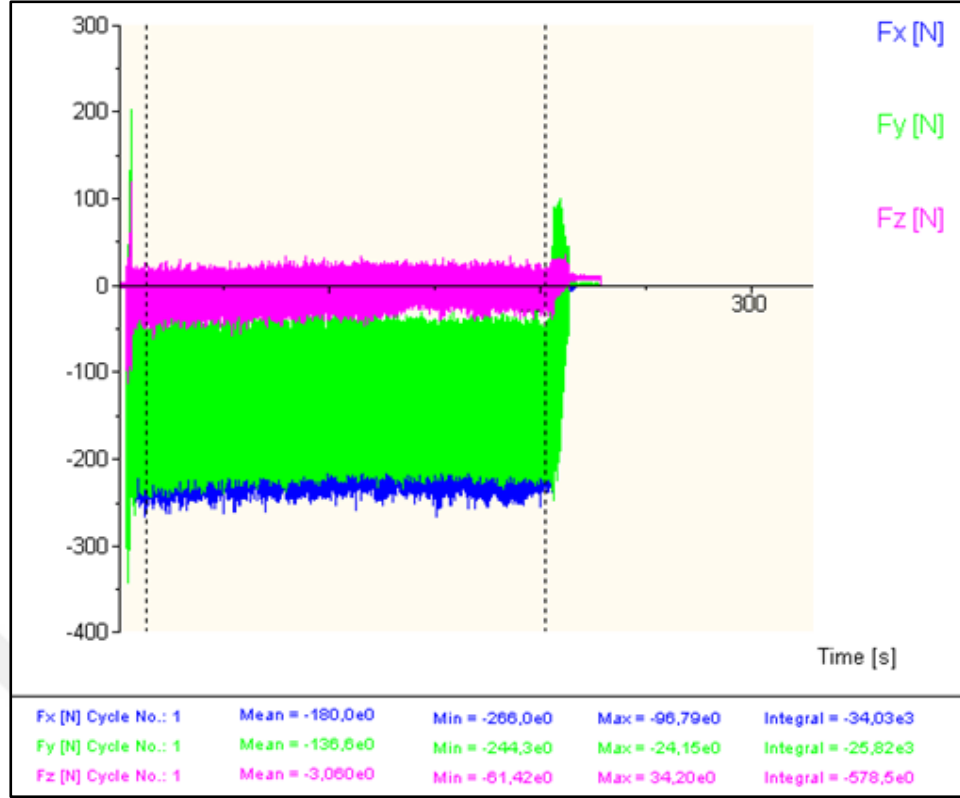
TiN kaplı HSS kesici takımla açılan kanalın girişinde ölçülen maksimum sıcaklık Şekil 4.4’de de görüldüğü gibi yaklaşık 252.4 °C’dir. Bu durum WC kesici takım için Şekil 4.5’de de görüldüğü gibi yaklaşık 109.4 °C’ye kadar düşmüştür. Ayrıca, Ti-6Al-4V alaşımının düşük termal özelliğine sahip olmasından dolayı sıcaklık her iki kesici takımda da takımın uç kısmında yoğunlaşmıştır. Her iki kesici takım için kanal açma işlemi sürdürüldüğünde oluşan sıcaklığın sürekli olarak arttığı gözlemlenmiştir. Kesme hızının artması da sürtünmeyi arttırdığından sıcaklık daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Sonuç olarak, WC takımlara göre TiN kaplı HSS takımlarla Ti-6Al-4V alaşımı frezelenildiği zaman oluşan sıcaklığın daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun ana sebebinin kesici takımların sertlik değerlerindeki ve kaplama özelliklerindeki farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.3. Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvvetleri Üzerine Etkisi

Farklı kesme hızı ve ilerleme için deney esnasında Kistler 9257B dinamometre ile kuvvet ölçümleri alınmıştır. Deney esnasında 10 m/dak kesme hızı ve 0.075 mm/dev ilerleme için oluşan kuvvet ölçümleri TiN kaplı HSS ve WC kesici takımlar için sırasıyla Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.6. TiN kaplı HSS kesici takımla ölçülen kuvvet diyagramı



Şekil 4.7. WC kesici takımla ölçülen kuvvet diyagramı

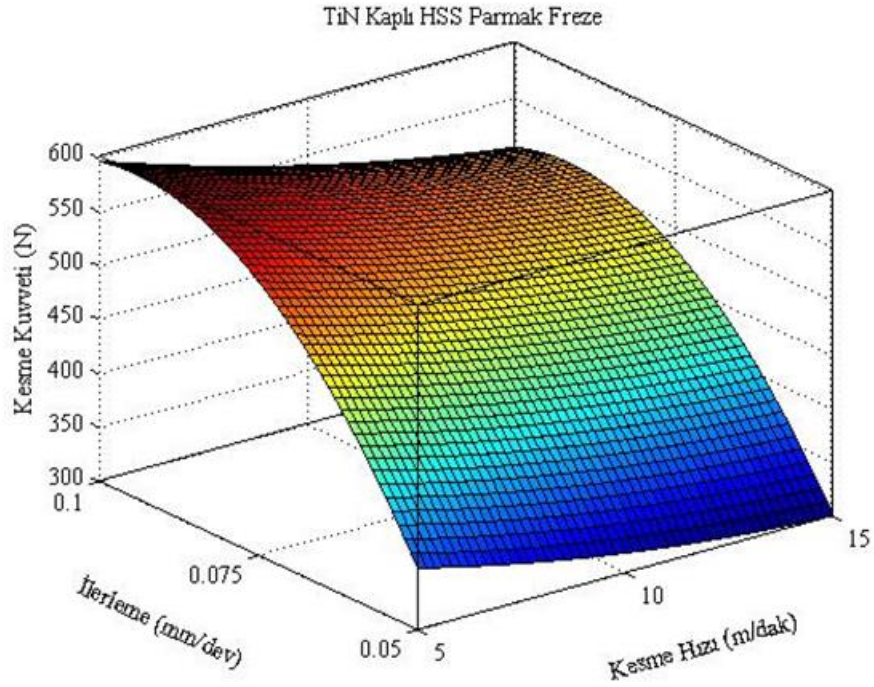
Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de TiN kaplı HSS ve WC kesici takımların kuvvet eksenlerine bakıldığında, WC kesici takım üzerinde oluşan kuvvetlerin TiN kaplı HSS kesici takımlarda oluşan kuvvetlerden daha az olduğu görülmüştür. Diğer kesme parametrelerine bağlı olarak deneysel çalışmalar sırasında Kistler 9257B dinamometre ile kesici takımlar üzerinde ölçülen kuvvetleri Denklem 4.1’de yazılarak elde edilen kesme kuvvetlerinin değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (4.1)$$

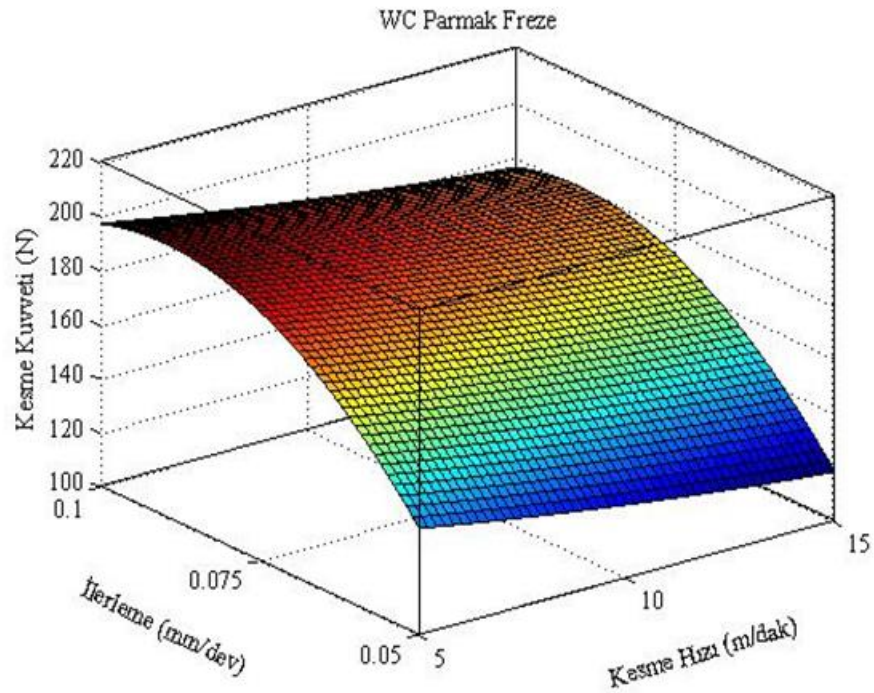
Tablo 4.1. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak Ti-6Al-4V’nin frezelenmesinde ölçülen kesme kuvvetlerinin değerleri

Kesme Hızı V (m/dak)	İlerleme s (mm/dev)	TiN Kaplı HSS için F _{TiN} (N)	WC için F _{WC} (N)
5	0.05	345	139
5	0.075	561	192
5	0.1	599	197
10	0.05	335	127
10	0.075	503	180
10	0.1	524	184
15	0.05	295	118
15	0.075	473	170
15	0.1	513	176

Tablo 4.1’de verilmiş olan deneysel çalışma sonuçları MATLAB programına aktarılmış ve kesme kuvveti için istenen grafikler elde edilmiştir. Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da TiN kaplı HSS ve WC parmak freze için kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak kesme kuvvetlerinin değişimleri sırasıyla verilmiştir.



