

**TİTANYUM ALAŞIMLARININ FARKLI HELİS  
AÇILI KESİCİ TAKIMLAR İLE  
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**2018  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Samet NOHUTÇU**

**TİTANYUM ALAŞIMLARININ FARKLI HELİS AÇILI KESİCİ  
TAKIMLAR İLE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Samet NOHUTÇU**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalında**

**Yüksek Lisans Tezi**

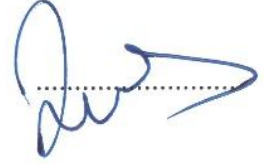
**Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

**Aralık 2018**

Samet NOHUTÇU tarafından hazırlanan “TİTANYUM ALAŞIMLARININ FARKLI HELİS AÇILI KESİCİ TAKIMLAR İLE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan SUR  
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 19.12.2018

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Hasan GÖKKAYA (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Ali Rıza MOTORCU (ÇOMÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Gökhan SUR (KBÜ)



18/01/2019

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü V.





*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Samet NOHUTÇU

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **TİTANYUM ALAŞIMLARININ FARKLI HELİS AÇILI KESİCİ TAKIMLAR İLE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Samet NOHUTÇU**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Dr. Öğr. Üyesi Gökhan SUR**

**Aralık 2018, 85 sayfa**

Bu çalışmada, titanyum alaşımlarından olan Ti6Al4V alaşımı plakalar, sabit helis açılı parmak frezeler ve değişken helis açılı parmak frezeler ile çevresel frezeleme metodu ile CNC freze tezgahında işlenmiştir. İşlenebilirlik deneylerinde dört ağızlı 10 mm çapında CVD yöntemi ile kaplanmış sementit karbür parmak frezeler kullanılmıştır. Sementit karbür frezeler; beş farklı sabit helis açılı ( $30^\circ - 32^\circ - 35^\circ - 38^\circ - 40^\circ$ ) ve dört farklı değişken helis açılı ( $30^\circ/32^\circ - 35^\circ/38^\circ - 40^\circ/42^\circ - 42^\circ/45^\circ$ ) olarak temin edilmiştir. İşleme deneyleri 5 farklı kesme hızı (48 – 60 – 75 – 90 – 108 m/dk) ve 3 farklı ilerleme miktarında (0,04, 0,05 ve 0,06 mm/diş) kuru işleme yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler esnasında oluşan kesme kuvvetleri, piezo elektrik sensör içeren dinamometre yardımı ile tespit edilmiştir. Ayrıca frezelenen yüzeylerin ortalama pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Deney sonuçları incelendiğinde, değişken helisli parmak frezelerde kesme esnasında oluşan kesme kuvveti değerlerinin, sabit helisli parmak frezelere kıyasla daha düşük değerlerde olduğu görülmüştür. Benzer olarak, yüzey pürüzlülük değerlerinin de daha düşük değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Sabit helisli parmak frezeler birbiri ile kıyaslandığında helis açısı arttıkça yüzey kalitesi iyileşmiştir. Değişken helis açılı

parmak frezeler birbiri ile kıyaslandığında ise 35°/38° helis açılı parmak frezenin gruptaki diğer parmak frezelere göre daha düşük kesme kuvveti ve daha iyi yüzey kalitesi oluşumunu sağladığı görülmüştür. Kesici takım türü ve işleme koşulları açısından kesme kuvvetinin en düşük, yüzey kalitesinin en iyi olduğu deney 108 m/dk. kesme hızında, 0,04 mm/diş ilerleme miktarında ve 35°/38° helis açısına sahip parmak freze ile işleme esnasında oluştuğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler :** İşlenebilirlik, CNC Freze, Titanyum Alaşımları, Kesme Kuvveti, Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü, Değişken Helis Açılı Parmak Freze, Parmak Freze, Helis Açısı

**Bilim Kodu** : 914. 1.091

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **INVESTIGATION OF TITANIUM ALLOYS MACHINABILITY WITH DIFFERENT HELIX ANGLE END MILL**

**Samet NOHUTÇU**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Assist. Prof. Dr. Gökhan SUR**

**December 2018, 85 pages**

In this study, Titanium Gr. 5 (Ti6Al4V) type plates are machined with CNC Milling machine with constant helix end mills and variable helix end mills by peripheral milling method. In the machinability tests, cemented carbide end mills coated with 10 mm diameter CVD method were used. Cemented carbide end mills are provided with five different constant helix angles ( $30^\circ$  -  $32^\circ$  -  $35^\circ$  -  $38^\circ$  -  $40^\circ$ ) and four different variable helix angles ( $30^\circ/32^\circ$  -  $35^\circ/38^\circ$  -  $40^\circ/42^\circ$  -  $42^\circ/45^\circ$ ). Machinability experiments were carried out at 5 different cutting speeds (48 - 60 - 75 - 90 - 108 m/min) and 3 different feed rates (0,04, 0,05 and 0,06 mm/tooth) under dry machining conditions. The cutting forces generated during the experiments were determined by the dynamometer with piezoelectric sensor. The mean roughness values of the milled surfaces were also measured. When the test results were examined, it was seen that the cutting force values which occur during cutting in the variable helix end mills are lower than those of constant helix end mills. Similarly, the surface roughness values were found to be lower. Constant helix end mills have improved surface quality as the helix angle increases compared to each other. It was found that the  $35^\circ/38^\circ$  helix angle end mills had lower cutting forces and improved surface quality compared to the other end

mills in the group. Experiment in which the cutting force is the lowest and the surface quality is the best in terms of cutting tool type and machining conditions; 108 m/min cutting speed, 0,04 mm/tooth feed rate and 35°/38° helix angle has been found to occur during machining with an end mill.

**Key Word** : Machinability, CNC Milling, Titanium Alloys, Cutting Force, Surface Roughness, Variable Helical Angle End Mill, End Mill, Helical Angle

**Science Code** : 914. 1.091





## TEŞEKKÜR

Bu tez çalıŐmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıŐmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Gökhan SUR'a ve tez çalıŐmam esnasında yönlendirme ve tavsiyeleri ile destek veren Doç. Dr. Ali Rıza MOTORCU'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme maddi ve manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Başkanlığı'na KBÜBAP 17-YL-254 No'lu proje ile verdikleri desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	1
SİMGELER .....	1
KISALTMALAR .....	2
BÖLÜM 1 .....	3
GİRİŞ .....	3
BÖLÜM 2 .....	4
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	4
2.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASININ GENEL DEĞERLENDİRME ÖZETİ... 6	6
BÖLÜM 3 .....	8
TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK .....	8
3.1. GİRİŞ.....	8
3.2. FREZELEME YÖNTEMİ .....	9
3.3 KESME MODELİ.....	9
3.4. TİTANYUM ALAŞIMLARI VE İŞLENEBİLİRLİK.....	10
3.4.1. Titanyum Alaşımlarının Sınıflandırılması.....	11
3.4.2. Titanyum Alaşımlarının İşlenebilirliği .....	12
3.5. PARMAK FREZELER .....	13
3.5.1. Parmak Frezelerde Helis ve Helis başlangıç (Konum/Adım) Açısı .....	17
3.6. FREZELEME YÖNÜ .....	21
3.6.1. Zıt yönlü frezeleme.....	22
3.6.2. Aynı yönlü frezeleme .....	23

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4 .....	26
MATERYAL VE YÖNTEM .....	26
4.1. DENEY MALZEMESİ .....	26
4.2. FREZELEME YÖNÜ .....	27
4.3. KESİCİ TAKIMLAR .....	29
4.4. TAKIM TUTUCU .....	30
4.5. TAKIM TEZGAHI .....	31
4.6. DENEY DÜZENEGİ .....	32
4.7. KESME PARAMETRELERİ .....	34
4.8. KESME KUVVETİ ÖLÇÜMÜ .....	35
4.9. KESME KUVVETLERİ DEĞERLENDİRME METODU .....	38
4.10. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜM CİHAZI VE YÖNTEMİ .....	40
BÖLÜM 5 .....	41
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	41
5.1. KESME KUVVETİ DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ. 41	
5.1.1. Sabit Helisli Parmak Frezeler İle İşlemede Kesme Kuvveti Sonuçları .. 41	
5.1.1.1. “0,04 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları .....	42
5.1.1.2. “0,05 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları .....	44
5.1.1.3. “0,06 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları .....	45
5.1.2. Değişken Helisli Parmak Frezeler İle İşlemede Kesme Kuvveti Sonuçları .....	47
5.1.2.1. “0,04 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları .....	47
5.1.2.2. “0,05 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları .....	49
5.1.2.3. “0,06 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları .....	50
5.1.3. Sabit Ve Değişken Helisli Parmak Frezelerin Birbiri İle Kıyaslanması 52	
5.1.3.1. “0,04 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları .....	52
5.1.3.2. “0,05 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları .....	55
5.1.3.3. “0,06 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları .....	58
5.2. ORTALAMA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DEĞERLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ .....	61

## Sayfa

5.2.1. Sabit Helisli Parmak Frezeler İle İşlemede Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları .....	61
5.2.1.1. “0,04 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları .....	61
5.2.1.2. “0,05 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları .....	63
5.2.1.3. “0,06 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları .....	64
5.2.2. Değişken Helisli Parmak Frezeler İle İşlemede Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları .....	66
5.2.2.1. “0,04 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları .....	66
5.2.2.2. “0,05 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları .....	67
5.2.2.3. “0,06 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları .....	69
5.2.3. Sabit ve Değişken Helisli Parmak Frezelerin Birbiri İle Kıyaslanması .	70
5.2.3.1. “0,04 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları .....	71
5.2.3.2. “0,05 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları .....	74
5.2.3.3. “0,06 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları .....	76
BÖLÜM 6 .....	79
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	79
KAYNAKLAR .....	82
ÖZGEÇMİŞ .....	85

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 3.1. Vargel metodu ile kesme işleminin şematik gösterimi .....	8
Şekil 3.2. Frezeleme işleminde kullanılan çeşitli kesici takımlar .....	9
Şekil 3.3. Dik kesme modeli .....	10
Şekil 3.4. Titanyum kullanım alanları a) yarış bisikleti, b) plaka kemik implantı, c) yarış motosikletinin egzoz sistemi, d) ısı değiştirici plaklar, e) ziynet eşyaları, f) düşük basınç türbin rotoru .....	11
Şekil 3.5. Parmak frezenin açıları ve ölçülerinin gösterimi .....	14
Şekil 3.6. Parmak freze kesici uç tabanı ve kesici ağız sayısı gösterimi .....	14
Şekil 3.7. Farklı uç geometrilerine sahip parmak frezeler .....	15
Şekil 3.8. Sementit karbür yapılar, a) WC/Co, b) WC+TiC+TaC/Co .....	16
Şekil 3.9. Parmak freze helis başlangıç açısı; a) sabit aralıklı, b) değişken aralıklı ..	17
Şekil 3.10. Helis başlangıç açısı sabit aralıklı, dört ağızlı parmak frezenin helis açılımı .....	18
Şekil 3.11. Helis başlangıç açısı değişken aralıklı, dört ağızlı parmak frezenin helis açılımı .....	19
Şekil 3.12. Parmak freze helis açısı; a) sabit helis açılı, b) değişken helis açılı .....	19
Şekil 3.13. Değişken helisli parmak frezenin helis açısının kesme boyuna göre değişimi .....	20
Şekil 3.14. Değişken helis açılı 4 ağızlı parmak frezenin açılımı .....	21
Şekil 3.15. Frezeleme işleminde yönler; a) zıt yönlü, b) aynı yönlü .....	22
Şekil 3.16. Zıt yönlü frezeleme esnasında oluşan kuvvetler .....	24
Şekil 3.17. Aynı yönlü frezeleme esnasında oluşan kuvvetler .....	24
Şekil 4.1. Ti6Al4V alaşımının SEM mikroskobu ile çekilmiş görüntüsü .....	27
Şekil 4.2. Çevresel frezeleme yöntemlerinde kesilen yüzeyde pekleşme ve difüzyonla oluşan sert tabakaların kesilmesi; a) Aynı yönlü frezeleme, b) Zıt yönlü frezeleme .....	28
Şekil 4.3. Deneyleerde kullanılan aynı yönlü çevresel frezeleme yönteminin şematik gösterimi .....	28
Şekil 4.4. Hidrolik takım tutucu .....	30
Şekil 4.5. Deneyleerin yapıldığı CNC dik işleme merkezinin genel görünümü (Falco VMC 855) .....	31

Şekil 4.6. Deneş düzeneğinin Şematik gösterimi. ....	32
Şekil 4.7. İŞ parçası bağlama kalıbı. ....	33
Şekil 4.8. Bağlama kalıbı içine yerleştirilmiş Ti6Al4V titanyum alaşımı deneş malzemesi, dinamometre, kesici takım ve deneş düzeneğinin genel gőrőnőmő. ....	33
Şekil 4.9. Kesme kuvveti ölçőmünde kullanılan Kistler marka 9257B modeli dinamometre ve koordinat sistemi genel gőrőnőmő. ....	35
Şekil 4.10. Kesme kuvvetleri ölçőm cihazı ve kullanılan amplifier teknik özellikleri. ....	36
Şekil 4.11. Örneş bir kesme kuvveti deneş raporu. ....	37
Şekil 4.12. Kesme kuvvetlerinin alınması için kullanılan programın ekran gőrőntőső. ....	37
Şekil 4.13. Helis açısına bağlı oluşan maksimum ve bileşke kuvvetler. ....	39
Şekil 5.1. 0,04 mm/diş ilerleme miktarında kesme hızı ve sabit helis açısı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi. ....	43
Şekil 5.2. 0,05 mm/diş ilerleme miktarında kesme hızı ve sabit helis açısı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi. ....	44
Şekil 5.3. 0,06 mm/diş ilerleme miktarında kesme hızı ve sabit helis açısı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi. ....	46
Şekil 5.4. 0,04 mm/diş ilerleme miktarında kesme hızı ve değişken helis açısı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi. ....	48
Şekil 5.5. 0,05 mm/diş ilerleme miktarında kesme hızı ve değişken helis açısı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi. ....	50
Şekil 5.6. 0,06 mm/diş ilerleme miktarında kesme hızı ve değişken helis açısı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi. ....	51
Şekil 5.7. 0,04 mm/diş ilerleme miktarında 30°/32° değişken helis açılı parmak frezenin sabit helis açılı parmak frezeler ile karşılaştırılmasında kesme hızı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi. ....	53
Şekil 5.8. 0,04 mm/diş ilerleme miktarında 35°/38° değişken helis açılı parmak frezenin sabit helis açılı parmak frezeler ile karşılaştırılmasında kesme hızı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi. ....	54

- Şekil 5.9. 0,05 mm/diş ilerleme miktarında  $30^\circ/32^\circ$  değişken helis açılı parmak frezenin sabit helis açılı parmak frezeler ile karşılaştırılmasında kesme hızı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi. .... 56
- Şekil 5.10. 0,05 mm/diş ilerleme miktarında  $35^\circ/38^\circ$  değişken helis açılı parmak frezenin sabit helis açılı parmak frezeler ile karşılaştırılmasında kesme hızı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi. .... 57
- Şekil 5.11. 0,06 mm/diş ilerleme miktarında  $30^\circ/32^\circ$  değişken helis açılı parmak frezenin sabit helis açılı parmak frezeler ile karşılaştırılmasında kesme hızı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi. .... 59
- Şekil 5.12. 0,06 mm/diş ilerleme miktarında  $35^\circ/38^\circ$  değişken helis açılı parmak frezenin sabit helis açılı parmak frezeler ile karşılaştırılmasında kesme hızı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi. .... 60
- Şekil 5.13. 0,04 mm/diş ilerleme miktarında kesme hızı ve sabit helis açısı değerlerine bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi. .... 62
- Şekil 5.14. 0,05 mm/diş ilerleme miktarında kesme hızı ve sabit helis açısı değerlerine bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi. .... 64
- Şekil 5.15. 0,06 mm/diş ilerleme miktarında kesme hızı ve sabit helis açısı değerlerine bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi. .... 65
- Şekil 5.16. 0,04 mm/diş ilerleme miktarında kesme hızı ve değişken helis açısı değerlerine bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi. .... 67
- Şekil 5.17. 0,05 mm/diş ilerleme miktarında kesme hızı ve değişken helis açısı değerlerine bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi. .... 68
- Şekil 5.18. 0,06 mm/diş ilerleme miktarında kesme hızı ve değişken helis açısı değerlerine bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi. .... 70
- Şekil 5.19. 0,04 mm/diş ilerleme miktarında  $30^\circ/32^\circ$  değişken helis açılı parmak frezenin sabit helis açılı parmak frezeler ile karşılaştırılmasında kesme hızı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi. .... 72
- Şekil 5.20. 0,04 mm/diş ilerleme miktarında  $35^\circ/38^\circ$  değişken helis açılı parmak frezenin sabit helis açılı parmak frezeler ile karşılaştırılmasında kesme hızı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi. .... 73

- Şekil 5.21. 0,05 mm/diş ilerleme miktarında  $30^{\circ}/32^{\circ}$  değişken helis açılı parmak frezenin sabit helis açılı parmak frezeler ile karşılaştırılmasında kesme hızı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi. .... 75
- Şekil 5.22. 0,05 mm/diş ilerleme miktarında  $35^{\circ}/38^{\circ}$  değişken helis açılı parmak frezenin sabit helis açılı parmak frezeler ile karşılaştırılmasında kesme hızı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi. .... 76
- Şekil 5.23. 0,06 mm/diş ilerleme miktarında  $30^{\circ}/32^{\circ}$  değişken helis açılı parmak frezenin sabit helis açılı parmak frezeler ile karşılaştırılmasında kesme hızı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi. .... 77
- Şekil 5.24. 0,06 mm/diş ilerleme miktarında  $35^{\circ}/38^{\circ}$  değişken helis açılı parmak frezenin sabit helis açılı parmak frezeler ile karşılaştırılmasında kesme hızı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi. .... 78



## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 3.1. Çeşitli malzemelerin işlenebilirlik oranları.....	12
Çizelge 3.2. ISO standardına bağlı sementit karbür kesici takımların gruplandırılması. ....	15
Çizelge 4.1. Titanyum “Grade 5” (Ti6Al4V) kimyasal bileşim raporu.....	26
Çizelge 4.2. Titanyum Gr. 5 (Ti6Al4V) Mekanik Özellikleri. ....	26
Çizelge 4.3. İşleme deneylerinde kullanılan sabit helisli parmak frezeler.....	29
Çizelge 4.4. İşleme deneylerinde kullanılan değişken helisli parmak frezeler .....	30
Çizelge 4.5. CNC dik işleme merkezinin teknik özellikleri.....	31
Çizelge 4.6. Sabit helis açılı parmak frezelerin kesme parametreleri. ....	34
Çizelge 4.7. Değişken helis açılı parmak frezelerin kesme parametreleri. ....	34
Çizelge 4.8. Ortalama kesme kuvvetinde oluşan genliğin gösterimi için örnek kesme kuvveti sonuçları .....	38
Çizelge 5.1. Sabit helis açılı kesici takımlarla 0,04 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları. ....	42
Çizelge 5.2. Sabit helis açılı kesici takımlarla 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları. ....	44
Çizelge 5.3. Sabit helis açılı kesici takımlarla 0,06 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları. ....	46
Çizelge 5.4. Değişken helis açılı kesici takımlarla 0,04 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları. ....	48
Çizelge 5.5. Değişken helis açılı kesici takımlarla 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları. ....	49
Çizelge 5.6. Değişken helis açılı kesici takımlarla 0,06 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları. ....	51

Çizelge 5.7. Sabit ve değişken helis açılı kesici takımlarla 0,04 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları.....	52
Çizelge 5.8. Sabit ve değişken helis açılı kesici takımlarla 0,04 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları.....	54
Çizelge 5.9. Sabit ve değişken helis açılı kesici takımlarla 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları.....	55
Çizelge 5.10. Sabit ve değişken helis açılı kesici takımlarla 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları.....	57
Çizelge 5.11. Sabit ve değişken helis açılı kesici takımlarla 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları.....	58
Çizelge 5.12. Sabit ve değişken helis açılı kesici takımlarla 0,06 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları.....	60
Çizelge 5.13. Sabit helis açılı kesici takımlarla 0,04 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçları. ....	62
Çizelge 5.14. Sabit helis açılı kesici takımlarla 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçları. ....	63
Çizelge 5.15. Sabit helis açılı kesici takımlarla 0,06 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçları. ....	65
Çizelge 5.16. Değişken helis açılı kesici takımlarla 0,04 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçları. ....	66

Çizelge 5.17. Değişken helis açılı kesici takımlarla 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçları. ....	68
Çizelge 5.18. Değişken helis açılı kesici takımlarla 0,06 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçları. ....	69
Çizelge 5.19. Sabit ve değişken helis açılı kesici takımlarla 0,04 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları. ....	71
Çizelge 5.20. Sabit ve değişken helis açılı kesici takımlarla 0,04 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları. ....	73
Çizelge 5.21. Sabit ve değişken helis açılı kesici takımlarla 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları. ....	74
Çizelge 5.22. Sabit ve değişken helis açılı kesici takımlarla 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları. ....	75
Çizelge 5.23. Sabit ve değişken helis açılı kesici takımlarla 0,06 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları. ....	77
Çizelge 5.24. Sabit ve değişken helis açılı kesici takımlarla 0,06 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları. ....	78

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$\alpha$	: Alfa
$\beta$	: Beta
$\Phi$	: Takım adım açısı
$a_e$	: Talaş genişliği (mm)
$a_p$	: Talaş derinliği (mm)
$V_c$	: Kesme Hızı (m/dk.)
$f_z$	: İlerleme miktarı (mm/diş)
kW	: Kilowatt
$D_1$	: Kesici takım çapı
$L_1$	: Kesici takım boyu
$L_2$	: Kesme boyu
$Z$	: Kesme kenar sayısı
$F_x$	: X ekseninde oluşan kesme kuvveti (N)
$F_y$	: Y ekseninde oluşan kesme kuvveti (N)
$F_z$	: Z ekseninde oluşan kesme kuvveti (N)
$M_z$	: Dönme Momenti (N)
$H$	: Yükseklik (mm)
$B$	: Kalınlık (mm)
$L$	: Uzunluk (mm)
$N$	: Newton
kN	: Kilonewton
$\mu\text{m}$	: Mikrometre
$R_a$	: Ortalama yüzey pürüzlülüğü ( $\mu\text{m}$ )
$\lambda$	: Helis Açısı ( $^\circ$ )
$^\circ$	: Derece

## **KISALTMALAR**

MPa : Megapaskal

AISI : American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)

CNC : Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)

R.P.M : Revolutions Per Minute (Dakikada Dönme Sayısı)

HRC : Hardness Rockwell Scale (Rockwell Sertlik Ölçeği)

DHA : Değişken Helis Açısı

SHA : Sabit Helis Açısı

CVD : Chemical Vapor Deposition (Fiziksel Buhar Biriktirme)

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesi, ihtiyaç duyduğu malzemeleri de geliştirmiştir. Son yıllarda özellikle havacılık sektöründe aynı hacim ve şekilde ancak daha hafif ve daha dayanıklı malzemelere olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Üretim yöntemlerinin gelişmesi ve üretim maliyetlerinin azalması sayesinde gittikçe daha da popüler olan malzemelerden bir tanesi de Titanyum alaşımlarıdır. Titanyum alaşımları, çelik kadar dayanıklı ancak ondan %45 daha hafiftir. Alüminyum alaşımlarından ise %60 daha ağır olmasına karşın, 2 kat daha dayanıklıdır. Ayrıca yüksek sıcaklık mukavemeti ve korozyon direnci diğer metallere kıyasla daha yüksektir [1].

Titanyum ve alaşımları, başta uçak ve uzay endüstrisinde olmak üzere, tıpta özellikle protez üretiminde, kimyasal ünitelerde, denizcilikte ve yiyecek endüstrisinde yaygın kullanım alanı olan malzemelerdir.

Havacılık ve uzay sanayisinde kullanılan titanyum alaşımları yüksek oranda talaşlı imalat kullanılarak şekillendirilmektedir. Artan kullanım oranları, verimlilik ve maliyet hesaplarını da beraberinde getirmiştir. Titanyum alaşımlarının sahip olduğu düşük termal iletkenlik ve elastiklik modülü, yüksek sıcaklıklarda sertliğini koruması ve yüksek kimyasal reaktivite sayesinde işlenebilirliği oldukça düşüktür [2].

Titanyum alaşımlarının talaşlı imalatı sırasında karşılaşılan en büyük problemlerden birisi de kesici takımın hızlıca deformasyona uğrayarak kullanılamaz hale gelmesidir. Bu durum imalatın maliyetini oldukça artırmaktadır. Düşük işlenebilirlik özelliklerine sahip çeşitli malzemelerin üretiminin artmasından dolayı özellikle son 20 yılda kesici takımların geometrilerinde de çeşitli değişiklikler ve optimizasyonlar yapılmaktadır. Bunlardan bir tanesi de bu çalışmada da üzerinde çalışılan konu olan parmak frezelerin helis açısının kesme kuvvetleri üzerine etkisinin araştırılmasıdır. Bu çalışmada Ti6Al4V titanyum alaşımlı plakaların frezelenmesi sırasında değişken helis açılı parmak frezelerin kesme kuvvetleri, ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Titanyum alaşımları, yüksek sıcaklıklarda dayanım, korozyon direnci ve yüksek akma dayanımı gibi mükemmel özellikleri nedeniyle özellikle son yıllardaki uygulamalarda geniş yer bulmaktadır. Ticari uygulamalarda saf titanyum yerine dayanım özellikleri daha yüksek olan alaşımlar tercih edilmektedir. Titanyum alaşımlarının  $\alpha + \beta$  grubundan birisi olan Ti6Al4V ise titanyum üretiminin %70'ini oluşturan modellerinden bir tanesidir aynı zamanda 900-1000 MPa varan kopma mukavemetleri sayesinde diğer alaşımlarına göre daha fazla tercih edilmektedir [1]. Sağlamış oldukları mükemmel mekanik özelliklere rağmen işlenebilirlik oranlarının düşük olması sebebiyle özellikle ticari kullanımı daha yaygın olan Ti6Al4V alaşımlarının işlenebilirliği üzerine yapılan çalışmalar daha fazla olup bu bilimsel çalışmalar hala sürdürülmekte ve önemini korumaktadır.

Balažic ve Kopač, Ti6Al4V alaşımının biyomedikal uygulamalardaki işlenebilirliğini tornalama yöntemi ile araştırmışlardır. Yapılan işleme deneyleri sonrasında kesme esnasında soğutma sıvısı kullanımının takım ömrünü %40 oranında artırdığı tespit edilmiştir. Soğutmalı kesme şartlarıyla kıyaslandığında kuru kesme şartlarında ilk 10 dk. kesme sonrasında titanyum alaşımının yüksek sıcaklıklarda yapışma eğiliminin artması nedeniyle takım aşınmasının meydana geldiği tespit edilmiştir [3].

Yang ve ark., Ti6Al4V alaşımının çevresel frezeleme işleminde kesme hızı, takım aşınması, ilerleme miktarı, radyal ve aksel kesme derinliği, takım malzemesi ve geometrisi gibi çeşitli faktörlerin yüzey topoğrafyasına etkilerini araştırmışlardır. Taguchi metodu kullanılarak yapılan deneylerde devir sayısı, ilerleme oranı ve radyal kesme derinliği parametrelerinin yüzey topoğrafyası üzerinde ana etkenler olduğu tespit edilmiştir [4].

Yılmaz ve ark.'nın yaptıkları çalışmada AISI 1050 çelik malzemenin frezelenmesinde ilerleme oranı, kesme hızı, kesici uç sayısı ve kesme derinliğinin titreşim ve yüzey kalitesi üzerine etkilerini incelemiştir. Üç farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme oranı,

iki farklı kesme derinliği ve üç farklı uç sayısı kullanılarak yapılan deneylerde en düşük titreşim ivme seviyesi ve yüzey pürüzlülük değerlerini sağlayan optimum kesme parametreleri seviyeleri aranmıştır. Yapılan deneyler sonrasında kesme parametrelerinin tamamının (kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği, uç sayısı vb.) malzemenin işlenebilirliği üzerinde anlamlı etkileri olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada ayrıca, titreşim ivme seviyesinin kesme parametreleri içerisinde en fazla ilerleme miktarından etkilendiği görülmüştür [5].

Shirase ve arkadaşları yaptıkları çalışmada frezeleme işlemi esnasında oluşan kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve kesici takımın sehimini teorik olarak modellemişlerdir. Modelleme sonrası standart simetrik adım açılı parmak frezeler ile değişken adımlı parmak frezelerin karşılaştırılmasını yapmışlardır. Araştırmacılar değişken adımlı parmak frezelerin değişken kesit miktarlarında talaş kaldırmasından dolayı yüzey hatalarının %20'ye kadar azaldığını tespit etmişlerdir. Bu çalışmadan kaldırılan talaş kesitinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde doğrudan etkili olduğu anlaşılmıştır [6].

Turner ve ark. yaptıkları çalışmada değişken helis açılı parmak frezelerin kararlılıklarını kesme anındaki dinamik kararlılıklarını araştırmışlardır. Araştırmacılar aynı zamanda standart, değişken adımlı ve değişken helis açılı parmak frezelerin performanslarını da incelemişlerdir. Her 3 takımın kararlılık diyagramları kinematik denklemler ve takımların modal analizleri çıkartılarak karşılaştırılmış ve değişken helis açılı parmak frezelerin diğer gruplara göre (standart ve değişken adımlı) daha az tırlama titreşimi ürettiği gösterilmiştir [7].

Jin ve ark. çevresel frezeleme işleminde değişken adım ve değişken helis açısının kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerinin tahmin edilmesi üzerine yapmış oldukları çalışmalarında çapı 12 mm, ağız sayısı 3, helis açıları ve adımları farklı olan parmak frezeler ile işleme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Teorik bilgiler üzerinden yapılan kesme kuvvet analizi ve yapılan deney sonuçları birleştirilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda, değişken adımlı parmak frezelerin kesme kuvvetleri üzerinde yaklaşık %20 oranında bir düşüşe neden olduğu görülmüştür [8].



Andreas ve ark. sabit olmayan adım ve değişken helis açısının frezeleme işleminin kararlılığı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. 35°/38° helis açısına sahip değişken helisli parmak freze ile 30° helis açısına sahip sabit helis açılı parmak freze kesme kuvvetleri ve kararlılık diyagramları üzerinden karşılaştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda değişken helis açılı parmak frezelerin tırlama titreşim kararlılığı daha iyi olduğu tespit edilmiştir [9].

Chen ve ark. değişken helis açılı parmak frezelerin kesme kuvvetlerinin analitik modellenmesi üzerine yapmış oldukları çalışmalarında kesme kuvveti ve takım titreşimini belirlemeye çalışmışlardır. Deneysel çalışmalarında 3 kesme ağızlı 3 farklı değişken helis açısına sahip parmak freze (35°/35°/35°, 30°/35°/40° ve 35°/40°/30°) kullanmışlardır. Analitik modelleme ve deneysel çalışmalar değerlendirilerek helis açısının artması ile kesme kuvvetlerinin düştüğü tespit edilmiştir [10].

Huang ve ark. titanyum alaşımlarının değişken adımlı parmak frezeler ile işleme esnasında oluşan titreşimi azaltma mekanizmaları üzerinde araştırma yapmışlardır. Yapılan deneylerde 4 ağızlı sabit helis açılı (90° - 90° - 90° - 90°) ve değişken helis açılı (70° - 110° - 70° - 110°) parmak frezeler kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda değişken adımlı parmak frezelerin tırlama titreşimlerinin daha az olduğu tespit edilmiştir [11].

Çomak ve Budak, frezeleme işleminde tırlama titreşimini en aza indirmek için değişken adım açılı parmak frezelerin kararlılık durumları ve dinamik modeli üzerinde araştırma yapmışlardır. Yapılan işleme deneyleri sonrasında optimum helis açısı ve adım açısının belirlenmesi ile kesme derinliğinin artırılabilirdiği görülmüştür [12].

## **2.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASININ GENEL DEĞERLENDİRME ÖZETİ**

Titanyum alaşımlarının havacılık, uzay ve tıp alanındaki kullanımlarının %60'ında Ti6Al4V alaşımının kullanıldığı görülmüştür. Ti6Al4V alaşımının özellikle havacılık sektöründe yaygın kullanım oranına sahip bir alaşım olduğu tespit edilmiştir. Yüksek mukavemet/ağırlık oranı, düşük ısı iletim katsayısı, yüksek korozyon dirençleri ve insan vücuduna olan mükemmel uyumu sayesinde kullanımı gün geçtikçe artmaktadır.

Titanyum alaşımlarının işlenebilirliği üzerine yapılan araştırmalarda kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği) işlenebilirlik üzerine etkileri kesme kuvveti, ortalama yzey pürüzlülüğü, titreşim ivme seviyesi bakımından incelenmektedir.

Titanyum alaşımlarının işlenebilirlik oranı nispeten düşük malzemeler olduğu için yapılan çalışmalarda kesme parametrelerinin oldukça düşük tutulduğu görölmektedir. Değişken helis açısına sahip parmak frezelerin işlenebilirlik üzerine etkilerini karşılaştıran çalışmaların yetersiz olduğu gözlenmiştir.

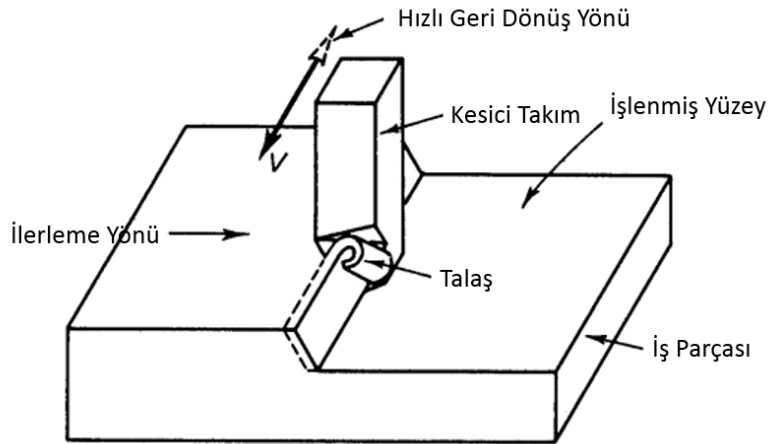
Bu çalışmada, Ti6Al4V alaşımının sabit ve değişken helis açılı parmak frezeler ile çevresel frezeleme işleminde kullanılacak en ideal geometriye sahip kesicinin belirlenmesi üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla sabit helis açılı (30°- 32°- 35°- 38°- 40°) ve değişken helis açısına sahip (30°/ 32°- 35°/38°- 40°/42°- 42° /45°) parmak frezelerin, 5 ayrı kesme hızında (48 m/dk., 60 m/dk., 75 m/dk., 90 m/dk. ve 108 m/dk.) ve 3 ayrı ilerleme miktarında (0,04 mm/diş, 0,05 mm/diş ve 0,06 mm/diş) titanyum alaşımını işlemede gösterdikleri performanslar değerlendirilmiştir. Böylelikle helis açısının ve deneylerde kullanılan işleme işleme parametrelerinin titanyum alaşımının talaşlı imalatla şekillendirilmesindeki etkileri ile ilgili verilerin literatüre kazandırılması sağlanmıştır.

## BÖLÜM 3

### TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK

#### 3.1. GİRİŞ

Şekli, boyutları, yüzey kalitesi önceden belirlenmiş parçaların takım tezgahları ile çeşitli talaş kaldırma metodu ile şekillendirilmesine talaşlı imalat denilmektedir. Frezeleme işlemi incelendiğinde; kesici takımın kendi ekseninde dönme hareketi ve iş parçasının ilerlemesiyle birden fazla açı ve kuvvet ile talaş kaldırılır. Bu sebeple talaş kaldırma işlemini açıklamak gerçekte oldukça zordur. Oluşan karmaşıklığı en aza indirmek için frezeleme metodunun en ilkel hali olan ve aynı zamanda talaşlı imalatın temellerinden olan vargel metodu (Şekil 3.1); kesme işlemi mekaniğini de açıklamak için kullanılmaktadır. Talaşlı imalat mekaniğinde dik ve eğik olmak üzere iki temel kesme modeli kullanılmaktadır. Dik kesme modelinde kesici kenar ve ilerleme yönü birbirine diktir. Kesme işlemi üç boyutlu bir işlem olmasına rağmen talaş kaldırma mekaniğini tanımlamak için dik kesme modelinde birçok geometrik karmaşıklık göz ardı edilerek iki boyutta incelenmektedir.



Şekil 3.1. Vargel metodu ile kesme işleminin şematik gösterimi [13].

### 3.2. FREZELEME YÖNTEMİ

En yaygın talaşlı imalat yöntemlerinden birisi olan frezeleme yöntemi, kesici takımın kendi eksenini etrafında dönerek belirli ilerleme hızında tezgah tablasına bağlanmış iş parçasından müsaade edilen sınırlar dahilinde talaş kaldırarak şekillendirmesi olarak tanımlanabilir. Malzemenin istenilen şekline bağlı olarak kesici takımlarında geometrileri değişmektedir. Günümüzde frezeleme işlemlerinde yaygın olarak kullanılan kesici takımların iki ana geometrisi vardır. Bunlar silindirik ve dairesel kesici takımlardır. Geometrilerine göre veya yaptıkları işlemlere göre adlandırılan çeşitli kesici takımlar; tarama frezeleri, parmak frezeler, matkaplar, takma uçlu frezeler, takma uçlu matkaplar, raybalar, küresel frezeler, kılavuzlar şeklindedir. Frezeleme işlemlerinde kullanılan bazı kesici takımlar Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



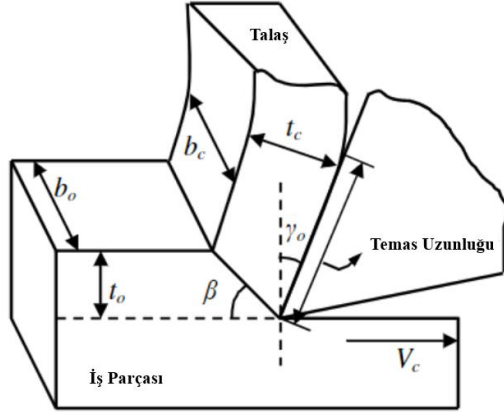
Şekil 3.2. Frezeleme işleminde kullanılan çeşitli kesici takımlar [14].

Bu kesici takımlar içinde bu teze de konu olan parmak frezeler, daha çok cep boşaltma, kanal açma, çevresel frezeleme gibi işlemlerde en yaygın kullanıma sahiptir.

### 3.3 KESME MODELİ

Kesme işlemi esnasında, iş parçası kesici takım ucundaki alanda çok büyük bir baskı altında kalmaktadır. İş parçasındaki bu gerilim kayma ve plastik deformasyona neden

olmaktadır. Kesme kenarı önündeki iş parçasında oluşan gerilim malzemenin toplam kopma mukavemetini geçerse deforme olan malzeme takım talaş yüzeyi üzerinden hareket ederek talaş olarak uzaklaşmaktadır. Bu işlem tekrarlanarak sürekli talaş oluşumunu ve kesme işlemini sağlar. Şekil 3.2’de bu kesme işlemi dik kesme modeli üzerinden gösterilmektedir [13].



$\beta$  = Kayma düzlemi açısı

$\gamma_0$  = Takım talaş açısı

$V_c$  = Kesme hızı (m/dk.)

$b_0$  = İşlenmemiş yüzey genişliği

$b_c$  = Deforme olmamış talaş genişliği

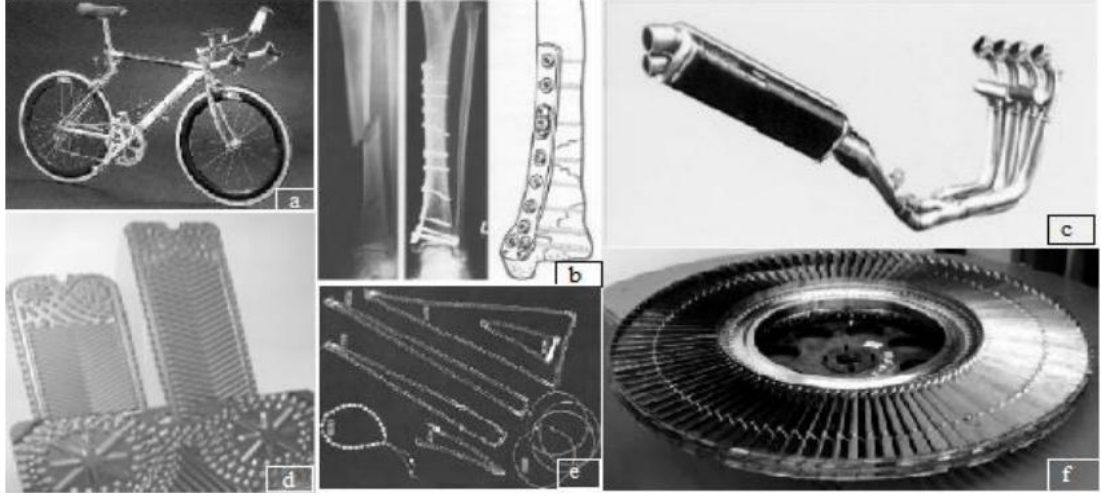
$t_c$  = Deforme olmuş talaş kalınlığı

$t_0$  = Deforme olmamış talaş derinliği

Şekil 3.3. Dik kesme modeli [14].

### 3.4. TİTANYUM ALAŞIMLARI VE İŞLENEBİLİRLİK

Titanyum doğada alüminyum, demir ve magnezyumdan sonra en fazla bulunan metaldir. Titanyum 1790 yılında keşfedilmesine rağmen ticari olarak ilk 1950’li yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. Yer kabuğunda yaygın şekilde bulunmasına rağmen titanyum ve alaşımlarının maliyeti yaygın olarak kullanılan diğer metallerden daha fazladır. Cevherlerinden ekstraktif edilmeleri zordur ve üretimlerinde gelişmiş ergitme teknikleri gerektirmektedir [1]. Şekil 3.4’de titanyum ve alaşımlarının kullanım alanlarından birkaçı gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Titanyum kullanım alanları a) yarış bisikleti, b) plaka kemik implantı, c) yarış motosikletinin egzoz sistemi, d) ısı değiştirici plaklar, e) ziyet eşyaları, f) dūřuk basınç tūrbın rotoru [1].

Titanyum alařımları, malzeme teknolojisinin geliřmesi ile otomotiv, elektronik, bilgisayar, medikal ve dental uygulamalarda geniř kullanım alanı bulmaktadır. Bunun yanında spor araç, gereçlerinin ve makine elemanlarının üretiminde de kullanımı giderek artmaktadır. Kullanımının giderek artması sahip olduęu 10 ūstūn ūzelliklerden kaynaklanmaktadır. Őrneęin titanyum alařımlarının yūksek dayanım aęırlıęa oranı ve yūksek sıcaklık ūzellikleri uzay ve havacılık endūstrisinde çok būyūk ūneme sahiptir. Titanyum ve alařımlarının mūkemmел biyolojik uyumları ve korozyon dirençleri, dūřūk elastiklik deęerleri ve yūksek dirençleri, nispeten dūřūk maliyetleri gibi ūzellikleri dental, implant gibi bazı uygulamalarda titanyumu vazgeçilmez hale getirmiřtir [1].

### 3.4.1. Titanyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

Titanyum alaşımları yapılarındaki faz farklılıklarına gūre sınıflandırılırlar. Esas olarak başlıca  $\alpha$  sabitleyici elementlerle birlikte “ $\alpha$ ” fazından oluşan alaşımlar “ $\alpha$ ” alaşımları olarak adlandırılırken az miktarlarda “ $\beta$ ” sabitleyici elementlerle birlikte “ $\alpha$ ” fazı içerenler yakın  $\alpha$  titanyum alaşımları olarak sınıflandırılırlar.  $\alpha$  ve yakın  $\alpha$  alaşımları genellikle ısıl işlem uygulanamaz ve kaynaklanamaz alaşımlardır. Bu alaşımlar orta dayanım, iyi darbe tokluğu ve yūksek sıcaklıklarda iyi sūrūnme direncine sahiptir. “ $\alpha$

+  $\beta$ ” karışımlarından oluşan alaşımlar “ $\alpha + \beta$ ” alaşımları olarak sınıflandırılırlar. Çoğu “ $\alpha + \beta$ ” alaşımlarına dayanımda orta bir artış sağlamak için ısıl işlem uygulanabilir. Dayanım düzeyleri orta düzeydedir. Bu alaşımlar iyi şekillendirme özelliklerine sahiptir ancak yüksek sıcaklıklarda sürünme dirençleri “ $\alpha$ ” ve yakın “ $\alpha$ ” alaşımları gibi iyi değildir. Son olarak “ $\beta$ ” sabitleyici elementlerin bol miktarda bulunduğu “ $\beta$ ” fazından oluşan alaşımlara “ $\beta$ ” alaşımları denir. “ $\beta$ ” alaşımlarına yüksek dayanımlar için ısıl işlem uygulanabilir ve kolaylıkla şekillendirilebilirler. Buna karşın alaşımlar yüksek dayanım şartlarında yüksek yoğunluğa ve düşük sünekliğe sahiptir. Bu olumsuz özelliklerinden dolayı “ $\beta$ ” alaşımları çok kullanılmamaktadırlar [1].

### 3.4.2. Titanyum Alaşımlarının İşlenebilirliği

Bir malzemenin işlenebilirliği, işlenebilme kolaylığı olarak tanımlanabilir. İşlenebilirlik, malzemenin fiziksel özelliklerine ve kesme koşullarına bağlıdır. İşlenebilirlik normalize edilmiş bir değer olarak veya yüzde ifade edilebilir. Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (AISI) 1112 karbon çeliğini %100 işlenebilirlik derecesine sahip olarak tanımlamıştır [15]. AISI 1112 karbon çeliğine göre karşılaştırılan bazı malzemelerin işlenebilirliği Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Çeşitli malzemelerin işlenebilirlik oranları [15].

Karbon Çelikleri		Alaşımlı Çelikler		Paslanmaz Çelik ve Süper alaşımlar	
1018	%78	2355 yaşlandırılmış	%70	316 yaşlandırılmış	%45
1040	%64	4140 yaşlandırılmış	%66	321 yaşlandırılmış	%36
1137	%72	52100 yaşlandırılmış	%40	410 yaşlandırılmış	%54
1213	%136			Hastelloy X	%19
				Ti6A4V	%38
Takım Çelikleri		Alüminyum/Magnezyum Alaşımları		Gri Dökme Demir	
A-2	%42	Alüminyum, soğuk çekilmiş	%360	ASTM Sınıf 20 yaşlandırılmış	%73
D-2	%27	Alüminyum, döküm	%76	ASTM Sınıf 35	%48
M-2	%39	Magnezyum, soğuk çekilmiş	%480	ASTM Sınıf 50	%36

İş Malzemesinin fiziksel ve kimyasal özellikleri içinde şu 8 madde işlenebilirliğe en fazla etki edenlerdir: mikro yapı, tane büyüklüğü, ısıtma işlemi, kimyasal bileşim, üretim koşulları, sertlik, akma dayanımı ve çekme dayanımı [16].

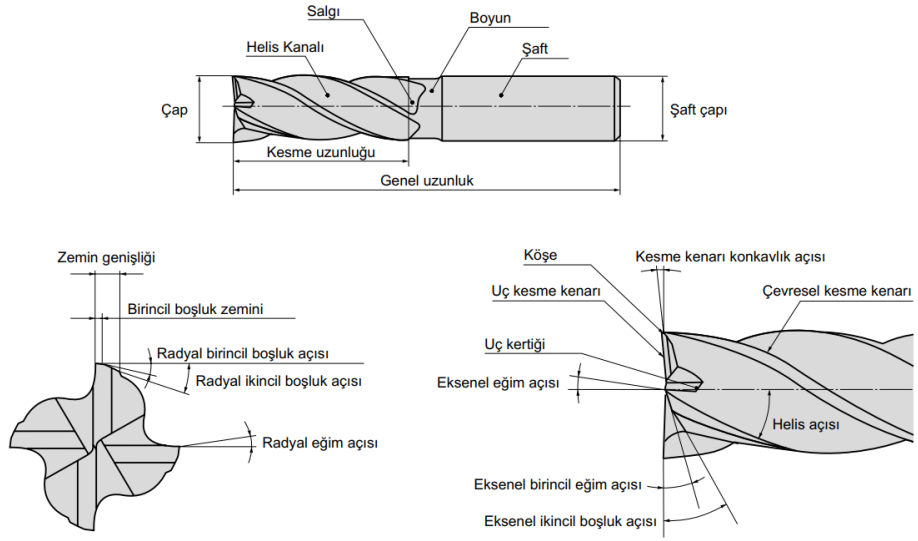
Nikel esaslı süper alaşımlar ile titanyum ve alaşımları gibi gelişmiş malzemeler yüksek ısıtma direnci, sertlik ve aşınma dayanımı gibi özelliklerin birleşimi nedeniyle talaş kaldırma sırasında kesici takım malzemelerine ciddi güçlükler doğurmaktadır. Süper alaşımların düşük işlenebilirlik özellikleri kesici takım malzemeleri üzerinde plastik deformasyona ve hızla artan takım aşınmalarına yol açan kesme kenarına yakın oldukça yüksek termal ve mekanik gerilmelerin oluşmasına neden olmaktadır [17].

Titanyum alaşımlarının işlenebilirliğini sınırlayan önemli faktörlerden birisi difüzyon mekanizmasıdır. Difüzyon özellikle yüksek kesme hızlarında sementit karbür kesici takım malzemesi ile etkileşime girerek kesme kenarını hızlıca aşındırmaktadır.

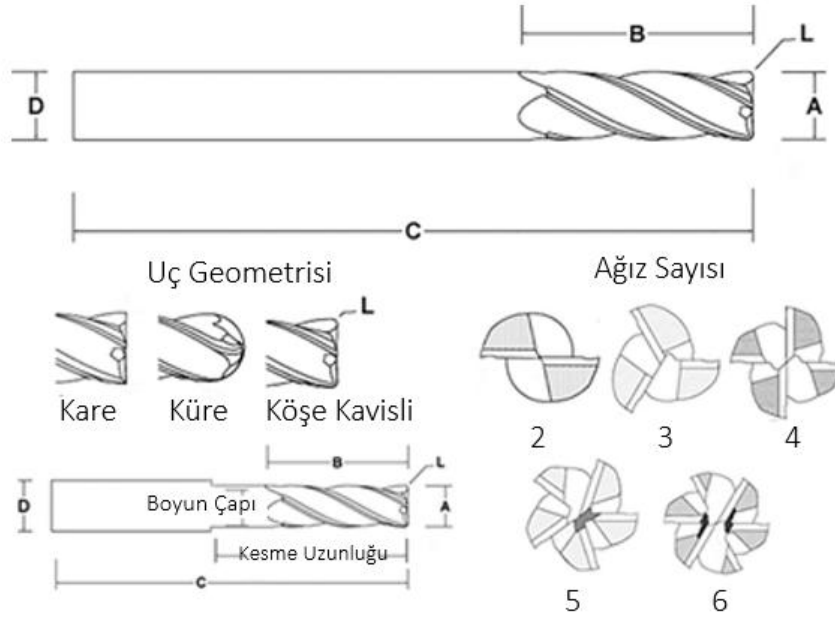
### **3.5. PARMAK FREZELER**

Parmak frezeler yüksek hız çeliği veya sementit karbür silindirik çubuktan bilenecek şekilde imal edilir. Kesme işlemini gerçekleştirecek kesme ağızları silindirik çubuk üzerine açılmış helisel kanallarla oluşturulur. Kesici ağız sayısı (iki, üç, dört, vd.) başta olmak üzere, kesme helis geometrisi (düz veya yivli), kesici uç taban formu (düz, küre) ve kesici ağız köşe geometrisi (pahlı veya kavisli) farklı üretilebilmektedir (Şekil 3.6 ve Şekil 3.7). Parmak frezeler birden çok açığa sahiptirler, bu açılar ve parmak freze üzerinde yer alan kısımlar Şekil 3.5’de gösterilmiştir.





Şekil 3.5. Parmak frezenin açıları ve ölçülerinin gösterimi [17].



Şekil 3.6. Parmak freze kesici uç tabanı ve kesici ağız sayısı gösterimi.