Şekil 4.8. TiN kaplı HSS parmak frezeden kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen kesme kuvvetleri (N)



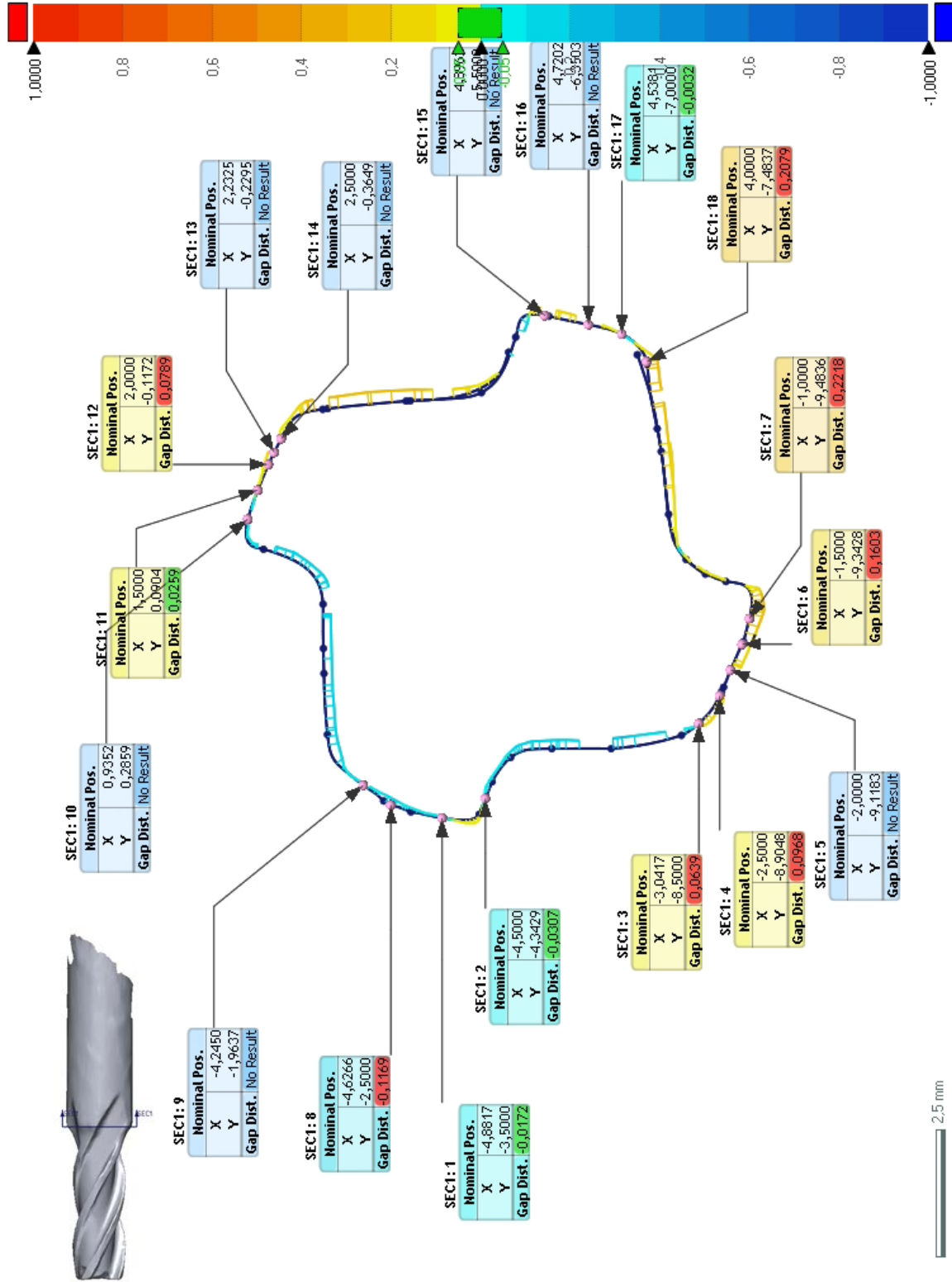
Şekil 4.9. WC parmak frezeden kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen kesme kuvvetleri (N)

Şekil 4.8’de görüldüğü gibi TiN kaplı HSS kesici takım ile Ti-6Al-4V alaşımının frezelenmesinde kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetinin düştüğü ilerlemenin artmasıyla da kesme kuvvetlerinin arttığı görülmüştür. Bu durum Şekil 4.9’da WC kesici takım için de geçerlidir. Kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetindeki azalmanın nedeni yüksek kesme hızında sürtünmenin artması ve dolayısıyla talaş kaldırma bölgesinde yüksek sıcaklıkların oluşmasından ve kaldırılan talaş kesitinin azalmasından olduğu değerlendirilmektedir. İlerlemenin artmasıyla kesme kuvvetindeki artışın nedeni ise kesici takımın parçayı daha hızlı olarak şekillendirmeye çalışmasından diğer bir değişle kaldırılan talaş kesitinin artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. En düşük kesme kuvveti değeri, yüksek kesme hızı (15 m/dak) ve düşük ilerlemede (0.05 mm/dev) WC kesici takımdan 118 N olarak elde edilmiştir. En yüksek kesme kuvveti ise düşük kesme hızı (5 m/dak) ve yüksek ilerlemede (0.1 mm/dev) TiN kaplı HSS kesici takımdan 599 N olarak elde edilmiştir. TiN kaplı HSS kesici takımdan elde edilen kesme kuvvetlerinin WC kesici takımdan elde edilen kesme kuvvetlerinden yüksek olmasının nedeni kesici takım malzemelerinin farklı olmasından kaynaklanmıştır.

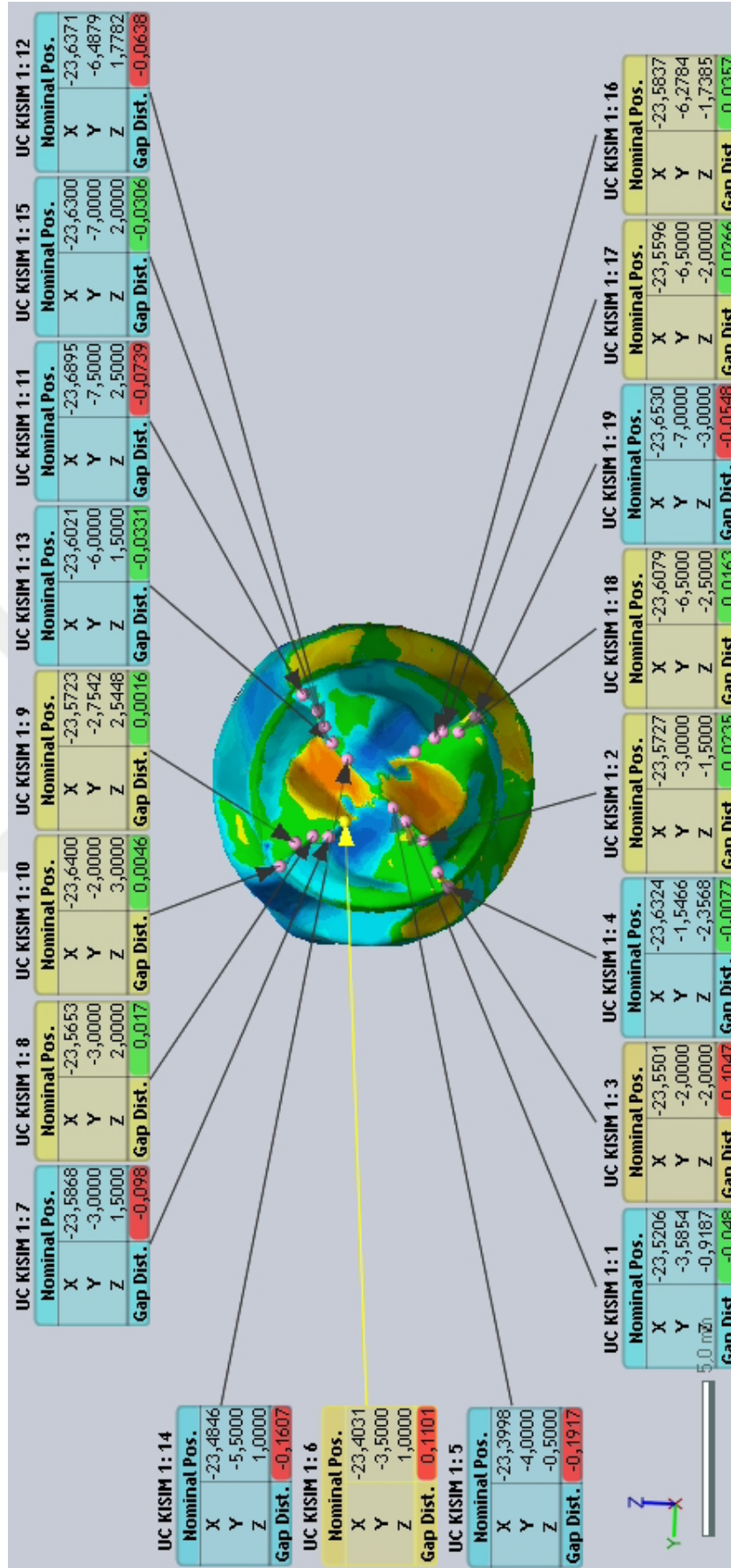
4.4. Ti-6Al-4V Alaşımının Frezelenmesi Sonucu Oluşan Takım Aşınması