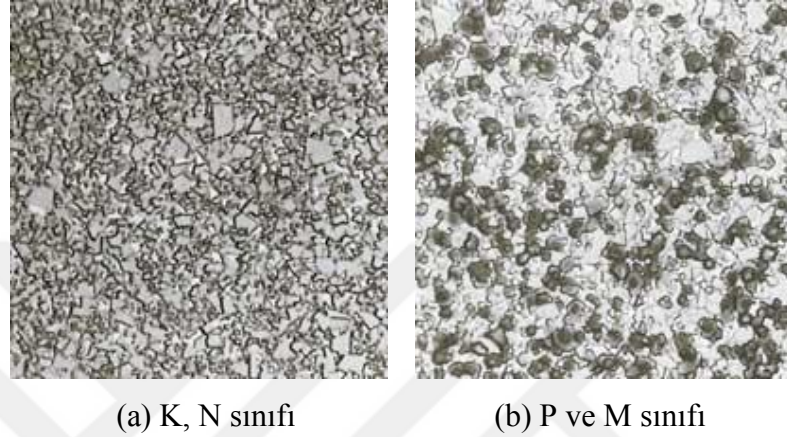
Şekil 3.7. Farklı uç geometrilerine sahip parmak frezeler.

Parmak frezeler; kanal açma, çevresel frezeleme yaparak kaba kesimle birlikte bitirme kesim yaparak dik kenarlar oluşturma, cep boşaltma, yüzey geometrisini işleme gibi birçok frezeleme işleminde yaygın bir kullanıma sahiptir. Parmak frezelerin takım malzemesi ve kaplama materyali, işleyecekleri iş malzemesi ve gerçekleştirecekleri talaş kaldırma işleminin şekline bağlı olarak seçilir. İlk olarak işleyecekleri malzemeye uygun takım malzemesinin seçimi gerçekleştirilir. Yaygın kullanılan takım malzemesi sementit karbürlerdir. Bunlar da ISO'ya uygun işleyecekleri malzeme grubuna göre sınıflandırılmıştır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. ISO standardına bağlı sementit karbür kesici takımların gruplandırılması.

ISO Kodu ve Rengi	Sementit Yapı	Kötü ← Tokluk → İyi					Genel Kullanım Alanı
		İyi ← Aşınma direnci → Kötü					
<b>P</b> Mavi	WC+TiC+TaC/Co	P01	P10	P20	P30	P40	Çelikler
<b>M</b> Sarı	WC+TiC+TaC/Co	M01	M10	M20	M30	M40	Paslanmaz çelikler
<b>K</b> Kırmızı	WC/Co	K01	K10	K20	K30	K40	Dökme demir
<b>N</b> Yeşil	WC/Co	N01	N10	N20	N30	N40	Demir içermeyen metaller
<b>S</b> Turuncu	WC+TiC+TaC/Co	S01	S10	S20	S30	S40	Isı dirençli alaşımlar, titanyum
<b>H</b> Gri	WC+TiC/Co	H01	H10	H20	H30	H40	Sertleştirilmiş çelikler

Yukarıdaki çizelgede yer alan sınıflandırma işlemlerinde, başta ana aşınma dirençli malzemelerin karışım oranı olmak üzere, aşınma dirençli malzeme boyutları da değiştirilerek farklı malzeme gruplarına uygun kesici takım üretimleri gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.8’de “K ve N” sınıfı malzemeler ile “P ve M” sınıfı malzemelere uygun geliştirilen sementit karbür yapılar görülmektedir.



Şekil 3.8. Sementit karbür yapıları, a) WC/Co, b) WC+TiC+TaC/Co [18].

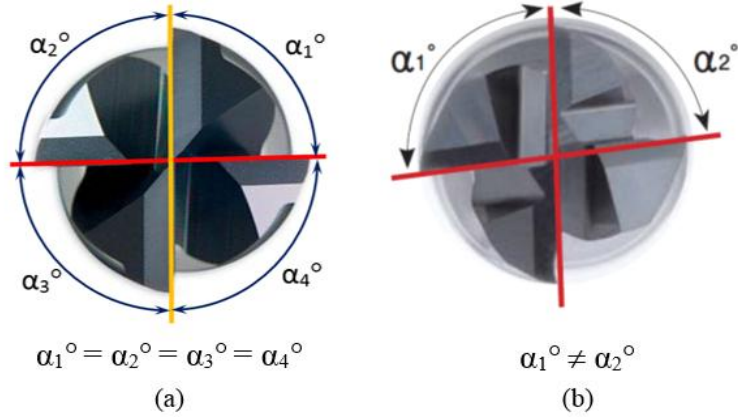
Çevresel frezeleme işleminde yanal kesme genişliği ( $a_e$ ) ve kesme derinliğine ( $a_p$ ) bağlı parmak frezeler iki farklı talaş kaldırma işlemini gerçekleştirir. Bunlar kaba ve bitirme frezeleme işlemidir. Kaba frezeleme işlemlerinde kesici kenarda oluşan kesme kuvvetinin belirli aralıklarla düşürülmesi amacıyla yivli helise sahip parmak frezeler tercih edilir. Düz helisli parmak frezeler de kaba kesimler için kullanılmaktadır. Bitirme işlemlerde ise sadece düz helis geometrili parmak frezeler kullanılır. Ayrıca bitirme işleminde kesici ağız sayısı fazla (4, 5, 6 ve 8) parmak frezeler tercih edilmelidir [19].

Kanal açma işlemlerinde ise kesici ağız sayısı iki, dört ve sekiz ağızlı takımlar yerine üç, beş ve altı ağızlı kesici takımlar tercih edilir. Kanal açma işleminde, kesici ağız hilal formunda bir kesiti keser. Kesme başlangıcında ve sonunda kesici ağız çok küçük kesitte talaş kaldırır. Kesme yayının ortasında ise en büyük kesitte kesme işlemini gerçekleştirir. Parmak freze ağızlarından birisi kesme yayının ortasında iken diğer kesici ağızların kesme yayı başlangıcı veya sonunda olması istenmez. Bunun nedeni parmak freze ağızlarından herhangi birisi yüksek kesme kuvveti etkisi altında iken

diğer kesici ağız/ağızlara kanal duvarları tarafından ilave baskının oluşmasıdır. Bu durum da hem kesici ağız (kesici kenarın çentik etkisi ile hasara uğraması), hem de işlenen kanal duvarı üzerinde (yüzey pürüzlülüğünün artması, kanal duvar dikliğinin bozulması, vb.) olumsuz etkiler oluşabilmektedir [19].

### 3.5.1. Parmak Frezelerde Helis ve Helis başlangıç (Konum/Adım) Açısı

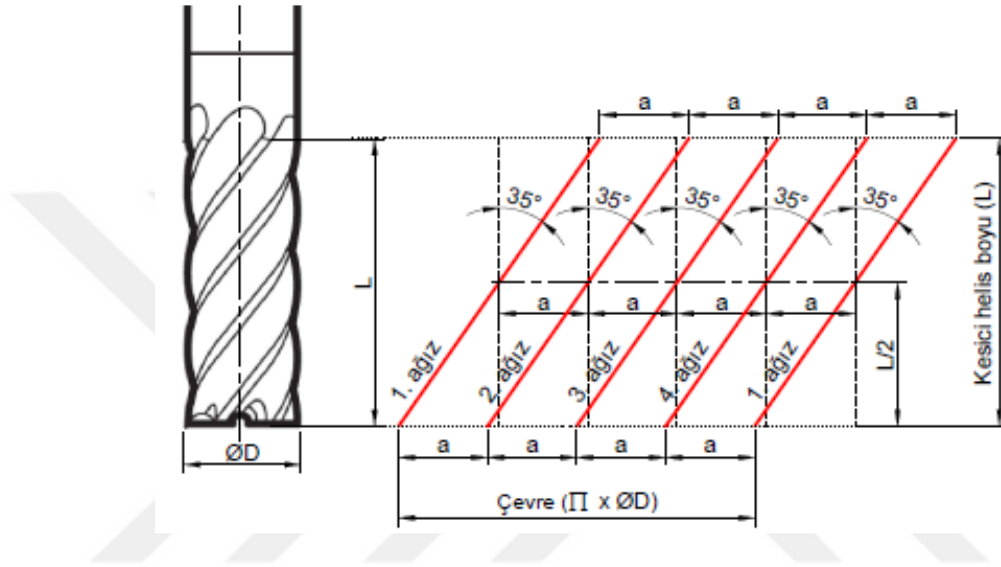
Parmak frezelerin kesme geometrileri, çeşitli bileme teknikleri ile oluşturulmaktadır. Parmak frezeler, çapı, taban geometrisi (düz, küresel, düz-köşe pahlı ve düz-köşe kavisli), helis geometrisi (düz veya yivli), ağız sayısı (2, 3, 4, 5, 6, 8, vd.), helis başlangıç açısı (sabit veya değişken aralıklı), helis açısı (sabit veya değişken) farklı özelliklerde üretilebilmektedir. İşlenecek malzeme grubuna uygun en ideal kesme geometrisinin belirlenmesine yönelik çalışmalar üretici firmalar ve araştırmacılar tarafından yoğun çalışılan konulardır. Özellikle, helis açısı ve helis başlangıç açısının değişiminin parmak frezelerin kesme performansı üzerindeki etkileri araştırmacıların odağındadır. Farklı tipteki helis başlangıç açısı ve helis açısı görselleri Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'te görülmektedir.



Şekil 3.9. Parmak freze helis başlangıç açısı; a) sabit aralıklı, b) değişken aralıklı.

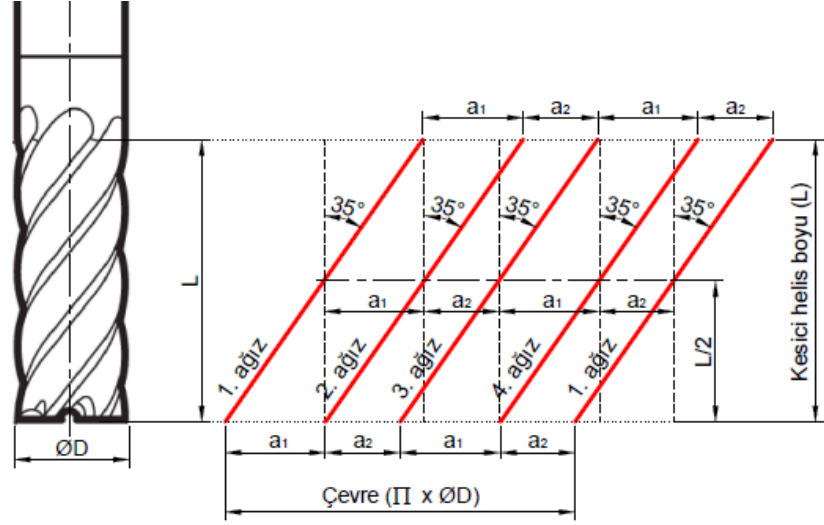
Sabit aralıklı helis başlangıç açısına sahip parmak frezeler, silindirik taban çapı eşit aralıklara bölünerek imal edilirler. Yukarıda yer alan dört ağızlı sabit aralıklı helis başlangıç açılı takımlarda, iki helis başlangıç arasındaki açı değeri  $90^\circ$  aralıklıdır. Parmak frezenin açılımı dikkate alındığında, her helis sarımı silindirik takım gövdesi

üzerinde eşit mesafeli olarak açılmıştır. Her bir kesici ağız, bir tam tur dönüşte aynı hacimde talaş kaldırma işlemini gerçekleştirir. Kesici takım gövdesinin dönme eksenini daima aynı yüklere maruz kalır. Tekrarlı kesimlerde birbiri ile çakışan kuvvetler etkisi ile kesme esnasında oluşan bileşke kesme kuvveti ve takım vibrasyonu artar. Helis başlangıç açısı sabit aralıklı, dört ağızlı parmak frezenin helis açılımı ile ilgili şematik görsel Şekil 3.10’da yer almaktadır.

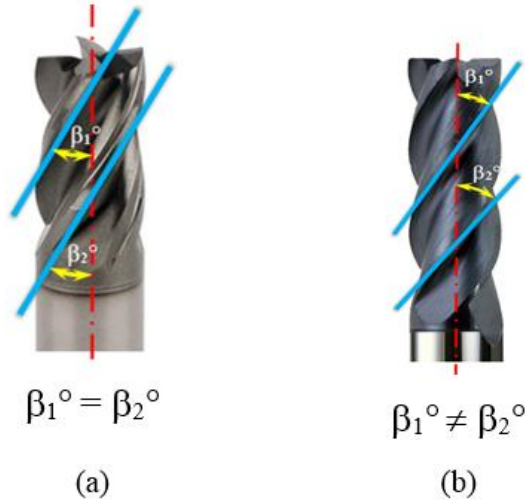


Şekil 3.10. Helis başlangıç açısı sabit aralıklı, dört ağızlı parmak frezenin helis açılımı.

Helis başlangıç açısı değişken aralıklı takımlar ise silindirik çubuk taban çapı birbirine eşit olmayan aralıklara bölünür. Dört ağızlı takımlarda, ilk helis  $0^\circ$  değerinden başlayıp, diğer helislerin başlangıçları  $90^\circ$  değerinden  $\pm 5^\circ$  farklılıkla konumlandırılarak parmak frezenin üretimi gerçekleştirilir. Bu durum helis sarmallarının silindirik çubuk üzerindeki yerleşimlerinin, birbirine kıyasla mesafe farklılıklarıyla oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle kesicinin bir tam tur dönüşünde her bir kesici ağız farklı hacimde talaş kaldırma işlemi gerçekleştirir. Her bir ağız farklı kuvvet etkileri altında talaş kaldırır. Üreticiler bu tür kesici takımları üreterek yüksek mukavemetli malzemelerin işlenmesinde, takım gövdesinin dayanımını artırmayı ve vibrasyonu azaltmayı hedeflemektedir. Helis başlangıç açısı değişken aralıklı, dört ağızlı parmak frezenin helis açılımı ile ilgili şematik görsel Şekil 3.11’de yer almaktadır.



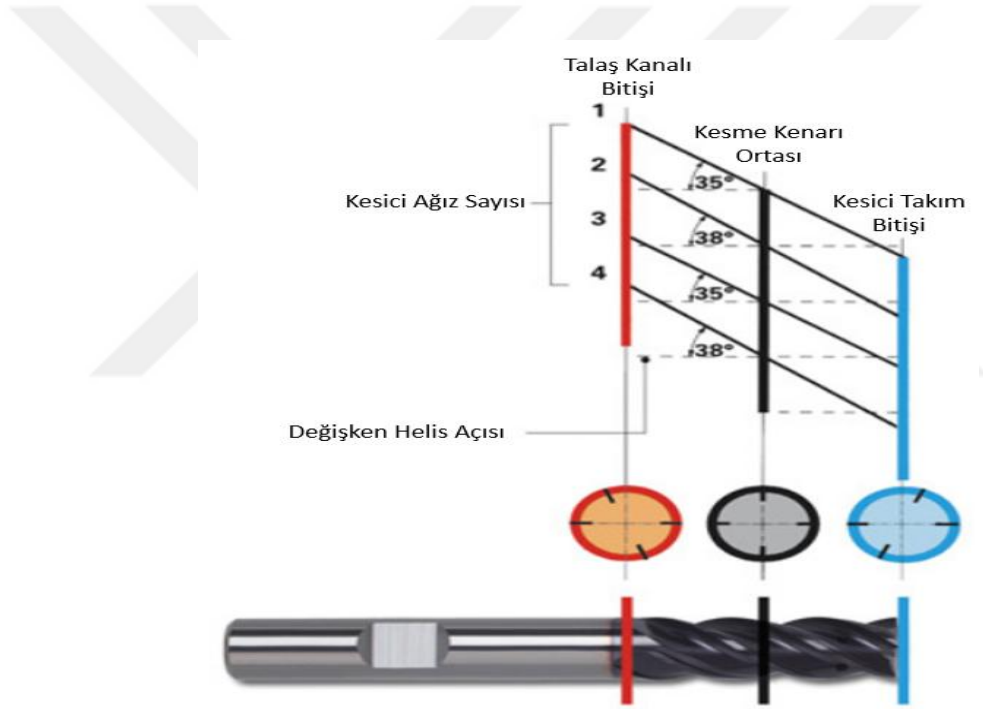
Şekil 3.11. Helis başlangıç açısı değişken aralıklı, dört ağızlı parmak frezenin helis açılımı.



Şekil 3.12. Parmak freze helis açısı; a) sabit helis açılı, b) değişken helis açılı.

Şekil 3.12a'da kesici ağızların her biri aynı helis açısında silindirik çubuk üzerine açılır. Şekil 3.12b'deki gibi değişken helis açılı takımlarda ise tek ve çift sayılı ağız sayısına sahip takımlarda farklı bileme stratejileri geliştirilmiştir. İki ve katı ağız sayısına sahip kesici takımlar karşılıklı her bir ağız aynı açı değerine sahip olacak şekilde bilenmektedir. Üç ağızlı takımlar gibi tek sayılı kesme ağızına sahip kesici takımlarda her bir kesici ağız farklı helis açısında bilenmektedir. Dört ağızlı takımlarda karşılıklı kesme ağızlarının helis açıları aynı olacak şekilde iki farklı helis açısı kullanılmaktadır. Değişken helis açılı parmak frezelerin üretiminde, bileme

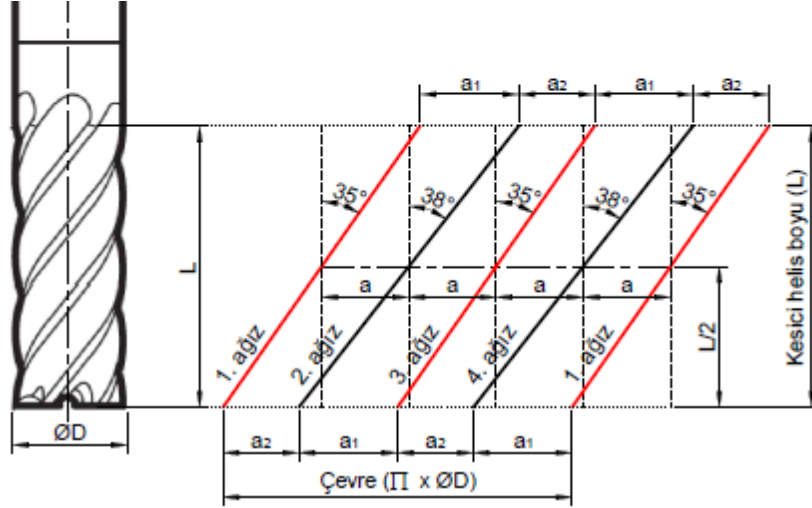
diskinin konum açısı ve bileme işleminde kullanılacak helis adımı değiştirilerek kesici ağzın helis açısı belirlenmektedir. Değişken helis açısına sahip kesici takımlar, sabit helisli parmak frezelere kıyasla, üretilebildikleri helis açı değeri oldukça sınırlıdır. Üretimlerinde parmak freze gövdesinin kesit alanı açılan helisel olukların başından sonuna dinamik olarak değişmektedir. İyi planlanmayan üretim şartları takımın gövdesinin kesit alanının azalmasına ve dayanımının azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca, sabit helisli parmak frezelere kıyasla üretimlerinde kullanılan kesme disklerinin özel formu ve adetinin artması gibi nedenlerle üretim süreleri ile birim üretim maliyetleri artmaktadır. Değişken helis açılı parmak frezelerin tasarımında, Şekil 3.13’de yer alan tasarım metodolojisi kullanılmaktadır.



Şekil 3.13. Değişken helisli parmak frezenin helis açısının kesme boyuna göre değişimi [20].

Değişken helis açılı parmak frezelerde takım ucundaki bileme diskinin giriş açısı; kesme uzunluğu ortasında kesici ağzların adım açıları eşitlenecek şekilde belirlenmektedir. Kesme boyu ortasında aynı olan adım açısı, değişken helis açıları ile birlikte takım ucu ve talaş kanalı bitimine doğru artıp azalmaktadır (Şekil 3.14).





Şekil 3.14. Değişken helis açılı 4 ağızlı parmak frezenin açılımı.

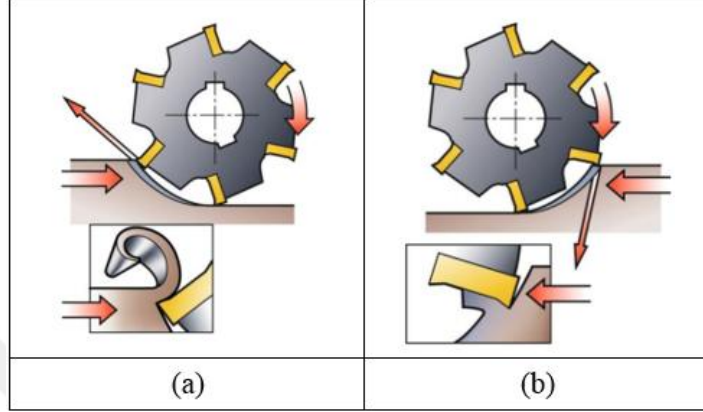
Üretici firmalar helis başlangıç açısının konumunu değişken aralıklı üreterek, kesme esnasında oluşan en önemli kesme kuvveti bileşeni teğetsel kuvveti ( $F_T$ , esas kesme kuvveti) her kesme ağızında farklı yükler oluşturarak tekrarlı yüklemelerin oluşmasından kesici takım ve iş parçasını korumayı amaçlamaktadır. Helis açısının değişimiyle ise ilk kesme başlangıcından kesme derinliği bitimine kadar kesici ağız kesme helisinin, anlık değişen (artan/azalan) talaş kesiti ve anlık değişen kesme kuvveti yönlerinde talaş kaldırma işlemini gerçekleştirmesi sağlanır. Böylelikle kesici kenar üzerinde oluşan özellikle teğetsel ve pasif kuvvet etkilerinin, kesici takım gövdesi üzerinde anlık değişken yönlerde oluşması sağlanır. İş malzemesi üzerinde ise vibrasyon etkileri en aza indirilmiş takım gövdesi ile kesim gerçekleştirilerek, tırlama izlerinin oluşması engellenir ve yüzey kalitesi iyileşir.

### 3.6. FREZELEME YÖNÜ

Frezeleme işlemlerinde kullanılan iki tür işleme yönü mevcuttur. Bunlar aynı yönlü ve zıt yönlü frezeleme teknikleridir (Şekil 3.15). İki yönteminde çeşitli avantaj ve dezavantajlı yanlarının var olduğu bilinmektedir. Bu yönlerin belirlenmesinde öncelikle kesici takımın kesme işlemini gerçekleştirdiği dönme yönü bilinmelidir. Frezeleme işlemlerinde kullanılan kesici takımlar özel bir durum olmadığı müddetçe sağ helisli olarak imal edilirler. Bu nedenle iş miline bağlanan bir kesici takım sağ helisli olduğu müddetçe iş mili arkasından bakıldığında saat yönünde dönmek



zorundadır. İşlenerek yeni elde edilen yüzeyde kesicinin dönme teğeti ile iş malzemesinin ilerleme yönü birbiri ile kıyaslanır. Bu iki yön birbiri ile zıt yönde ise zıt yönlü frezeleme, aynı ise aynı yönlü frezeleme yaparak iş parçasından talaşlar kopartılır.



Şekil 3.15. Frezeleme işleminde yönler; a) zıt yönlü, b) aynı yönlü [21].

### 3.6.1. Zıt yönlü frezeleme

Klasik freze tezgahlarında ilk tercih edilen frezeleme yönüdür. Kesici ağız, yeni elde edilen yüzeye neredeyse teğet bir kesme girişiyle, çok küçük kesitte talaş kaldırarak kesmeye başlar. Çoğu zaman kesici ağızın iş malzemesine batması kontrolsüzdür. Kesici ağız batarak değil kazıyarak kesmeye başlar. Bu durum kesici takımın kesme ağızlarının yüksek sürtünme ve vibrasyon etkisi altında ani deformasyonuna neden olabilmektedir. Ayrıca kesme işleminin devamında artan talaş kesiti nedeniyle kesici ağız üzerinde oluşan kuvvetler artar. Kesici takım kuvvetlerin etkisi ile işlenen yüzeye doğru itilir. Kesici ağız üzerinde kuvvet-sıcaklık ve sürtünmeye bağlı olarak başta abrasiv ve adhesiv aşınma mekanizmaları olmak üzere diğer aşınma mekanizmaları etkisinde ani aşınma kayıpları yaşanır. Ayrıca talaş kesitinin tahliyesi esnasında kesit daralması nedeniyle kesilmekten ziyade kopan talaş, kesici kenar üzerinde şok darbe etkisi de oluşturmaktadır. Bu nedenle elzem durumlar haricinde kullanılması önerilmez. Genelde iş malzemesinin dış kabuğunun sert olduğu malzemelerde (döküm, yüzeyi kaynaklı malzemeler, vb.) kullanılır. Talaş kaldırma esnasında oluşan yüklere bağlı pekleşen veya oluşan sıcaklık etkisiyle yüzeyinde aşınma dirençli

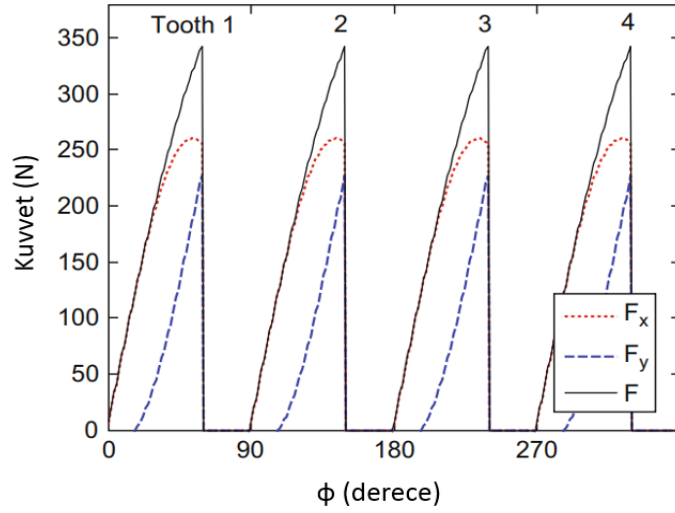
koruyucu tabaka oluşturan malzemelerin (östenitik paslanmaz çelikler, süper alaşım ve titanyum alaşımları, vb.) işlenmesinde kullanılmamalıdır [22].

### **3.6.2. Aynı yönlü frezeleme**

CNC freze tezgahlarında en genel kullanıma sahip frezeleme tekniğidir. Kesici ağız ideal şartlarda belirlenmiş diş başına ilerleme oranında atıl iş parçası yüzeyinden batarak kesmeye başlar. Kesme işlemi sürekli azalan talaş kesitinde yeni elde edilecek yüzeye doğrudur. Talaş kaldırma işleminin doğası gereği soğuk noktada başlayan talaş kaldırma işlemi kesme sürecinin sonuna doğru artan sıcaklıkla talaşın deformasyonu kolaylaşır. Azalan talaş kesiti ve artan sıcaklığa bağlı kolaylaşan plastik deformasyon kesici ağız üzerine gelen kuvvetler ve vibrasyon azalır. Yeni elde edilen yüzeyin kenar dikliği ve yüzey kalitesi iyileşir. İdeal belirlenmiş işleme koşullarında kesicinin takım ömrü uzar. Plastik deformasyonla pekleşen malzemeler için en ideal frezeleme tekniğidir [19].

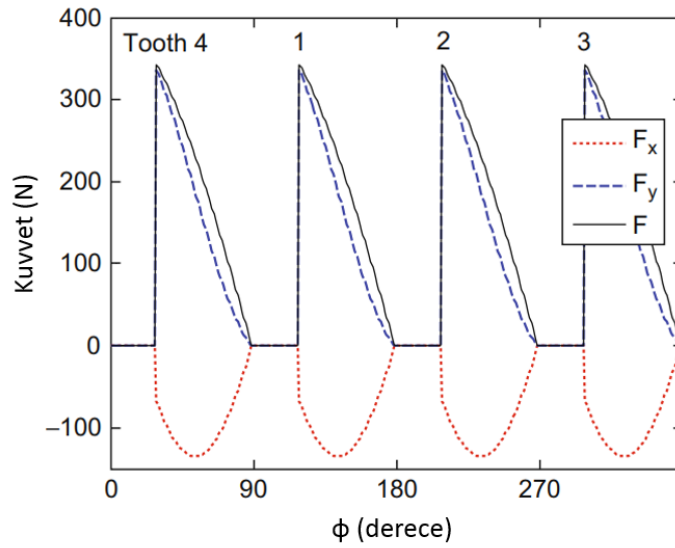
Paslanmaz çelik, titanyum, süper alaşımlar gibi ısı iletkenlik katsayısı düşük malzemelerde işleme esnasında oluşan ısının çoğunluğu kesme bölgesinde olduğundan dolayı işlenen yüzey sertleşmektedir. Aynı yönlü frezeleme işleminde kesici uç iş parçasına batarak girdiği için bu sert tabakadan kesici ağzın etkilenmesi önlenmektedir.

Frezeleme yönüne ve talaş kesitine bağlı olarak oluşan kesme kuvvetleri de Şekil 3.16 ve Şekil 3.17’de gösterildiği gibi değişmektedir.



Şekil 3.16. Zıt yönlü frezeleme esnasında oluşan kuvvetler [23].

Zıt yönlü frezeleme işleminde takım talaşa önce en ince kesitten; iş parçasına sürtünerek başlamak suretiyle girmektedir. Kesici takım ucu iş parçasından çıktığı noktada talaş kesiti en kalın olmaktadır. Oluşan kesme kuvvetleri talaş kesiti ile doğru orantılı olarak değişim gösterdiği için; kesme kuvvetleri talaşın en kalın olduğu noktaya kadar artarak devam etmektedir. Talaş iş parçasından koparıldığı an kesici takım ucundaki yük kalkacağı için Şekil 3.16'da görüldüğü üzere kesme kuvveti aniden düşecektir.



Şekil 3.17. Aynı yönlü frezeleme esnasında oluşan kuvvetler [23].

Aynı yönlü frezeleme işleminde ise kesici takım ucu iş parçasına ilerleme miktarı kadar talaş genişliğinde batarak girmektedir. Takım ucu talaşa girdikten sonra dönme hareketi ve ilerleme ile talaş kesiti azalarak kesme devam etmekte ve iş parçasından ayrılmaktadır. Takımın iş parçasına girdiği an talaş genişliğinin en büyük olduğu ve çarpmanın etkisiyle oluşan kesme kuvvetleri ani ve en yüksek olmaktadır.



## BÖLÜM 4

### MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Ti6Al4V malzemesi, bilenerek üretilmiş sementit karbür parmak frezeler kullanılarak çevresel frezeleme ile işlenmesinde en ideal takım geometrisi ile en ideal işleme koşullarının belirlenmesine yönelik deneysel ağırlıklı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. En ideal takım geometrisi ve işleme koşulları, en düşük kesme kuvveti ve en iyi yüzey kalitesinin elde edildiği deneyler ile açıklanmaya çalışılmıştır. Deneysel ağırlıklı tez çalışmasında kullanılan materyaller ve yöntemler aşağıda özetlenmiştir.

#### 4.1. DENEY MALZEMESİ

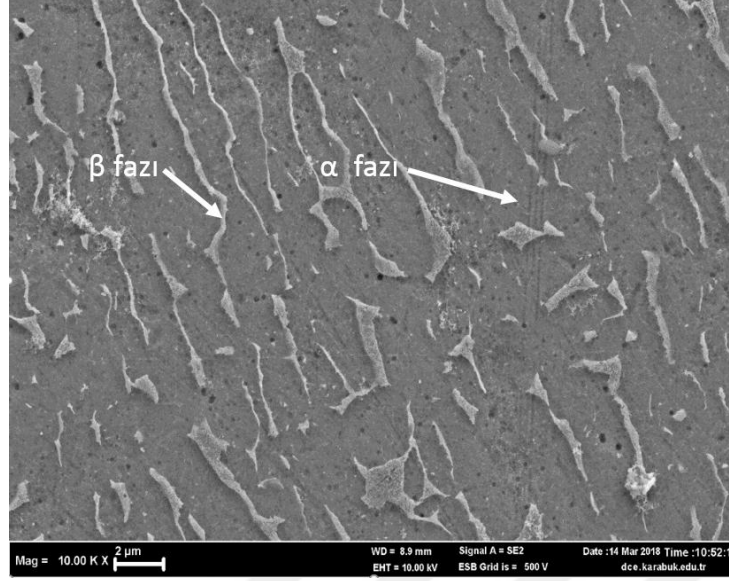
İşleme deneylerinde, yüksek dayanım, korozyon ve insan vücuduna karşı sergilediği kimyasal kararlılık özellikleri nedeniyle medikal, havacılık, uzay ve deniz araçları alanlarında yaygın olarak tercih edilen  $\alpha + \beta$  fazlı Ti6Al4V titanyum alaşımı kullanılmıştır. Titanyum “Grade 5” ticari isimli Ti6Al4V alaşımının kimyasal bileşimi Çizelge 4.1’de mekanik özellikleri ise Çizelge 4.2’de sunulmuştur. Şekil 4.1’de ise titanyum alaşımının mikro yapı görüntüsü gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Titanyum “Grade 5” (Ti6Al4V) kimyasal bileşim raporu.

Element	Ti	Al	V
% Oran Ort.	89.57	6.53	3.9

Çizelge 4.2. Titanyum Gr. 5 (Ti6Al4V) Mekanik Özellikleri [24].

Çekme Dayanımı ( $\sigma_K$ ), MPa	Akma Dayanımı ( $\sigma_a$ ), MPa	Sertlik (Rockwell C), HRC	Uzama, (%)	Yoğunluk ( $\delta$ ), gr/cm <sup>3</sup>	Isı iletim katsayısı ( $\lambda$ ), W/m <sup>2</sup> K
930	830	36	10	4,45	7,3

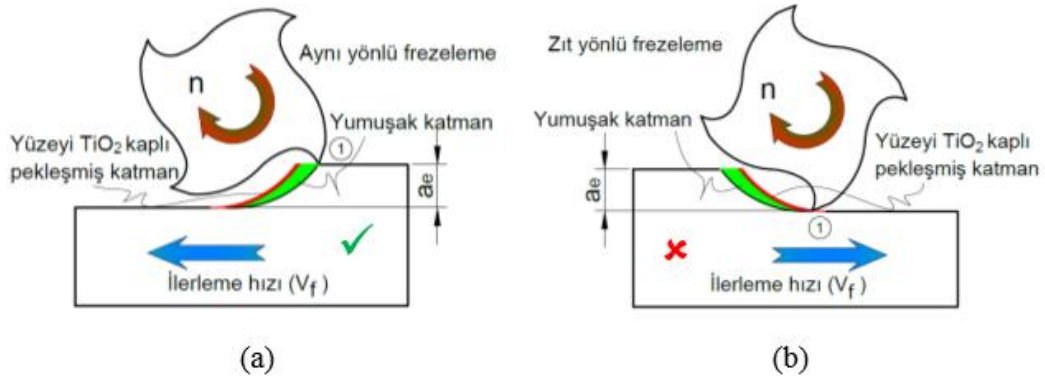


Şekil 4.1. Ti6Al4V alaşımının SEM mikroskobu ile çekilmiş görüntüsü.