Takım aşınması ölçümleri esnasında önce freze çakılarına parlaklık ve yansımaları gidermek için tahribatsız BT 70 muayene spreyi sıkılmıştır. Daha sonra kullanılmamış bir frezenin taraması gerçekleştirilmiştir. Taranan bu freze çakısı referans noktası olarak seçilmiştir ve ardından kullanılmış freze çakılarının taraması gerçekleştirilmiştir. Referans kabul edilen freze çakısıyla kullanılmış freze çakılarının verileri karşılaştırılarak takım aşınması analiz edilmiştir. Böylece deneyler sonucunda TiN kaplı HSS ve WC parmak frezeler üzerinde meydana gelen aşınmalar belirlenmiştir. 10 m/dak kesme hızı ve 0,075 mm/dev ilerleme için TiN kaplı HSS parmak frezenin uç kesitinde ve üzerinde oluşan aşınmalar sırasıyla Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de verilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda kesme parametrelerine bağlı olarak parmak frezelerin ucunda oluşan takım aşınma miktarları ise Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2’de verilmiş olan deneysel çalışma sonuçları MATLAB programına aktarılmış olup takım aşınması için istenen grafikler elde edilmiştir. Şekil 4.12 ve Şekil 4.13’te TiN kaplı HSS ve WC parmak frezeler için kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak takım aşınma değerleri sırasıyla verilmiştir.



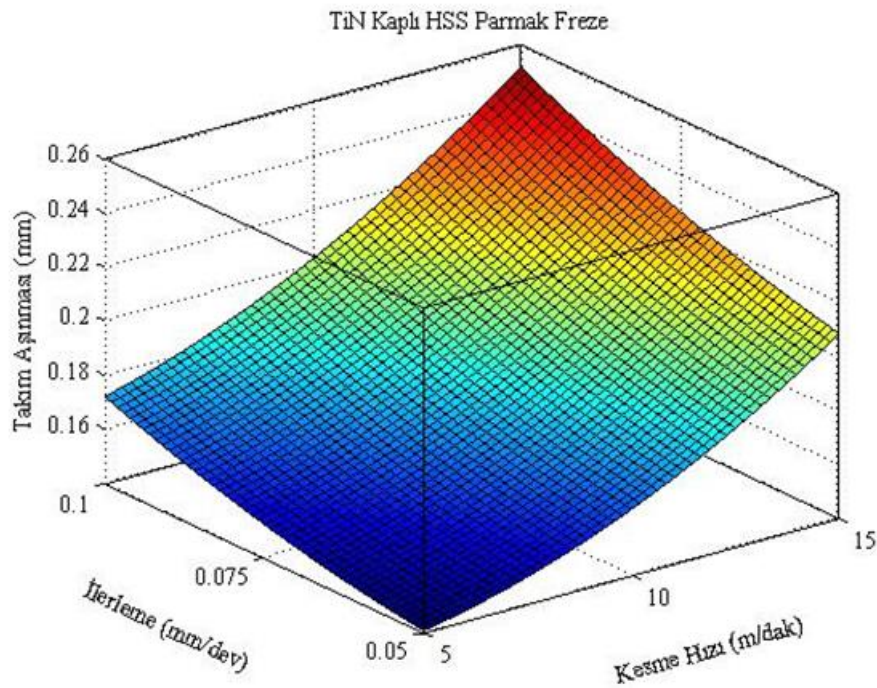
Şekil 4.10. TiN kaplı HSS parmak frezinin uç kesitinde oluşan aşınma



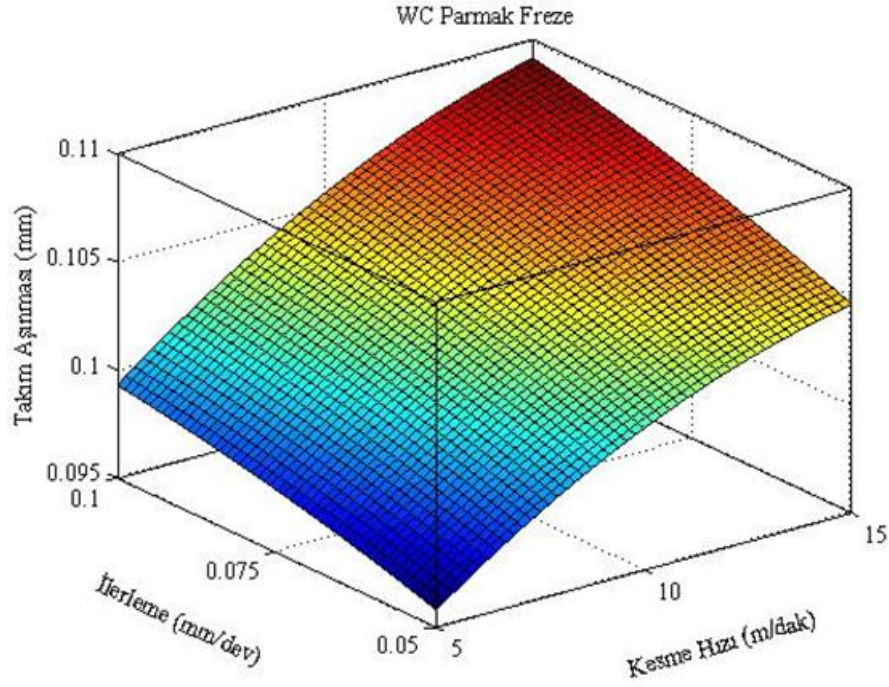
Şekil 4.11. TiN kaplı HSS parmak frezinin uç kenarlarında oluşan aşınma

Tablo 4.2. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak parmak frezelerde oluşan takım aşınması

Kesme Hızı V (m/dak)	İlerleme s (mm/dev)	TiN kaplı HSS için Aşınma Değerleri (mm)	WC için Aşınma Değerleri (mm)
5	0.05	0.141	0.096
5	0.075	0.153	0.098
5	0.1	0.172	0.099
10	0.05	0.167	0.101
10	0.075	0.174	0.104
10	0.1	0.205	0.106
15	0.05	0.206	0.105
15	0.075	0.231	0.107
15	0.1	0.249	0.109

**Şekil 4.12.** TiN kaplı HSS parmak frezeden kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen takım aşınma değerleri

Şekil 4.12’de görüldüğü gibi TiN kaplı HSS kesici takımda ilerleme ve kesme hızının artmasıyla takım aşınmasında artış görülmüştür. En düşük aşınma değeri, düşük kesme hızı (5 m/dak) ve düşük ilerlemede (0.05 mm/dev) 0.141 mm olarak ölçülürken en yüksek aşınma değeri, yüksek kesme hızı (15 m/dak) ve yüksek ilerlemede (0.1 mm/dev) 0.249 mm olarak ölçülmüştür. Şekil 4.13’de görüldüğü gibi WC kesici takımda da TiN kaplı HSS kesici takım gibi ilerleme ve kesme hızının artmasıyla takım aşınmasında artış görülmüştür. En düşük aşınma değeri, düşük kesme hızı (5 m/dak) ve düşük ilerlemede (0.05 mm/dev) 0.096 mm olarak ölçülürken en yüksek aşınma değeri, yüksek kesme hızı (15 m/dak) ve yüksek ilerlemede (0.1 mm/dev) 0.109 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.13. WC parmak frezeden kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen takım aşınma değerleri

Ancak, WC kesici takımda oluşan aşınmanın TiN kaplı HSS takımda oluşan aşınmadan daha aza olduğu görülmüştür. Her iki kesici takıma bağlı olarak en düşük aşınma değeri, düşük kesme hızı ve ilerleme miktarlarında WC parmak frezeden elde edilmiştir. En yüksek aşınma değerleri ise yüksek kesme hızı ve ilerleme miktarlarında TiN kaplı HSS parmak frezeden elde edilmiştir.