İşleme deneylerinde kullanılan Ti6Al4V alaşımının malzeme boyutları; 100x10 mm dikdörtgen kesitli 200 mm boya sahiptir.

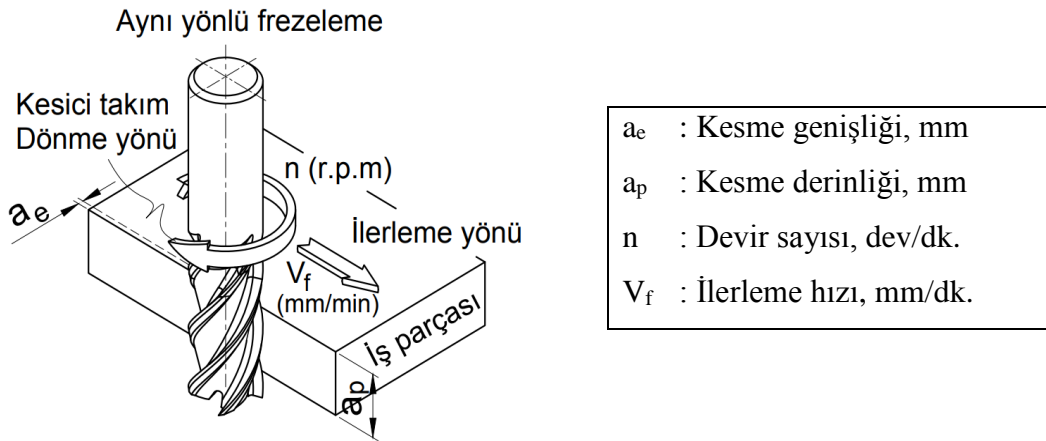
#### 4.2. FREZELEME YÖNÜ

Titanyum alaşımları yüzeylerinde yararlı oksit tabakası olarak  $TiO_2$  oluşturmaktadır [25].  $TiO_2$  Özellikle yüksek sıcaklıklarda bu tabakanın rolü oldukça önemlidir. Yüzeyde hem termal bariyer hem de aşınma dirençli bir katman oluşturmaktadır. Talaşlı imalatla şekillendirilmesinde oluşan ısı bu tabakanın oluşumunu hızlandırmaktadır. Bu durum titanyum alaşımlarının plastik deformasyonla şekillendirilmelerinde olumsuzluk olarak karşımıza çıkmaktadır. Isı iletim katsayısı düşük olan titanyum alaşımlarının talaş kaldırılan bölgede ısı yoğunluğunun artmasıyla bu oksit tabakasının oluşumu hızlanmaktadır. Özellikle frezeleme işleminde tekrarlı ardışık kesme ağızları ile gerçekleştirilen talaş kaldırma işlemlerinde oluşan aşınma, dirençli sert oksit tabakası talaşlı imalatı zorlaştırmaktadır. Kesicinin sert oksit tabakasına temas ederek kesme işlemine başlaması kesici kenarlarda abrasiv aşınma mekanizması başta olmak üzere diğer aşınma mekanizmaları ile ani hasarların oluşumuna neden olmaktadır. Bu nedenle, çevresel frezeleme işlemlerinde aynı yönlü frezeleme işleminin kullanılması gerekmektedir [17]. Bunun gereği Şekil 4.2’de şematik görseller üzerinde izah edilmiştir.



Şekil 4.2. Çevresel frezeleme yöntemlerinde kesilen yüzeyde pekleşme ve difüzyonla oluşan sert tabakaların kesilmesi; a) Aynı yönlü frezeleme, b) Zıt yönlü frezeleme.

Şekil 4.2a'da kesici ağız iş parçasına her zaman nispeten benzer sertlikteki iş malzemesine batarak kesmeye başlamaktadır. Şekil 4.2b'de ise kesici ağız daha önceki kesimle, iş parçası işlenen yüzeyinde oluşmuş, sert ve aşınma dirençli bölgeye sürtünerek kesme yapmaya çalışmaktadır. Deneylerde Şekil 4.3'te şematik gösterimi yer alan aynı yönlü frezeleme tekniği kullanılmıştır.



Şekil 4.3. Deneylerde kullanılan aynı yönlü çevresel frezeleme yönteminin şematik gösterimi.

### 4.3. KESİCİ TAKIMLAR

Deneyleerde kullanılan kesici takımlar; sementit karbür çubuktan bilenererek üretilmiştir. Bileme işlemleri Eskişehir ilinde yer alan KARCAN Ltd. Şti tarafından gerçekleştirilmiştir. Bileme işlemleri tamamlanan kesicilerin tamamı CVD yöntemi ile aynı kaplama malzemesi ile kaplanmıştır. KARCAN Ltd. Şti tarafından bilenererek üretilen parmak frezeler sabit ve değişken helis açılı olmak üzere iki farklı gruptadır. Sabit helis açılı parmak frezeler 30°- 32°- 35°- 38°- 40° helis açısında dört kesici ağıza sahip 5 farklı takımdır. Değişken helis açılı parmak frezeler de dört kesme ağızlı olup, 30°/32° – 35°/38° – 40°/42° – 42°/45° helis açılı, 4 adet farklı takımdır. Tüm parmak frezele kesici takımlar 10 mm çapındadır. Üretilen sabit helis açılı ve değişken helis açılı parmak frezelerin geometrik ölçüleri Çizelge 4.3 ve 4.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. İşleme deneylerinde kullanılan sabit helisli parmak frezeler.

Takım No	Helis Açısı ( $\beta_1$ ), °	İşleme çapı (d1), mm	Şaft çapı (d2), mm	Takım boyu (l1), mm	Kesici ağız boyu (l2), mm	Kesici ağız sayısı (z), Adet
1	30	10	10	72	22	4
2	32	10	10	72	22	4
3	35	10	10	72	22	4
4	38	10	10	72	22	4
5	40	10	10	72	22	4



Çizelge 4.4. İşleme deneylerinde kullanılan değişken helisli parmak frezeler.

Değişken Helisli: $\beta_1 \neq \beta_2$ PVD kaplanmış						
Takım No	Helis Açısı ( $\beta_1/\beta_2$ ), °	İşleme çapı ( $d_1$ ), mm	Şaft çapı ( $d_2$ ), mm	Takım boyu ( $l_1$ ), mm	Kesici ağız boyu ( $l_2$ ), mm	Kesici ağız sayısı ( $z$ ), Adet
1	30/32	10	10	72	22	4
2	35/38	10	10	72	22	4
3	40/42	10	10	72	22	4
4	42/45	10	10	72	22	4

#### 4.4. TAKIM TUTUCU

Silindirik şafta sahip parmak frezelerin takım tezgahı iş miline takılmalarında kullanılan adaptörlerin en düşük salgı ve balansla güvenli sıkma kuvveti uygulayarak takımı bağlama özelliğine sahip olması beklenir. Bu amaç doğrultusunda işleme deneylerinde parmak frezelerin tezgaha bağlanmasında JIS B 6339 standardına sahip hidrolik takım tutucu kullanılmıştır. Hidrolik takım tutucu “Schunk” marka, “206436” modeli olup 6, 8, 10, 12 ve 20 mm çaplı takımları bağlayabilmektedir (Şekil 4.4). Parmak frezeler hidrolik takım tutucu üzerine 10 mm çapındaki özel pensi vasıtasıyla bağlanmıştır. Kesici takımlar takım tutucuya, pensten itibaren çapının 3 katını geçmeyecek şekilde 29 mm boyda bağlanmıştır.



Şekil 4.4. Hidrolik takım tutucu [26].

#### 4.5. TAKIM TEZGAHI

İşlenebilirlik deneyleri Bartın Üniversitesi makine mühendisliğine bağlı merkezi laboratuvarında bulunan “Falco VMC 855” marka CNC dik işleme merkezinde yapılmıştır. CNC dik işleme merkezinin teknik özellikleri Çizelge 4.5’te ve görseli Şekil 4.5’te sunulmuştur.

Çizelge 4.5. CNC dik işleme merkezinin teknik özellikleri.

Teknik özellikleri	Ölçüsü
<b>Y eksen hareket boyu:</b>	800 mm
<b>X eksen hareket boyu:</b>	500 mm
<b>Z eksen hareket boyu:</b>	450 mm
<b>Tezgah gücü:</b>	7,5 kW
<b>Maksimum devir sayısı:</b>	10000 dev/dk.
<b>Hassasiyet:</b>	0,001 mm
<b>Takım bağlama kapasitesi:</b>	12 adet
<b>Kontrol sistemi:</b>	Mitsubishi (Meldas70) M70

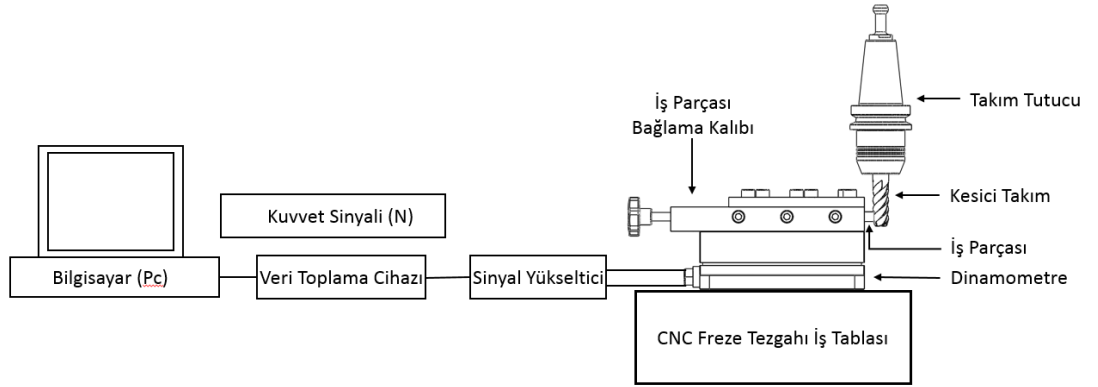


Şekil 4.5. Deneylerin yapıldığı CNC dik işleme merkezinin genel görünümü (Falco VMC 855) [27].

#### 4.6. DENEY DÜZENEĞİ

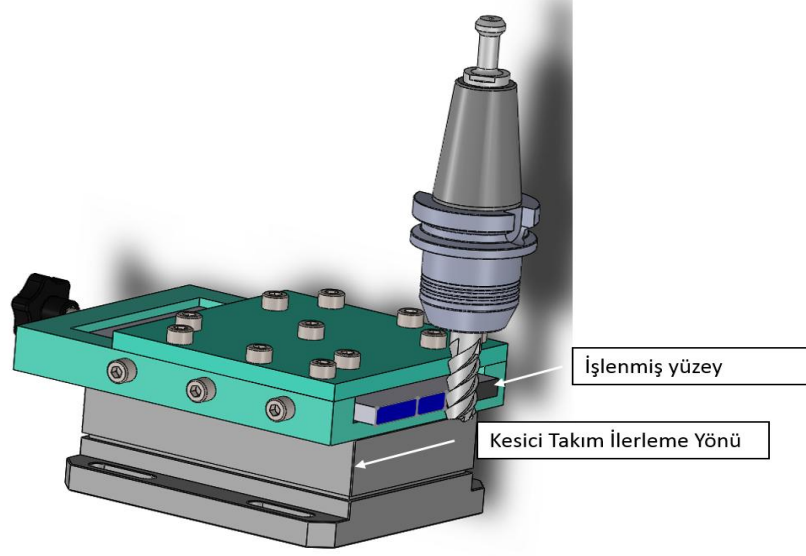
Ti6Al4V titanyum esaslı iş parçasının çevresel frezelenmesi esnasında iş kalıbı içerisinde dinamometre düzleminde 10 mm dışarıda olacak şekilde civatalar ile sabitlenmiştir (Şekil 4.7). Talaş kaldırma işlemi kesici takım 1 mm talaş genişliğinde talaş kesitini kaldırarak yapılmıştır. Her talaş kaldırma işleminden sonra iş parçasından kaldırılacak talaş miktarı aynı olacak şekilde iş parçası uygun şekilde tekrar bağlanmıştır.

Çevresel frezeleme deneyleri için kurulan deney düzeneğinde, kullanılan dinamometre CNC dik işleme merkezinin tablasına mengene ile sabitlenmiştir. İş parçası bağlama kalıbı ise dinamometrenin teknik montaj özelliğine uygun olacak şekilde tasarlanıp CNC freze tezgahında imal edilmiştir. Dinamometreye uygun sinyal yükseltici ve veri toplama cihazına bağlantıları yapılarak Dynoware programı ile bilgisayardan kontrol edilmiştir. Şekil 4.6’da deney düzeneğinin şematik gösterimi sunulmuştur.



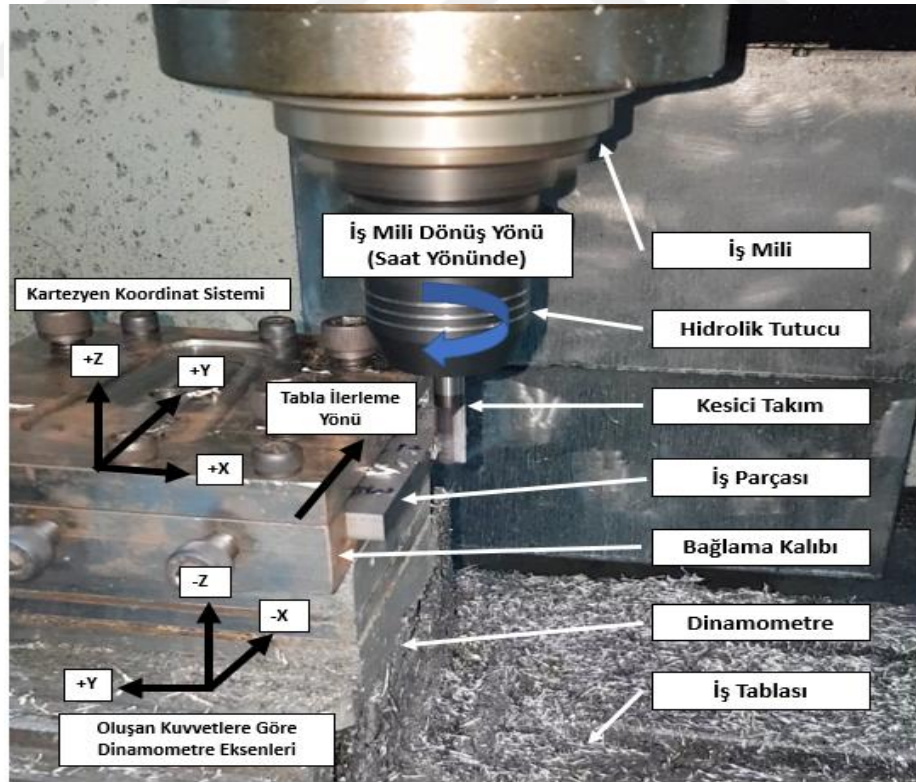
Şekil 4.6. Deney düzeneğinin şematik gösterimi.

Şekil 4.7’de tutucunun, iş parçasına ve bağlama kalıbına çarpışma testi tasarım programında kontrol edilerek bağlama kalıbı tasarlanmış ve sonrasında deneyler için üretilmiştir.



Şekil 4.7. İş parçası bağlama kalıbı.

Bağlama kalıbı içerisine yerleştirilmiş Ti6Al4V alaşımı plaka, kullanılan dinamometre, kesici takım ve tezgahın genel görünümü Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Bağlama kalıbı içine yerleştirilmiş Ti6Al4V titanyum alaşımı deney malzemesi, dinamometre, kesici takım ve deney düzeneğinin genel görünümü.

#### 4.7. KESME PARAMETRELERİ

Bu çalışmada, Ti6Al4V titanyum alaşımlı deney malzemesinin frezelenmesi esnasında sabit helis açılı ve değişken helis açılı (2 helis açılı) parmak frezelerle 5 farklı kesme hızı ve 3 farklı ilerleme oranı kullanılmıştır (Çizelge 4.6 ve 4.7).

Çizelge 4.6. Sabit helis açılı parmak frezelerin kesme parametreleri.

Sabit helis açılı parmak freze					
İlerleme miktarı ( $f_z$ ), mm/diş	0,04		0,05		0,06
Kesme hızı ( $V_c$ ), m/dk.	48	60	75	90	108
Helis açısı ( $\lambda$ ), °	30	32	35	38	40
Talaş derinliği ( $a_p$ ), mm	10				
Talaş genişliği ( $a_e$ ), mm	1				
Toplam Deney Sayısı, adet	75				

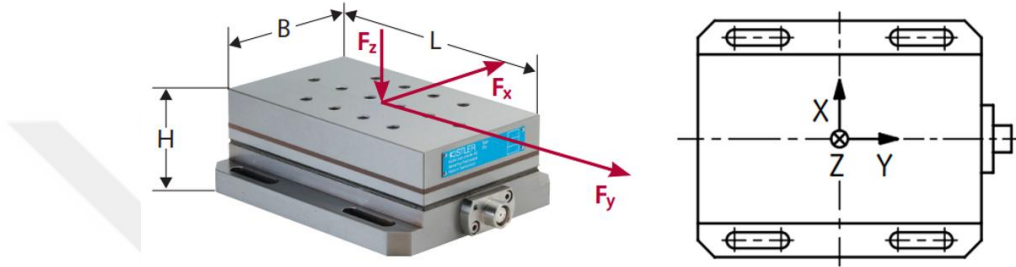
Çizelge 4.7. Değişken helis açılı parmak frezelerin kesme parametreleri.