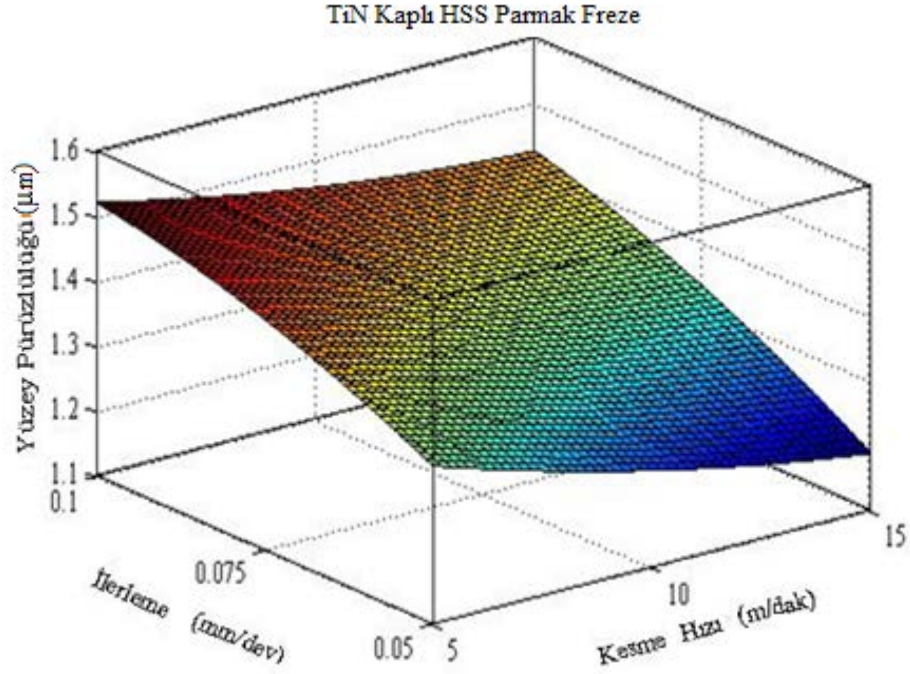
4.5. Frezelenen Kanallarda Oluşan Yüzey Pürüzlülüğü

Deneysel çalışma sonucunda kesme parametrelerine bağlı olarak frezelenen kanallarda oluşan ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra) Tablo 4.3’de verilmiştir.

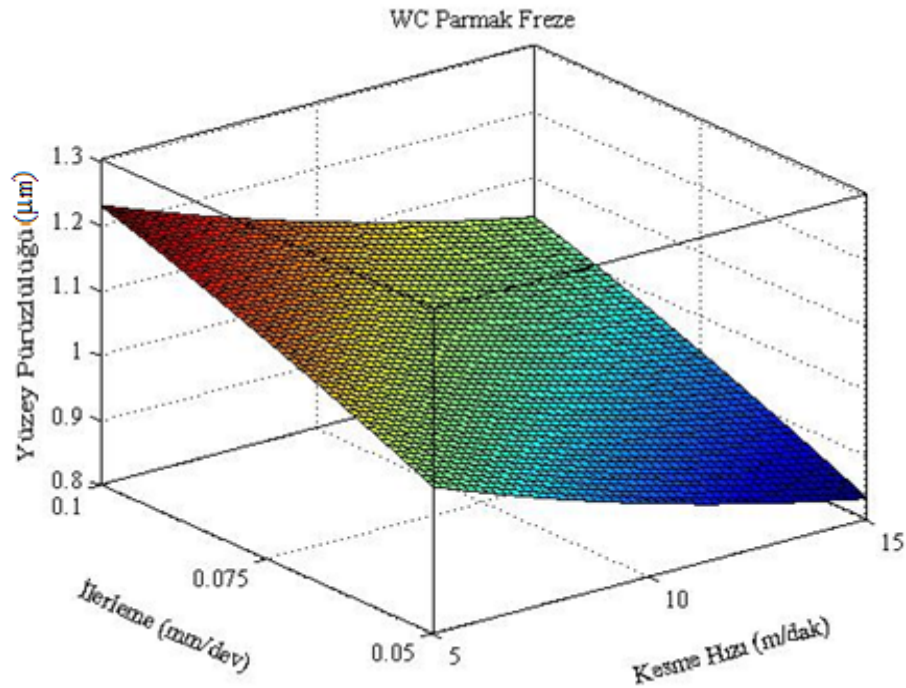
Tablo 4.3. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri

Kesme Hızı V (m/dak)	İlerleme s (mm/dev)	TiN kaplı HSS Parmak Frezelemeyle Oluşan Ra (µm)	WC Parmak Frezelemeyle Oluşan Ra (µm)
5	0.05	1.35	1.04
5	0.075	1.45	1.14
5	0.1	1.52	1.21
10	0.05	1.24	0.88
10	0.075	1.38	1.02
10	0.1	1.46	1.15
15	0.05	1.19	0.85
15	0.075	1.33	0.94
15	0.1	1.42	1.02

Tablo 4.3'te verilmiş olan deneysel çalışma sonuçları MATLAB programına aktarılmış olup, TiN kaplı HSS ve WC parmak frezeler için kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak frezelenen kanallarda oluşan ortalama yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 4.14 ve Şekil 4.15 deki gibi elde edilmiştir.



Şekil 4.14. TiN kaplı HSS parmak frezenden kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü



Şekil 4.15. WC parmak frezeden kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü

Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de görüldüğü gibi TiN kaplı HSS ve WC parmak frezelerde ilerleme arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğünün arttığı, kesme hızı arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmektedir. Kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerinde etkisi incelendiğinde, ilerlemenin artması kesme kuvvetinin artmasına, kesme hızının artması kesme kuvvetlerinin azalmasına yol açtığı görülmüştü. Kesme kuvvetleri arttığında takım ve iş parçası çiftinde titreşimlerin artması muhtemeldir. Bu durum neticesinde ise ilerlemenin artması ortalama yüzey pürüzlülüğünün kötüleşmesine, kesme hızının artması ise ortalama yüzey pürüzlülüğünün azalmasına yol açtığı düşünülmektedir. Aynı kesme parametreleri için TiN kaplı HSS kesici takımdan elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin WC takımdan elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni TiN kaplı HSS takımla frezelemede oluşan kesme kuvvetlerinin WC takımla frezelemede oluşan kesme kuvvetlerinden daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bahçe ve arkadaşları (2010) ise talaşlı imalat esnasında oluşan yüzey pürüzlülüğünün ve mikroyapının; tezgâhın titreşimi, devir sayısı, ilerleme, kesme sıvısı kullanılıp kullanılmadığı gibi parametreler ile takım malzemesinin sertliği, sünekliği, mekanik dayanımı, kalınlığı ve geometrisi gibi parametrelere bağlı olduğuna değinmişlerdir.

Ti-6Al-4V alaşımının frezeleme deneyleri sonucunda, ortalama yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak en iyi yüzey kalitesi ilerlemenin 0.05 mm/dev, kesme hızının 15 m/dak olduğu durumda WC kesici takımdan, en kötü yüzey kalitesi ise ilerlemenin 0.1 mm/dev, kesme hızının 5 m/dak olduğu durumda TiN kaplı HSS takımdan elde edilmiştir.

4.6. Frezelenen Kanallarda Oluşan Çapak Yüksekliği

Frezelenen kanallardaki çapak yüksekliklerinin belirlenmesi için frezelenen numunenin CAD çizimi OptiCAD yazılımına yüklendi ve ardından üzerine tahribatsız muayene spreyi sıkılan frezelenmiş numunenin tarama işlemi gerçekleştirildi. Taranan şekil ile CAD çizim üst üste çakıştırılarak boyutsal kalite yapıldı. Deneysel çalışma sonucunda kesme parametrelerine (5 m/dak kesme hızı ve 0.05 mm/dev ilerleme) bağlı olarak frezelenen kanallarda oluşan çapak görüntüsü Şekil 4.16’da, ortalama çapak yüksekliği Tablo 4.4’de verilmiştir.