Değişken helis açılı parmak freze					
İlerleme miktarı ( $f_z$ ) mm/diş	0,04		0,05		0,06
Kesme hızı ( $V_c$ ) m/dk.	48	60	75	90	108
Helis açısı ( $\lambda$ ) °	30/32	35/38	40/42	42/45	
Talaş derinliği ( $a_p$ ) mm	10				
Talaş genişliği ( $a_e$ ) mm	1				
Toplam Deney Sayısı, adet	60				

Literatür taramasında ve kesici takım katalogları incelendiğinde titanyum alaşımlarının karbür kesici takımlar ile frezelenmesinde en iyi sonuçlar için 60 m/dk. ile 80 m/dk. aralığı tavsiye edilmiştir. Bu çerçevede 75 m/dk. ortalama değer alınıp %20 oranında azaltılıp, artırılması vasıtası ile 5 farklı kesme hızı belirlenmiştir. İlerleme miktarında da literatür ve katalog değerlerine sadık kalınarak 0,05 mm/diş ilerleme miktarı baz alınıp %20 oranında artış ve azaltma yapılarak 3 farklı ilerleme miktarı belirlenmiştir. Bu deney parametrelerinin belirlenmesinden sonra 9 grupta 15'er deney yapılarak toplamda 135 deney yapılmıştır.

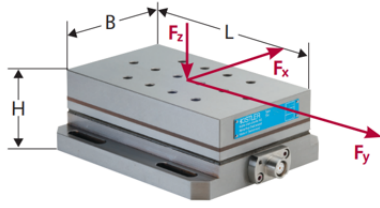
#### 4.8. KESME KUVVETİ ÖLÇÜMÜ

Kesme kuvveti ölçümleri kistler marka 9257B modeli 4 eksen kuvvet ölçümü ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ,  $M_z$ ) yapabilen kesme kuvveti dinamometresi ile yapılmıştır. Deneylerde 3 ekseninde oluşan kesme kuvvetleri; yükseltici ve veri toplama cihazı yardımı ile elde edilmiştir. Elde edilen kuvvetler bilgisayarda kurulu olan Dynoware 3.1.0,0 sürümü programı vasıtası ile incelenmiştir. Şekil 4.9’de dinamometrenin eksenleri gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Kesme kuvveti ölçümünde kullanılan Kistler marka 9257B modeli dinamometre ve koordinat sistemi genel görünümü [28].

Kesme kuvvetleri ölçümü için kullanılan dinamometre X ve Y eksenlerinde -5 ile +5 kN, Z ekseninde -10 ile +10 kN arasında ölçüm yapabilmektedir. Cihazın teknik özellikleri Şekil 4.10’de gösterilmiştir.



a) Dinamometre

Teknik Özellikler	Tip	9257B
Ölçüm Aralığı		
Fx, Fy	kN	-5 ... 5
Fz	kN	-5 ... 10
Kalibrasyonu Yapılmış Ölçüm Aralığı		
Fx, Fy	kN	0 ... 5
	kN	0 ... 0,5
Fz	kN	0 ... 10
	kN	0 ... 1
Hassasiyet		
Fx, Fy	pC/N	≈-7,5
Fz	pC/N	≈-3,7
Doğal Frekans		
fn(x), fn(y)	kHz	≈2,3
fn(z)	kHz	≈3,5
Öngerilmeli Yön		Dikey
Çalışma Sıcaklığı °C		0 ... 70
LxWxH	mm	170x100x60
Ağırlık	kg	7,3
Koruma IEC/EN 60529		IP67
Bağlantı		Fischer bağlantısı
		9 pol. neg.



b) Yükseltici

Teknik Özellikler	Tip	5070A...
Ölçüm kanalı sayısı		
5070Ax0xxx		4
5070Ax1xxx		8
5070Ax2xxx		8 ile 6- Bileşen Toplama Hesaplayıcısı
FS Ölçüm aralığı, opsiyonel	pC	±200 ... 200 000
	pC	±600 ... 600 000
Ayarlanabilir ölçüm alanı		Sürekli
Frekans Aralığı (-3 dB)	kHz	≈0 ... 45
Giriş Sinyali	V	±10
Çalışma Voltajı	VAC	100 ... 240
Giriş Sinyali	Type/	Piezoelectric, bağlantı opsiyonu ile:
		- BNC neg.
		- Fischer 9 pol. neg.
Çıkış Sinyali	Type/Conn ector	15 pol. neg.
Koruma Derecesi		IP40
Arayüz		RS-232C
		RS-232C + IEEE-488



c) Veri Toplama Cihazı

Teknik Özellikler	Tip	5697A...
Ölçüm kanalı sayısı		28
Çözünürlük	Bit	16
Maksimum örnekleme oranı		
1 kanal ile	kS/s	1 000
8 kanal ile	kS/s	125
16 kanal ile	kS/s	62,5
Arayüzü		USB 2.0 Type B, fem.
Ölçüler	mm	208x70x249
Ağırlık	kg	2,2

Şekil 4.10. Kesme kuvvetleri ölçüm cihazı ve kullanılan amplifier teknik özellikleri [28].

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de ölçüm yapılan Dynoware 3.1.0,0 programının örnek ölçüm raporu ve programın kullanım ekranı görüntüsü verilmiştir. Dinamometre manuel olarak bilgisayardan kontrol edilerek deneye başlamadan önce ölçüme başlangıç yapılmakta ve deney bitiminden sonra ölçüm sonlandırılmaktadır. Her ölçümden sonra ölçüm dosyası üzerinden başlangıç ve bitiş noktası belirlenerek oluşan kuvvetler rapor halinde alınmıştır.



## Measuring File

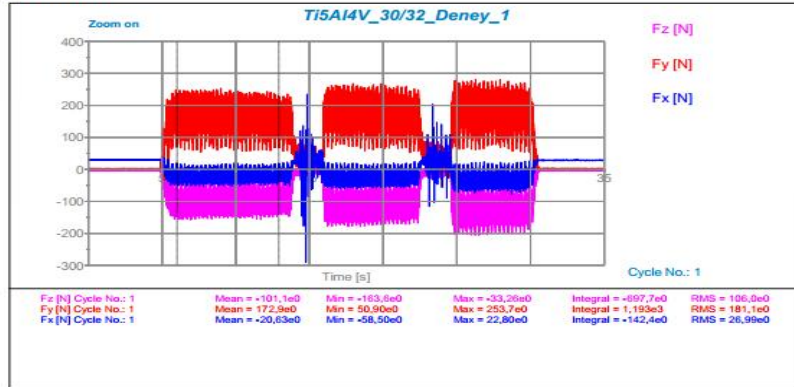
Path: C:\Users\Samet\Desktop\Kesme Kuvveti -Bartın\\_\_30-32Ti5A14V\_30\_32\_Deney\_1.dwd  
 Cycle: 1 of 1  
 Date: Thursday, October 04, 2018, 19:07:04  
 Size: 646 840 Bytes

## Documentation

### Remark:

Material: Ti5A14V  
 Tool: Karcan 30/32  
 vc = 48 m/min  
 n = 1527 rpm  
 f = 0,04 mm/rev  
 vf = 554,8 mm/min  
 ap = 10 mm  
 ae = 1 mm

## Measuring Data



## Acquisition Parameters

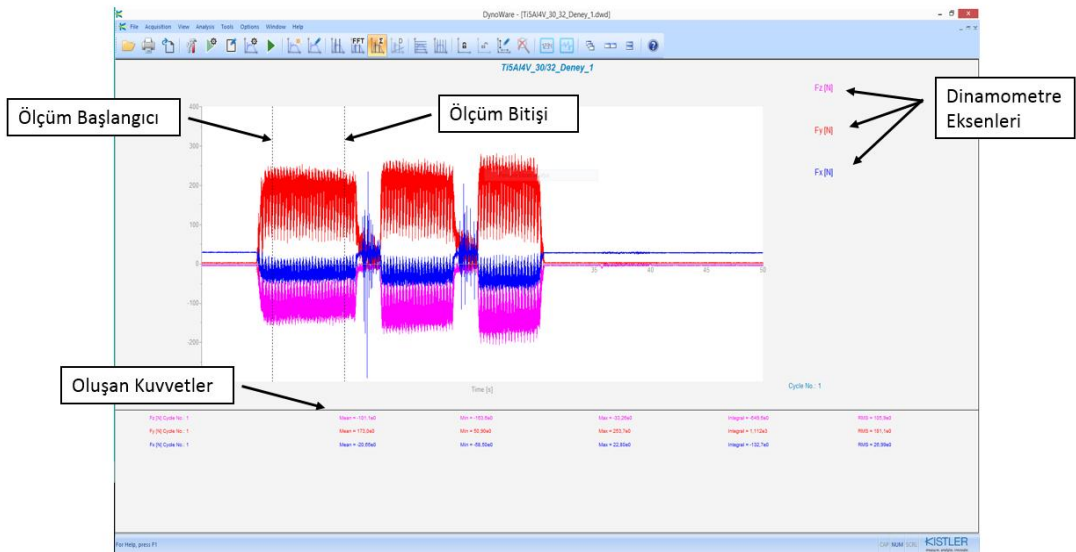
Measuring Time: 50,0 s  
 Sample Rate: 1 000 Hz  
 Number of Cycles: 1  
 Delay Time: 0,0 s

## Amplifier / Signal Conditioner Setup Type 5070 8-Channel

Channel Label	Sensitivity	Units	Range	Units	Filter [Hz]	Time Const.
1 Fz	-7,838 N		2 000,00	N	OFF	Long
2 Fy	-7,850 N		2 000,00	N	OFF	Long
3 Fx	-3,783 N		3 000,00	N	OFF	Long

KISTLER DynoWare - Type 2025/30 61.1.0

Şekil 4.11. Örnek bir kesme kuvveti deney raporu.



Şekil 4.12. Kesme kuvvetlerinin alınması için kullanılan programın ekran görüntüsü.



#### 4.9. KESME KUVVETLERİ DEĞERLENDİRME METODU

Frezeleme işleminde oluşan kesme kuvvetleri incelendiğinde X, Y ve Z ekseninde kesme kuvvetlerinin bileşenleri olduğu bilinmektedir [13]. Yapılan çalışmalarda aynı yönlü çevresel frezeleme işlemi incelendiğinde esas kesme kuvvetlerinin kesici takım kesme kenarının iş parçasına ilk temas ettiği yönde (ilerleme yönüne dik) olduğu bilinmektedir [29]. Bu çalışmada yapılan deneylerde (Çizelge 4.8.) ilerleme yönü dinamometreye göre X ekseninde olduğu için en yüksek kesme kuvvetleri ilerleme yönüne dik olan Y ekseninde olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.8. Ortalama kesme kuvvetinde oluşan genliğin gösterimi için örnek kesme kuvveti sonuçları.

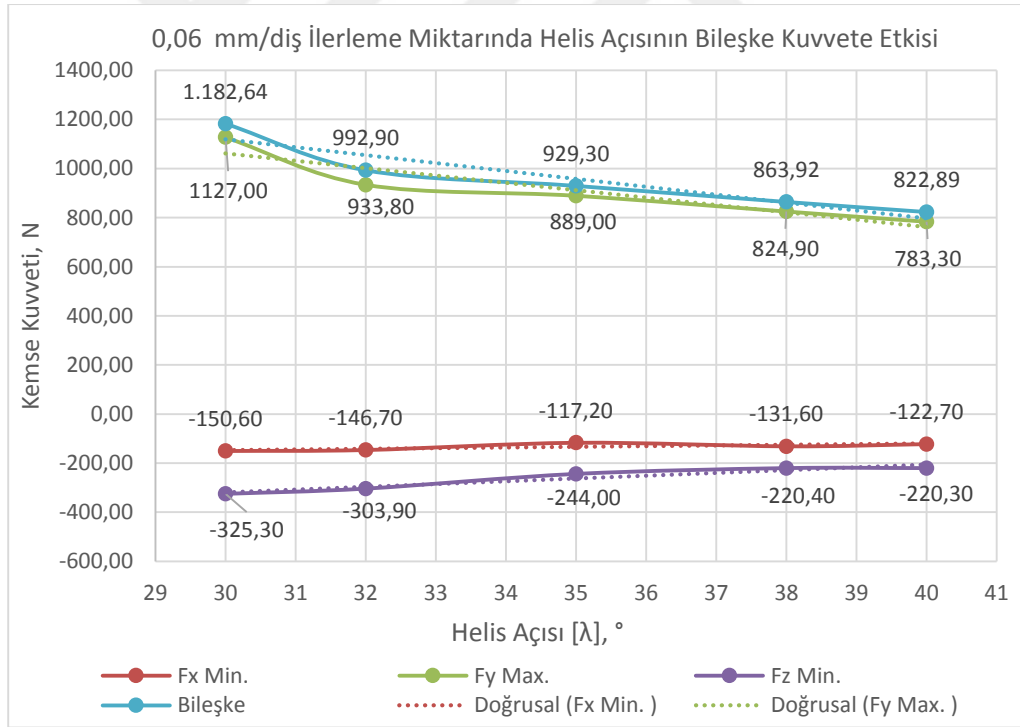
Takım Helis Açısı	Deney No	Kesme Hızı m/dk.	İlerleme miktarı mm/dev	Devir Sayısı d/dk.	İlerleme miktarı mm/diş	Fy Ort.	Fy Min.	Fy Max.	Bileşke Kuvvet
40°	4	90	0,04	2864,79	458,37	505,30	385,30	588,20	623,20
32°	5	108	0,04	3437,75	550,04	501,00	-105,60	1018,00	1061,40

Yapılan deneyler sonucunda da görülmüştür ki Y ekseninde oluşan kesme kuvvetleri büyüklüğü X ve Z eksenine göre çok daha fazladır. X ve Z ekseninde oluşan kesme kuvvetleri Y eksenine göre düşük olsalar da bileşke kuvvetin yönünü ve büyüklüğünü değiştirmektedirler. Çevresel frezeleme işleminde yapılan çalışmalarda görüldüğü üzere oluşan kesme kuvvetlerinin değerlendirme yöntemi olarak kesme kuvveti bileşenlerinin en yüksek değerleri bileşke kuvvetin hesaplanmasında kullanılmıştır [30].

Örnek olarak Çizelge 4.7'deki deney sonucu incelendiğinde 40° helis açısına sahip 4 nolu deneyde 385 N ile 588 N aralığında kesme kuvveti değerleri olduğu ve ortalama kesme kuvveti değerinin 505 N olduğu görülmektedir. Ayrıca en az ve en fazla kesme kuvveti değeri arasında yaklaşık 200 N fark vardır. 32° helis açısına sahip 5 nolu deney incelendiğinde -105 N ile 1018 N aralığında kesme kuvveti değerinin meydana geldiği ve ortalama kesme kuvveti değerinin 505 N olarak olduğu görülmüştür. Bu deneydeki değer, 4 nolu deneyle neredeyse aynı kesme kuvveti değerindedir. Bu deneyin en az ve en fazla kesme kuvveti değerleri incelendiğinde yaklaşık 1200 N

değerinde geniş bir aralık karşımıza çıkmaktadır. Aynı kesme derinliği ve kesme genişliği ile işleme yapılırken bir deneyde 200 N aralığında kesme kuvveti değerleri olduğu diğer deneyde ise 1200 N aralığında kesme kuvveti değeri olduğu görülmektedir. Bileşke kesme kuvveti değerleri incelendiğinde ise yaklaşık 400 N fark olduğu görülmektedir.

Oluşan kesme kuvveti değerleri incelendiğinde kesici takımın kesme kenarının talaşa ilk girdiği anda oluşan ani kuvvet değişimlerinin etkisi ortalama kesme kuvveti değerlerinde görülmediği ancak en az ve en fazla kesme kuvveti değerleri incelendiğinde büyük bir fark olduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden bu çalışmada işleme esnasında oluşan kesme kuvveti değerinin belirlenmesinde, tüm eksen yönlerinde meydana gelen en az ve en fazla kesme kuvveti değerleri kullanılarak, bileşke kuvvet şeklinde hesaplanmıştır.



Şekil 4.13. Helis açısına bağlı oluşan maksimum ve bileşke kuvvetler.

Şekil 4.13’de sabit helis açısına bağlı maksimum kesme kuvvetleri ve bileşke kuvvetlerine bakıldığında X ve Z ekseninin bileşke kuvvetin büyüklüğünü değiştirdiği görölmektedir.

#### **4.10. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜM CİHAZI VE YÖNTEMİ**

Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihaz olarak Mitutoyo marka Surftest SJ-310 modeli kullanılarak her işlenebilirlik deneyleri sonucunda işlenen yüzeyden 3 farklı noktadan ortalama yüzey pürüzlülüğü [Ra ( $\mu\text{m}$ )] ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümleri alınan her bir yüzeydeki ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak çizelgeler oluşturulmuştur. Ölçümleri alınan yüzey pürüzlülüğü değerleri, işlenen yüzeyde kesici takım ilerleme yönünde ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü cihazının ölçüm iğnesinin yarıçapı 2  $\mu\text{m}$ ’dur. Ölçümlerde; tarama hızı 0,5 mm/s, örnekleme uzunluğu 0,8 mm ve ölçme kuvveti 0,75 mN olarak ayarlanmıştır.

## BÖLÜM 5

### DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, 33 HRC sertlik değerine sahip  $\alpha+\beta$  fazlı Ti6Al4V titanyum alaşımının CVD kaplamalı sementit karbür kesici takımlar ile çevresel frezelenmesinde, helis açısının kesme kuvveti bileşenleri ve ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çevresel frezeleme deneyleri esnasında her kesme hızı için yeni bir kesici takım kullanarak 135 adet deney yapılmıştır. Deneyler sonrasında elde edilen veriler grafiklere yardımıyla yorumlanmıştır. Çalışmada sonuçları değerlendirme yöntemi olarak,

1. Kesme Kuvveti Sonuçları;
  - a. Sabit helisli parmak frezeler
  - b. Değişken helisli parmak frezeler
  - c. Sabit ve değişken helisli parmak frezelerin birbiri ile kıyaslanması
2. Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları;
  - a. Sabit helisli takımlar
  - b. Değişken helisli takımlar
  - c. Sabit ve değişken helisli parmak frezelerin birbiri ile kıyaslanması

metodolojisi takip edilmiştir.