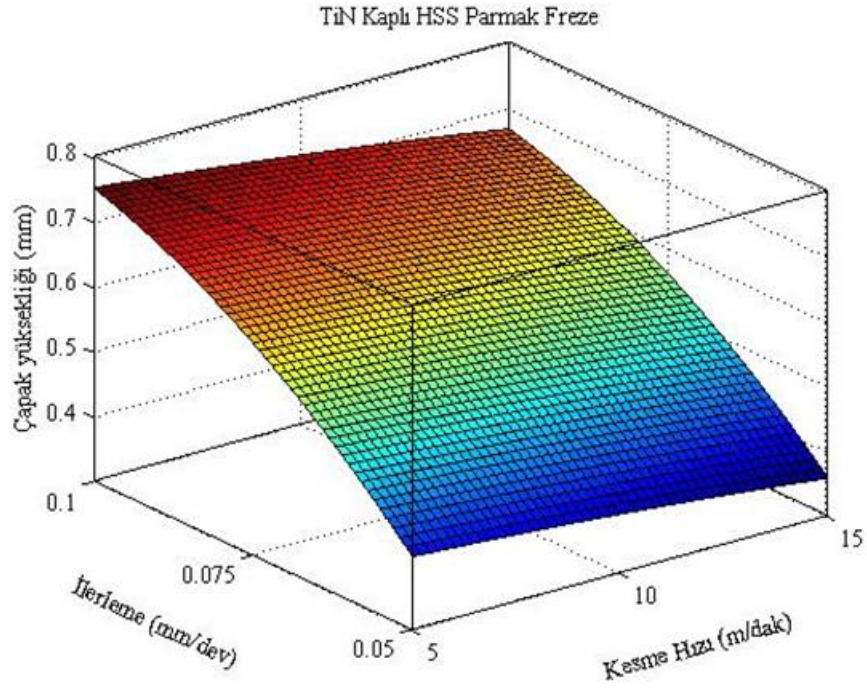


Şekil 4.16. 5 m/dak kesme hızı ve 0.05 mm/dev ilerleme ile frezelenen kanallarda oluşan çapak görüntüsü

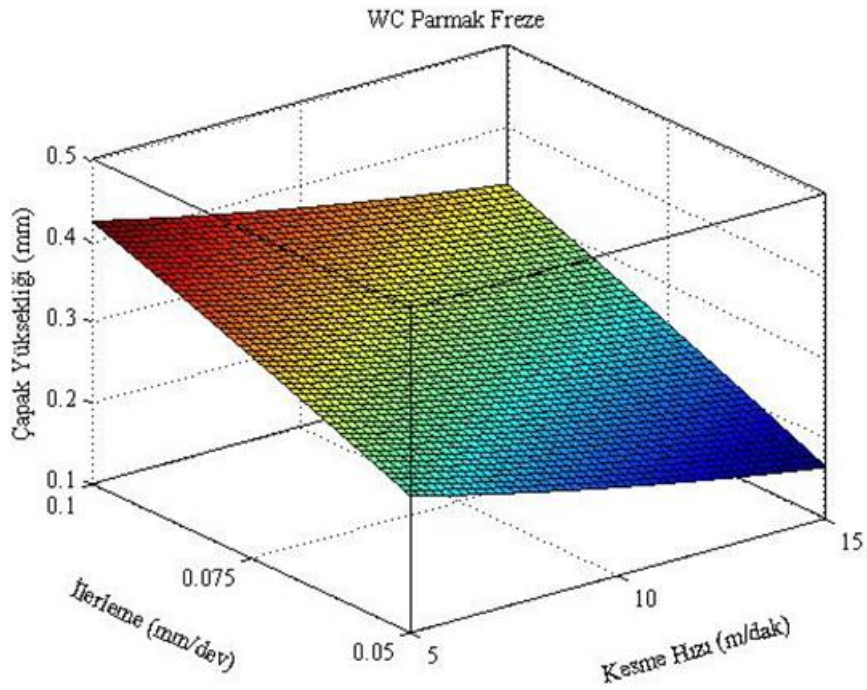
Tablo 4.4. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak frezelenen kanallarda oluşan çapak yüksekliği

Kesme Hızı V (m/dak)	İlerleme s (mm/dev)	TiN kaplı HSS Parmak Frezelemeyle oluşan Çapak Yüksekliği (mm)	WC Parmak Frezelemeyle Oluşan Çapak Yüksekliği (mm)
5	0.05	0.41	0.27
5	0.075	0.63	0.35
5	0.1	0.75	0.42
10	0.05	0.39	0.20
10	0.075	0.60	0.30
10	0.1	0.71	0.37
15	0.05	0.36	0.17
15	0.075	0.55	0.24
15	0.1	0.67	0.33

Tablo 4.4'te verilmiş olan deneysel çalışma sonuçları MATLAB programına aktarılmış olup Şekil 4.17. ve Şekil 4.18.'deki kanallarda oluşan çapak yüksekliklerinin grafikleri elde edilmiştir.



Şekil 4.17. Kesme parametrelerine bağlı olarak TiN kaplı HSS parmak freze ile açılan kanallarda oluşan çapak yüksekliği



Şekil 4.18. Kesme parametrelerine bağlı olarak WC parmak freze ile açılan kanallarda oluşan çapak yüksekliği

Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de görüldüğü gibi hem TiN kaplı HSS hem de WC kesici takımda ilerlemenin artması çapak yüksekliğinin artmasına, kesme hızının artması ise çapak yüksekliğinin azalmasına neden olmuştur. Minimum çapak yüksekliği ilerlemenin 0.05 mm/den, kesme hızının 15 m/dak olduğu durumda WC kesici takımdan elde edilmiştir. Maksimum çapak yüksekliği ise ilerlemenin 0.1 mm/den, kesme hızının 5 m/dak olduğu durumda TiN kaplı HSS kesici takımdan elde edilmiştir.

4.7. Kesme Parametrelerinin Frezelenen Kanal Genişliğindeki Etkisi

Çapak yüksekliğinde olduğu gibi Breuckman optik (SmartSCAN^{3D}) tarama sistemi ve OptiCAD yazılımı kullanılarak frezelenmiş kanalın genişlikleri ölçülmüştür. Ölçüm sonucunda kesme parametrelerine bağlı olarak frezelenen kanalların giriş ve çıkışlarındaki ölçülen değerler TiN kaplı HSS kesici takım için Tablo 4.5’deki gibi WC kesici takım için ise Tablo 4.6’daki gibi elde edilmiştir.

Tablo 4.5. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak TiN Kaplı HSS kesici takımla frezelenen kanalların giriş ve çıkışlarında ölçülen değerler

Freze Çakısı	Kesme Hızı V (m/dak)	İlerleme s (mm/dev)	Kanalın Giriş Genişliği (mm)	Kanalın Çıkış Genişliği (mm)	Sapma Miktarı (mm)
TiN Kaplı HSS	5	0.05	8.041	8.022	0.019
	5	0.075	8.038	8.018	0.020
	5	0.1	8.027	8.008	0.019
	10	0.05	8.110	8.144	-0.034
	10	0.075	8.108	8.099	0.009
	10	0.1	8.098	8.023	0.075
	15	0.05	8.254	8.189	0.65
	15	0.075	8.203	8.123	0.80
	15	0.1	8.180	8.107	0.73

Tablo 4.6. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak WC kesici takımla frezelenen kanalların giriş ve çıkışlarında ölçülen değerler

Freze Çakısı	Kesme Hızı V (m/dak)	İlerleme s (mm/dev)	Kanal Giriş Genişliği (mm)	Kanal Çıkış Genişliği (mm)	Sapma Miktarı (mm)
WC	5	0.05	8.010	8.010	0
	5	0.075	8.008	8.007	0.001
	5	0.1	8.007	8.006	0.001
	10	0.05	8.015	8.014	0.001
	10	0.075	8.014	8.012	0.002
	10	0.1	8.011	8.011	0
	15	0.05	8.020	8.017	0.003
	15	0.075	8.018	8.015	0.003
	15	0.1	8.015	8.012	0.003

Ti-6Al-4V alaşımasının TiN kaplı HSS ve WC kesici takımlarla frezelenmesinde ilerlemenin ve kesme hızının kanal genişliğine etkisi incelendiğinde ilerlemenin artmasıyla kanal genişliğindeki sapma gittikçe azalmıştır. Kesme hızının artmasıyla kanal genişliğindeki sapma ise artmıştır. Ayrıca TiN kaplı HSS kesici takımla frezelenen kanalın giriş ve çıkışındaki sapma büyük farklılıklar gösterirken WC kesici takımla frezelenen kanalın giriş ve çıkışındaki sapma oldukça bir birine yakın olarak elde edilmiştir. Frezelenen kanalın giriş ve çıkışlarındaki bu sapmalar tezgâh rijitliği, kesici takım özellikleri, sehim, titreşim, soğutma ve aşınma gibi etkilerin bir sonucudur.

4.8. Frezelenen Ti-6Al-4V Alaşımasının Matematiksel Modellenmesi

Ti-6Al-4V alaşımasının frezeleme deneyleri yapıldıktan sonra kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak elde edilen kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülükleri, takım aşınmaları ve çapak yüksekliklerinin değerleri Matlab programına tanımlanmıştır. Matlab programında yazılan kodlar Ek 1’de verilmiştir. Matlab programı elde edilen sonuçlara göre grafikler ve 2. dereceden poligon olarak matematiksel formülizasyon oluşturmuştur. İlerleme ve kesme hızına bağlı olarak elde edilen matematiksel formül Denklem 4.1’de verilmiştir.

$$f(s, V) = p_{00} + p_{10}xV + p_{01}xs + p_{20}xV^2 + p_{11}xVxs + p_{02}xs^2 \quad (4.1)$$

Denklemden p_{00} , p_{01} , p_{02} , p_{10} , p_{11} ve p_{20} sabit değişkenlerdir. TiN kaplı HSS ve WC parmak freze çakıları ile işlenen Ti-6Al-4V alaşımında oluşan kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülükleri, takım aşınmaları ve çapak yükseklikleri için değişkenler R^2 ’leri ile birlikte Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7. Kesme kuvveti, takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve çapak yüksekliği formüllerine ait sabit değerler

	<i>p00</i>	<i>p10</i>	<i>p01</i>	<i>p20</i>	<i>p11</i>	<i>p02</i>	<i>R</i> ² %
<i>F</i> _{TiN-HSS}	-457.6	-10.33	2.365e+04	0.4133	-72	-1.235e+05	0.9907
<i>F</i> _{WC}	-93.44	-3.467	6873	0.06667	1.974e-13	-3.813e+04	0.9998
<i>VB</i> _{TiN-HSS}	0.144	-0.002467	-0.4533	0.0004	0.024	6.4	0.9923
<i>VB</i> _{WC}	0.08172	0.00185	0.14	-5.333e-05	0.002	-0.5333	0.9946
<i>Ra</i> _{TiN-HSS}	-1.139	-0.035	8.553	0.0006667	0.12	-37.33	0.9977
<i>Ra</i> _{WC}	0.9022	-0.03267	6.067	0.0006667	-9.489e-16	-13.33	0.9723
<i>h</i> _{TiN-HSS}	-0.2883	0.0015	17.87	-0.0002	-0.06	-72	0.9994
<i>h</i> _{WC}	0.1639	-0.01683	3.8	0.0002667	0.02	-5.333	0.9947

Bu değerler kesme hızı (*V*) ve ilerleme (*s*) parametrelerine göre Denklem 4.1’de yerine yazılırsa;

$$F_{TiN-HSS} = -457.6 - 10.33xV + 2.365x10^4xs + 0.4133xV^2 - 72xVxs - 1.235x10^5xs^2 \quad (4.2)$$

$$F_{WC} = -93.44 - 3.467xV + 6873xs + 0.06667xV^2 + 1.974x10^{-13}xVxs - 3.813x10^4xs^2 \quad (4.3)$$

$$VB_{TiN-HSS} = 0.144 - 0.002467xV - 0.4533xs + 0.0004xV^2 + 0.024xVxs + 6.4xs^2 \quad (4.4)$$

$$VB_{WC} = 0.08172 + 0.00185xV + 0.14xs - 5.333x10^{-5}xV^2 + 0.002xVxs - 0.5333xs^2 \quad (4.5)$$

$$Ra_{TiN-HSS} = -1.139 - 0.035xV + 8.553xs + 0.0006667xV^2 + 0.12xVxs - 37.33xs^2 \quad (4.6)$$

$$Ra_{WC} = 0.9022 - 0.03267xV + 6.067xs + 0.0006667xV^2 - 9.489x10^{-16}xVxs - 13.33xs^2 \quad (4.7)$$

$$h_{TiN-HSS} = -0.2883 + 0.0015xV + 17.87xs - 0.0002xV^2 - 0.06xVxs - 72xs^2 \quad (4.8)$$

$$h_{WC} = 0.1639 - 0.01683xV + 3.8xs + 0.0002667xV^2 + 0.02xVxs - 5.333xs^2 \quad (4.9)$$

değerleri elde edilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Ti-6Al-4V alaşımının TiN kaplı HSS ve WC kesici takımlarla farklı kesme parametrelerinde (kesme hızı, ilerleme) frezelenmesi sonucu kesme parametrelerinin işlenen yüzeye ve kesici takıma etkileri incelenmiştir.

Ti-6Al-4V alaşımının yüksek mukavemet ve düşük elastik modülü gibi özelliklere sahip olması, deneylerde 4 kesme ağzına sahip freze çakıların kullanılması ve farklı kesme parametrelerinde alaşımın işlenmesi, elde edilen talaşların farklılık göstermesine neden olmuştur. Özellikle ilerlemenin artması talaş kesitinin artmasına yol açmıştır.

Ti-6Al-4V alaşımının frezelenmesinde kesme hızının ve kesme süresinin artması ısı oluşumunun artmasına neden olmuştur. Ayrıca, Ti-6Al-4V alaşımının düşük termal özelliğe sahip olması, oluşan ısıнын büyük çoğunluğunun kesici takımların kesme bölgesinde yoğunlaşmasına yol açmıştır. WC kesici takımlara göre TiN kaplı HSS kesici takımlarda oluşan ısı daha yüksek olarak elde edilmiştir.

TiN kaplı HSS ve WC kesici takımların farklı sertlik ve aşınma davranışlarına sahip olması, ilaveten kesme parametrelerinin değişmesi, Ti-6Al-4V alaşımının frezelenmesinde kesme kuvvetlerinin ve takım aşınmalarının değişmesine sebep olmuştur. Kesme hızının artması kesme kuvvetlerinin azalmasına, ilerlemenin artması ise kesme kuvvetlerinin artmasına sebep olmuştur. Ancak hem kesme hızının hem de ilerlemenin artması takım aşınmasını arttırmıştır.

TiN kaplı HSS kesici takımla frezelenen yüzeylerden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin WC kesici takımla frezelenen yüzeylerden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Her iki kesici takımda da kesme hızının artması ortalama yüzey pürüzlülük değerini azaltmıştır, ancak ilerlemenin artması ise ortalama yüzey pürüzlülük değerini arttırmıştır. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki bu değişim Ti-6Al-4V alaşımının frezelenmesinde oluşan kuvvetlere paralel olarak değişmiştir.

TiN kaplı HSS ve WC kesici takımlarla Ti-6Al-4V alaşımı frezelendiği zaman ilerlemenin artması çapak yüksekliğini arttırmıştır. Kesme hızının artması ise çapak yüksekliği azaltmıştır.

TiN kaplı HSS ve WC kesici takımlarla Ti-6Al-4V alaşımının frezelenmesinde ilerlemenin ve kesme hızının kanal genişliğine etkisi incelendiğinde ilerlemenin

artmasıyla kanal genişliğindeki sapmanın gittikçe azaldığı gözlemlenirken, kesme hızının artmasıyla kanal genişliğindeki sapmanın arttığı gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak, ısı oluşumu, kesme kuvvetleri, takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, çapak oluşumu ve boyutsal kalite göz önünde bulundurulduğunda, Ti-6Al-4V alaşımlarının işlenmesinde, TiN kaplı HSS kesici takımlar yerine WC kesici takımların kullanılması çok daha uygundur. Ayrıca, iyi bir yüzey elde etmek veya takım aşınmasını minimuma indirmek için optimum kesme şartlarını belirlemek oldukça önemlidir. Çünkü minimum takım aşınması için kesme hızı ve ilerlemenin düşük seçilmesi gerekirken iyi bir yüzey kalitesi için kesme hızının yüksek ve ilerlemenin düşük seçilmesi gerekmektedir.

5.2. Öneriler

Her ne kadar WC kesici takımlar TiN kaplı HSS kesici takımlardan daha iyi performans gösterse de farklı kesici takımların ve farklı soğutma sıvılarının titanyum ve alaşımlarının işlenebilirliği üzerine etkileri incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Akkurt, M., 1998, Talas kaldırma yöntemleri ve takım tezgahları, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Aydın, M., Gavas, M., Yaşar, M. ve Altunpak. Y., 2012, Üretim Yöntemleri ve İmalat Teknolojileri, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Armendia, M., Osborne, P., Garay, A., Belloso, J., Turner, S. and Arrazola, P.J., 2012, Influence of heat treatment on the machinability of titanium alloy, *Materials and Manufacturing Processes*, 27, 457-461.
- Bach, P., Trmal, G., Zeman, P., Vana, J. and Maly, J., 2012, High performance titanium milling at low cutting speed, *Procedia CIRP* 1, 226-231.
- Bahçe, E., Kılıçkap, E. ve Özel, C., 2010, Al-5005'in delinmesinde delme parametrelerinin çapak oluşumuna etkisinin araştırılması, *2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, 11-12 Kasım 2010, Balıkesir, 242-250.
- Cantero, J.L., Tardío, M.M., Canteli, J.A., Marcos, M. and Miguélez, M.H., 2005, Dry drilling of alloy Ti-6Al-4V, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45 (11), 1246-1255.
- Collings, E.W., 1984, The physical metallurgy of titanium alloys, *ASM Series in Metal Processing*, Vol 3, pp 261.
- Danilevsky, V., 1987, İmalat mühendisliği, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Yayın No:121, Ankara.
- Feldshtein, F., 2011, The influence of machining condition on burr shapes when drilling reach-through holes in difficult-to-cut materials, *Advanced in Manufacturing Science and Technology*, 35 (4), 75-83.
- Farias, A., Batalha, G.F., Prados, E.F., Magnabosco, R. and Delijaicov, S., 2013, Tool wear evaluations in friction stir processing of commercial titanium Ti-6Al-4V, *Wear*, 302, 1327-1333.
- Harvey, P.D., 1982, Engineering properties of steel, published by American Society for Metals (Metals Park, OH), ISBN: 0871701448.
- Konig, W., 1979, Applied Research on the machinability of titanium and its alloys, *Proceedings of 47th Meeting of AGARD-Structural and Materials Panel*, Florence, 26-28 September, AGARD, CP256, London, pp. 1, 1-1.10.
- López de lacalle, L.N., Pérez, J., Llorente, J.I. and Sánchez, J.A, 2000, Advanced cutting condition for he milling of aeronautical alloys, *Journal of Materials Processing Technology*, 100, 1-11.

- Machado, A.R. and Wallbank, J., 1990, Machining of titanium and its alloys-a review, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 204, 53-60.
- Metals Handbook., 1980, Properties and Selection: Stainles Steels, Tool Materials and Special-Putrpouse Metals, published by American Society for Metals, Volum 3, 9th edition.
- Minton, T., Ghani, S., Sammler, F., Bateman, R., Füstmann, P. and Roeder, M., 2013, Temperature of internally-cooled diamond-coated tools for dry-cutting titanium, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 75, 27-35.
- Motonishi, S., Hara, Y., Isoda, S., Itoh, H., Tsumori, Y. and Terada, Y., 1987, Study on machining of titanium and its alloys, *Kobelco Technology Review*, 2, 28-31.
- Nouari, M. and Makich, H., 2013, Experimental investigation on the effect of the material microstructure on tool wear when machining hard titanium alloys: Ti-6Al-4V and Ti-555, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 41, 259-269.
- Thepsonthi, T. and Özel. T., 2013, Experimental and finite element simulation besed investigations on micro-milling Ti-6Al-4V titanium alloy: Effect of cBN coating on tool wear, *Journal of Materials Processing Technology*, 213, 532-542.
- Wang, F., Liu, Y., Zhang, Y., Tang, Z., Ji, R. and Zheng, C., 2014, Compound machining of titanium alloy by süper high speed EDM milling and arc machining, *Journal of Materials Processing Technology*, 214, 531-538.
- Wang, Z.G., Rahman, M. and Wong, Y.S., 2005, Tool wear characteristics of binderless CBN tools used in high-speed milling of titanium alloys, *Wear*, 258, 752-758.
- Şahin, Y., 2001, Talas Kaldırma Prensipleri 2, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Zareena, A.R. and Veldhuis, S.C., 2012, Tool wear mechanisms and tool life enhancement in ultra-precision machining of titanium, *Journal of Materials Processing Technology*, 212, 560-570.
- <http://www.ybu.edu.tr/muhendislik/makina/contents/files/SAYFA-211-228.pdf> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2015].
- <http://www.korozyondoktoru.org/?p=512> [Ziyaret Tarihi: 06 Nisan 2016].

EK 1: Matlab Kodları

```
Kesme_hizi=[5 5 5 10 10 10 15 15 15];
Ilerleme=[0.05 0.075 0.1 0.05 0.075 0.1 0.05 0.075 0.1];
Kesme_kuvveti_WC=[139 192 197 127 180 184 118 170 176];
Kesme_kuvveti_TiNHSS=[345 561 599 335 503 524 295 473 513];
Yuzey_puruzlulugu_WC=[ 1.04 1.14 1.21 0.88 1.02 1.15 0.85 0.94 1.02];
Yuzey_puruzlulugu_TiNHSS=[1.35 1.45 1.52 1.24 1.38 1.46 1.19 1.33 1.42];
Capak_yuksekligi_WC=[0.27 0.35 0.42 0.20 0.30 0.37 0.17 0.24 0.33];
Capak_yuksekligi_TiNHSS=[0.41 0.63 0.75 0.39 0.60 0.71 0.36 0.55 0.67];
Takim_Asinmasi_WC=[0.096 0.098 0.099 0.101 0.104 0.106 0.105 0.107 0.109 ];
Takim_Asinmasi_TiNHSS=[0.141 0.153 0.172 0.167 0.174 0.205 0.206 0.231 0.249 ];
```

% 1.1. GRAFİK Kesme_kuvveti_WC

```
[xData, yData, zData]=prepareSurfaceData(Kesme_hizi, Ilerleme,
Kesme_kuvveti_WC);
% Set up fitype and options.
ft = fitype( 'poly22' );
opts = fitoptions( ft );
opts.Lower = [-Inf -Inf -Inf -Inf -Inf];
opts.Robust = 'off';
opts.Upper = [Inf Inf Inf Inf Inf];
% Fit model to data.
[fitresult, gof] = fit( [xData, yData], zData, ft, opts );
% Plot fit with data.
figure( 'Name', 'Veri 1' );
h = plot( fitresult, [xData, yData], zData ); hold on
% Label axes
set(gca, 'FontName', 'Times New Roman')
set(gca, 'FontSize', 10)
hx=get(gca,'xlabel');
set(hx,'rotation',15)
hy=get(gca,'ylabel');
set(hy,'rotation',-25)
title({'WC Parmak Freze'});
xlabel( 'Kesme Hızı (m/dak)' );
ylabel( 'İlerleme (mm/dev)' );
zlabel( 'Kesme Kuvveti (N)' );
grid on
set(gca,'XTick',[5 10 15] )
set(gca,'XTickLabel',[5 10 15] )
set(gca,'YTick',[0.05 0.075 0.1] )
set(gca,'YTickLabel',[0.05 0.075 0.1] )
set(gcf,'CurrentAxes'),'FontName','Times New Roman','FontSize',10)
```

% 1.2. GRAFİK Kesme_kuvveti_TiNHSS

```
[xData, yData, zData] = prepareSurfaceData( Kesme_hizi, Ilerleme,
Kesme_kuvveti_TiNHSS );
% Set up fitype and options.
```

```

ft = fittype( 'poly22' );
opts = fitoptions( ft );
opts.Lower = [-Inf -Inf -Inf -Inf -Inf];
opts.Robust = 'off';
opts.Upper = [Inf Inf Inf Inf Inf];
% Fit model to data.
[fitresult, gof] = fit( [xData, yData], zData, ft, opts );
% Plot fit with data.
figure( 'Name', 'Veri 1' );
h = plot( fitresult, [xData, yData], zData ); hold on
% Label axes
set(gca, 'FontName', 'Times New Roman')
set(gca, 'FontSize', 10)
hx=get(gca,'xlabel');
set(hx,'rotation',15)
hy=get(gca,'ylabel');
set(hy,'rotation',-25)
title({'TiN Kaplı HSS Parmak Freze'});
xlabel( 'Kesme Hızı (m/dak)' );
ylabel( 'İlerleme (mm/dev)' );
zlabel( 'Kesme Kuvveti (N)');
grid on
set(gca,'XTick',[5 10 15] )
set(gca,'XTickLabel',[5 10 15] )
set(gca,'YTick',[0.05 0.075 0.1] )
set(gca,'YTickLabel',[0.05 0.075 0.1] )
set(gcf,'CurrentAxes'),'FontName','Times New Roman','FontSize',10)

```

% 2.1. GRAFİK Yüzey_puruzlulugu_WC

```

[xData, yData, zData]=prepareSurfaceData(Kesme_hizi, Ilerleme,
Yüzey_puruzlulugu_WC);
% Set up fittype and options.
ft = fittype( 'poly22' );
opts = fitoptions( ft );
opts.Lower = [-Inf -Inf -Inf -Inf -Inf];
opts.Robust = 'off';
opts.Upper = [Inf Inf Inf Inf Inf];
% Fit model to data.
[fitresult, gof] = fit( [xData, yData], zData, ft, opts );
% Plot fit with data.
figure( 'Name', 'Veri 1' );
h = plot( fitresult, [xData, yData], zData ); hold on
% Label axes
set(gca, 'FontName', 'Times New Roman')
set(gca, 'FontSize', 10)
hx=get(gca,'xlabel');
set(hx,'rotation',15)
hy=get(gca,'ylabel');
set(hy,'rotation',-25)
title({'WC Parmak Freze'});

```

```

xlabel( 'Kesme Hızı (m/dak)' );
ylabel( 'İlerleme (mm/dev)' );
zlabel( 'Yüzey Pürüzlülüğü ( $\mu\text{m}$ )');
grid on
set(gca,'XTick',[5 10 15] )
set(gca,'XTickLabel',[5 10 15] )
set(gca,'YTick',[0.05 0.075 0.1] )
set(gca,'YTickLabel',[0.05 0.075 0.1] )
set(get(gcf,'CurrentAxes'),'FontName','Times New Roman','FontSize',10)

```

% 2.2. GRAFİK Yuzey_puruzlulugu_TiNHSS

```

[xData, yData, zData] = prepareSurfaceData( Kesme_hizi, Ilerleme,
Yuzey_puruzlulugu_TiNHSS );
% Set up fittype and options.
ft = fittype( 'poly22' );
opts = fitoptions( ft );
opts.Lower = [-Inf -Inf -Inf -Inf -Inf];
opts.Robust = 'off';
opts.Upper = [Inf Inf Inf Inf Inf];
% Fit model to data.
[fitresult, gof] = fit( [xData, yData], zData, ft, opts );
% Plot fit with data.
figure( 'Name', 'Veri 1' );
h = plot( fitresult, [xData, yData], zData ); hold on
% Label axes
set(gca, 'FontName', 'Times New Roman')
set(gca, 'FontSize', 10)
hx=get(gca,'xlabel');
set(hx,'rotation',15)
hy=get(gca,'ylabel');
set(hy,'rotation',-25)
title( {'TiN Kaplı HSS Parmak Freze'} );
xlabel( 'Kesme Hızı (m/dak)' );
ylabel( 'İlerleme (mm/dev)' );
zlabel( 'Yüzey Pürüzlülüğü ( $\mu\text{m}$ )');
grid on
set(gca,'XTick',[5 10 15] )
set(gca,'XTickLabel',[5 10 15] )
set(gca,'YTick',[0.05 0.075 0.1] )
set(gca,'YTickLabel',[0.05 0.075 0.1] )
set(get(gcf,'CurrentAxes'),'FontName','Times New Roman','FontSize',10)

```

% 3.1. GRAFİK Capak_yuksekligi_WC

```

[xData, yData, zData]=prepareSurfaceData(Kesme_hizi, Ilerleme,
Capak_yuksekligi_WC);
% Set up fittype and options.
ft = fittype( 'poly22' );
opts = fitoptions( ft );
opts.Lower = [-Inf -Inf -Inf -Inf -Inf];
opts.Robust = 'off';

```

```

opts.Upper = [Inf Inf Inf Inf Inf];
% Fit model to data.
[fitresult, gof] = fit( [xData, yData], zData, ft, opts );
% Plot fit with data.
figure( 'Name', 'Veri 1' );
h = plot( fitresult, [xData, yData], zData ); hold on
% Label axes
set(gca, 'FontName', 'Times New Roman')
set(gca, 'FontSize', 10)
hx=get(gca,'xlabel');
set(hx,'rotation',15)
hy=get(gca,'ylabel');
set(hy,'rotation',-25)
title({'WC Parmak Freze'});
xlabel( 'Kesme Hızı (m/dak)' );
ylabel( 'İlerleme (mm/dev)' );
zlabel( 'Çapak Yüksekliği (mm)' );
grid on
set(gca,'XTick',[5 10 15] )
set(gca,'XTickLabel',[5 10 15] )
set(gca,'YTick',[0.05 0.075 0.1] )
set(gca,'YTickLabel',[0.05 0.075 0.1] )
set(get(gcf,'CurrentAxes'),'FontName','Times New Roman','FontSize',10)

```

% 3.2. GRAFİK Capak_yuksekligi_TiNHSS

```

[xData, yData, zData] = prepareSurfaceData( Kesme_hizi, Ilerleme,
Capak_yuksekligi_TiNHSS );
% Set up fittype and options.
ft = fittype( 'poly22' );
opts = fitoptions( ft );
opts.Lower = [-Inf -Inf -Inf -Inf -Inf];
opts.Robust = 'off';
opts.Upper = [Inf Inf Inf Inf Inf];
% Fit model to data.
[fitresult, gof] = fit( [xData, yData], zData, ft, opts );
% Plot fit with data.
figure( 'Name', 'Veri 1' );
h = plot( fitresult, [xData, yData], zData ); hold on
% Label axes
set(gca, 'FontName', 'Times New Roman')
set(gca, 'FontSize', 10)
hx=get(gca,'xlabel');
set(hx,'rotation',15)
hy=get(gca,'ylabel');
set(hy,'rotation',-25)
title({'TiN Kaplı HSS Parmak Freze'});
xlabel( 'Kesme Hızı (m/dak)' );
ylabel( 'İlerleme (mm/dev)' );
zlabel( 'Çapak yüksekliği (mm)' );
grid on

```

```

set(gca,'XTick',[5 10 15] )
set(gca,'XTickLabel',[5 10 15] )
set(gca,'YTick',[0.05 0.075 0.1] )
set(gca,'YTickLabel',[0.05 0.075 0.1] )
set(get(gcf,'CurrentAxes'),'FontName','Times New Roman','FontSize',10)

```

% 4.1. GRAFİK Takim_Asinmasi_WC

```

[xData, yData, zData]=prepareSurfaceData(Kesme_hizi, Ilerleme,
Takim_Asinmasi_WC);
% Set up fittype and options.
ft = fittype( 'poly22' );
opts = fitoptions( ft );
opts.Lower = [-Inf -Inf -Inf -Inf -Inf];
opts.Robust = 'off';
opts.Upper = [Inf Inf Inf Inf Inf];
% Fit model to data.
[fitresult, gof] = fit( [xData, yData], zData, ft, opts );
% Plot fit with data.
figure( 'Name', 'Veri 1' );
h = plot( fitresult, [xData, yData], zData ); hold on
% Label axes
set(gca, 'FontName', 'Times New Roman')
set(gca, 'FontSize', 10)
hx=get(gca,'xlabel');
set(hx,'rotation',15)
hy=get(gca,'ylabel');
set(hy,'rotation',-25)
title({'WC Parmak Freze'});
xlabel( 'Kesme Hızı (m/dak)' );
ylabel( 'İlerleme (mm/dev)' );
zlabel( 'Takım Aşınması (mm)');
grid on
set(gca,'XTick',[5 10 15] )
set(gca,'XTickLabel',[5 10 15] )
set(gca,'YTick',[0.05 0.075 0.1] )
set(gca,'YTickLabel',[0.05 0.075 0.1] )
set(get(gcf,'CurrentAxes'),'FontName','Times New Roman','FontSize',10)

```

% 4.2. GRAFİK Takim_Asinmasi_TiNHSS

```

[xData, yData, zData] = prepareSurfaceData( Kesme_hizi, Ilerleme,
Takim_Asinmasi_TiNHSS );
% Set up fittype and options.
ft = fittype( 'poly22' );
opts = fitoptions( ft );
opts.Lower = [-Inf -Inf -Inf -Inf -Inf];
opts.Robust = 'off';
opts.Upper = [Inf Inf Inf Inf Inf];
% Fit model to data.
[fitresult, gof] = fit( [xData, yData], zData, ft, opts );
% Plot fit with data.

```

```

figure( 'Name', 'Veri 1' );
h = plot( fitresult, [xData, yData], zData ); hold on
% Label axes
set(gca, 'FontName', 'Times New Roman')
set(gca, 'FontSize', 10)
hx=get(gca,'xlabel');
set(hx,'rotation',15)
hy=get(gca,'ylabel');
set(hy,'rotation',-25)
title({'TiN Kaplı HSS Parmak Freze'});
xlabel( 'Kesme Hızı (m/dak)' );
ylabel( 'İlerleme (mm/dev)' );
zlabel( 'Takım Aşınması (mm)');
grid on
set(gca,'XTick',[5 10 15] )
set(gca,'XTickLabel',[5 10 15] )
set(gca,'YTick',[0.05 0.075 0.1] )
set(gca,'YTickLabel',[0.05 0.075 0.1] )
set(gcf,'CurrentAxes','FontName','Times New Roman','FontSize',10)

```

ÖZGEÇMİŞ**KİŞİSEL BİLGİLER**

Adı Soyadı : Ahmet KARABIYIK
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Kargı / 15.11.1988
Telefon : 05077955354
Faks :
e-mail : akarabiyik88@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Şişli Mecidiyeköy Lisesi	2005
Üniversite	: Süleyman Demirel Üniversitesi	2010
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi	-
Doktora	: -	-

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2011-	Hava Kuvvetleri Komutanlığı	Makine Mühendisi

UZMANLIK ALANI

Konstrüksiyon ve İmalât A.B.D.

YABANCI DİLLER

İngilizce