#### 5.1. KESME KUVVETİ DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Ti6Al4V titanyum alaşımının sabit helisli ve değişken helisli karbür parmak frezeler ile çevresel frezelenmesi esnasında meydana gelen kesme kuvveti bileşenleri Kistler 9257B dinamometre yardımıyla ölçülmüştür. Elde edilen veriler Microsoft Excel programı kullanılarak çizelgeler haline getirilmiştir. Ayrıca çizelgeler üzerinden oluşturulan grafikler ile değerlendirmeler yapılmıştır.

##### 5.1.1. Sabit Helisli Parmak Frezeler İle İşlemede Kesme Kuvveti Sonuçları

Ti6Al4V titanyum alaşımının, sabit helis açılı karbür parmak frezeler ile çevresel frezelenmesi işleminde helis açısının, kesme hızının ve ilerleme miktarının değişimine

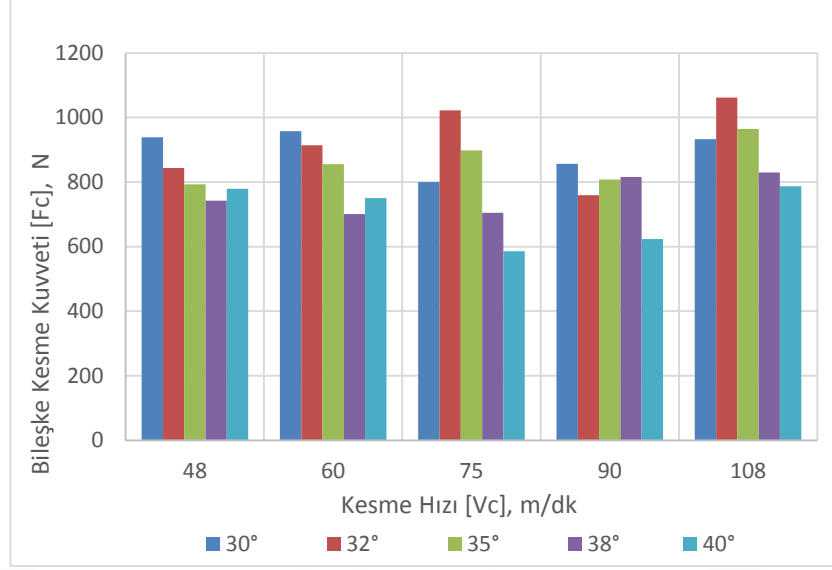
bağlı olarak oluşan kesme kuvveti bileşenlerinin değişimi çizelgelerde listelenmiştir. Her kesme hızı ve ilerleme miktarında helis açısının etkisi incelenmiştir.

#### 5.1.1.1. “0,04 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları

Ti6Al4V titanyum alaşımının sabit helis açılı parmak frezeler ile 0,04 mm/diş ilerleme miktarında ve beş kesme hızında yapılan çevresel frezeleme deneyleri sonucunda elde edilen kesme kuvveti bileşenleri Çizelge 5.1’de verilmiştir. Çizelge 5.1’deki veriler kullanılarak kesme hızı ve sabit helis açısı değerlerinin kesme kuvveti üzerindeki etkilerini gösteren Şekil 5.1’deki çubuk grafiği hazırlanmıştır.

Çizelge 5.1. Sabit helis açılı kesici takımlarla 0,04 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları.

Kesme hızı ( $V_c$ ), m/dk.	Kesme derinliği ( $a_p$ ), mm	Kesme genişliği ( $a_e$ ), mm	Bileşke kesme kuvveti, N					
			30° Helis Açılı	32° Helis Açılı	35° Helis Açılı	38° Helis Açılı	40° Helis Açılı	Ortalama
48	10	1	939,15	843,47	792,98	742,02	779,36	819,39
60	10	1	957,69	913,78	855,63	700,82	750,65	835,71
75	10	1	799,58	1022,43	897,74	704,75	585,61	802,02
90	10	1	856,61	759,21	807,48	815,92	623,20	772,49
108	10	1	932,75	1061,40	964,15	829,25	786,79	914,87
Aritmetik Ortalama			897,16	920,06	863,60	758,55	705,12	828,90



Şekil 5.1. 0,04 mm/diş ilerleme miktarında kesme hızı ve sabit helis açısı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi.

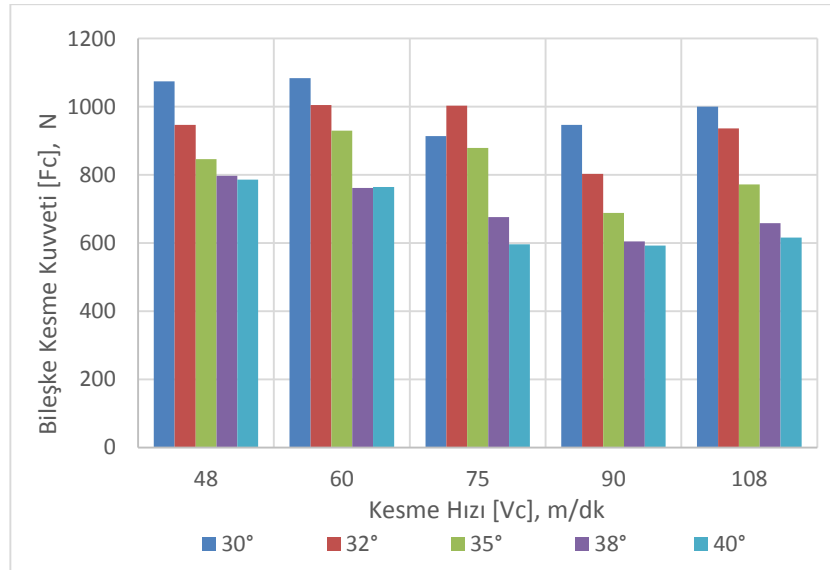
Çizelge 5.1 ve Şekil 5.1'den görüldüğü üzere tüm kesme hızı değerlerinde yapılan işleme deneylerinde en düşük kesme kuvvetleri değerlerinin (Bileşke kesme kuvvetlerinin ortalaması = 772.49 N) 90 m/dk. hızında olduğu görülmektedir. 48 m/dk. kesme hızından başlayarak 90 m/dk.'ya kadar kesme kuvveti değerlerinin genel olarak düşme eğiliminde olduğu görülmektedir (Çizelge 5.1). 90 m/dk.'kesme hızından sonra tekrar kesme kuvveti değerlerinin yükseldiği görülmektedir. Helis açısının etkisine bakıldığında en yüksek bileşke kesme kuvveti ortalaması değeri (Bileşke kesme kuvvetlerinin ortalaması = 920,06 N) 32° helis açısına sahip takımlarla elde edilmiştir. Bunu 30° helis açısına sahip takımlar izlemiştir. 32° sabit helis açılı takımlardan sonra daha yüksek sabit helis açısı takımların kullanılmasıyla bileşke kesme kuvveti ortalama değerlerinin de lineere yakın bir şekilde azaldığı görülmektedir. Bunun sebebi olarak helis açısının artması ile kesici takım kesme kenarı uzunluğunun artmasından dolayı aynı talaş kesiti daha uzun bir kesme kenarı ile işlenmektedir. Talaş kesitinin aynı kalması (ae: 1 mm, ap:10 mm) ancak kesici kenarın uzaması ise kesici takım kesme kenarında oluşan basıncı azaltmaktadır. Bundan dolayı işleme esnasında oluşan kesme kuvvetleri düşmektedir.

### 5.1.1.2. “0,05 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları

Ti6Al4V titanyum alaşımının sabit helis açılı parmak frezeler ile 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve beş kesme hızında yapılan çevresel frezeleme deneyleri sonucunda elde edilen kesme kuvveti bileşenleri Çizelge 5.2’de verilmiştir. Çizelge 5.2’deki veriler kullanılarak kesme hızı ve sabit helis açısı değerlerinin kesme kuvveti üzerindeki etkilerini gösteren Şekil 5.2’deki çubuk grafiği hazırlanmıştır.

Çizelge 5.2. Sabit helis açılı kesici takımlarla 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları.

Kesme hızı (V <sub>c</sub> ), m/dk.	Kesme derinliği (a <sub>p</sub> ), mm	Kesme genişliği (a <sub>e</sub> ), mm	Bileşke kesme kuvveti, N					Ortalama
			30° Helis Açılı	32° Helis Açılı	35° Helis Açılı	38° Helis Açılı	40° Helis Açılı	
48	10	1	1074,71	946,43	846,18	797,69	786,15	890,23
60	10	1	1083,95	1005,22	930,24	761,79	764,23	909,09
75	10	1	913,68	1003,38	879,52	676,00	596,44	813,81
90	10	1	946,65	802,74	688,06	604,54	592,44	726,89
108	10	1	1000,03	936,71	772,40	658,57	615,78	796,70
Aritmetik Ortalama			1003,80	938,90	823,28	699,72	671,01	827,34



Şekil 5.2. 0,05 mm/diş ilerleme miktarında kesme hızı ve sabit helis açısı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi.

Çizelge 5.2 ve Şekil 5.2’de görüldüğü üzere tüm kesme hızı değerlerinde yapılan işleme deneylerinde oluşan kesme kuvvetleri helis açılarına göre ayrı ayrı değerlendirildiğinde en düşük kesme kuvvet bileşenlerinin (Bileşke kesme kuvvetlerinin ortalaması = 726.89 N) 90 m/dk kesme hızında oluştuğu görülmektedir. Teorik bilgiler ve yapılan çalışmalarda kesme hızının artması ile kesme bölgesindeki ısının arttığı bilinmektedir. Kesme anında oluşan ısının artması ise plastik deformasyonun kolaylaşmasına neden olur ve talaş kaldırma işlemi kolaylaşmaktadır [19]. Yapılan deneylerde bu bilgileri doğrular nitelikte olduğu ve kesme hızı arttıkça 90 m/dk.’ya kadar kesme kuvvetlerinin düştüğü görülmektedir.

Helis açısının etkisine bakıldığında bir istisna ile (32° Helis açısı, 75 m/dk.) bütün kesme hızlarında helis açısının artışına bağlı olarak kesme kuvveti değerlerinin düştüğü görülmektedir. 0,04 mm/diş ilerleme miktarı kullanılan deney sonuçları ile karşılaştırıldığında helis açısının etkisinin daha doğrusal sonuçlar verdiği ayrıca görülmektedir.

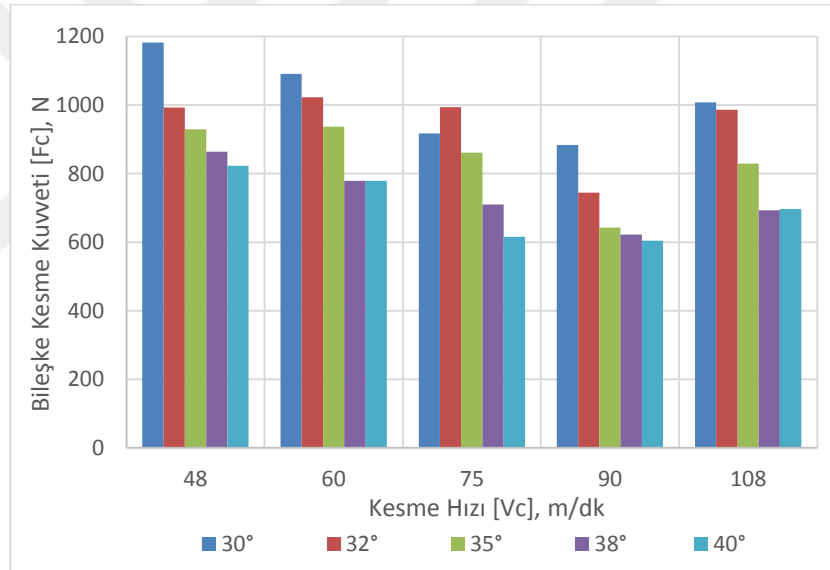
#### **5.1.1.3. “0,06 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları**

Ti6Al4V titanyum alaşımının sabit helis açılı parmak frezeler ile 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve beş kesme hızında yapılan çevresel frezeleme deneyleri sonucunda elde edilen kesme kuvveti bileşenleri Çizelge 5.3’de verilmiştir. Çizelge 5.3’deki veriler kullanılarak kesme hızı ve sabit helis açısı değerlerinin kesme kuvveti üzerindeki etkilerini gösteren Şekil 5.3’deki çubuk grafiği hazırlanmıştır.



Çizelge 5.3. Sabit helis açılı kesici takımlarla 0,06 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları.

Kesme hızı ( $V_c$ ), m/dk.	Kesme derinliği ( $a_p$ ), mm	Kesme genişliği ( $a_e$ ), mm	Bileşke kesme kuvveti, N					
			30° Helis Açılı	32° Helis Açılı	35° Helis Açılı	38° Helis Açılı	40° Helis Açılı	Ortalama
48	10	1	1182,64	992,90	929,30	863,92	822,89	958,33
60	10	1	1090,62	1022,92	936,67	778,94	779,04	921,64
75	10	1	916,78	994,11	861,51	709,76	615,64	819,56
90	10	1	883,87	744,40	642,78	622,21	604,19	699,49
108	10	1	1008,13	986,57	829,67	693,06	696,30	842,75
Aritmetik Ortalama			1016,41	1040,79	839,99	733,58	703,61	848,35



Şekil 5.3. 0,06 mm/diş ilerleme miktarında kesme hızı ve sabit helis açısı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi.

Çizelge 5.3 ve Şekil 5.3’de verilen 0,06 mm/diş ilerleme miktarına sahip işleme deneylerinde oluşan kesme kuvvetleri bileşenleri incelendiğinde beş helis açısında da en düşük kesme kuvveti değerinin (Bileşke kesme kuvvetlerinin ortalaması = 699,49 N) 90 m/dk. olduğu görülmektedir. 48 m/dk. kesme hızından başlayarak 90 m/dk.’ya kadar kesme kuvveti değerlerinin genel olarak düşme eğiliminde olduğu ancak 108 m/dk. kesme hızında kesme kuvvetlerinin tekrar yükseldiği görülmektedir (Çizelge 5.3). Kesme hızının artmasıyla talaş deformasyon bölgesinde oluşan ısı miktarı artar.

Titanyum düşük ısı iletim katsayısına sahip sert bir metaldir. Titanyumun sahip olduğu düşük ısı iletim katsayısından dolayı kesme esnasında bölgesel ısı birikimi oldukça yoğundur. Titanyum iş parçasının CVD takımla frezeleme işlemlerinde kesme hızının artmasıyla kesici takım talaş yüzeyi ve esas kesme kenarı üzerinde yüksek basınç ve ısı oluşumu gerçekleşir. Bu durum iş parçası malzemesinin takım talaş yüzeyi ve kesme kenarı üzerinde yapışma eğilimini arttırarak, akan talaşın pekleşmesine, talaş akışının engellenmesine ve kesme kenarının keskinliğinin azalmasına neden olur. Kesme hızının artmasına bağlı olarak kesme kuvvetinin artması bu duruma bağlanmıştır [1].

Helis açısının etkisine bakıldığında en yüksek bileşke kesme kuvveti ortalaması değeri (Bileşke kesme kuvvetlerinin ortalaması = 1040,79 N) 32° helis açısına sahip takımlarla elde edilmiştir. Bunu 30° helis açısına sahip takımlar izlemiştir. 30° sabit helis açılı takımlardan sonra helis açısının artması ile kesme kuvveti ortalama değerlerinin de azaldığı görülmektedir.

### **5.1.2. Değişken Helisli Parmak Frezeler İle İşlemede Kesme Kuvveti Sonuçları**

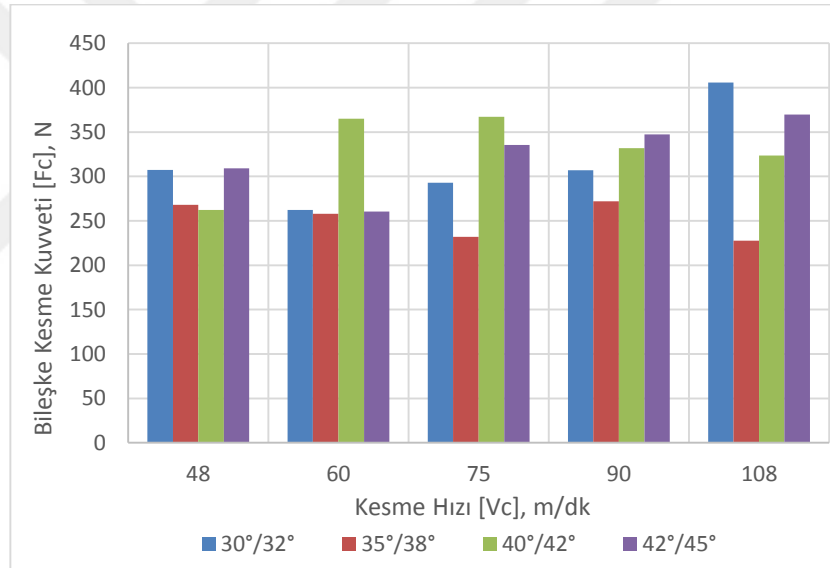
Ti6Al4V titanyum alaşımının, değişken helis açılı karbür parmak frezeler ile çevresel frezelenmesi işleminde helis açısının, kesme hızının ve ilerleme miktarının değişimine bağlı olarak oluşan kesme kuvveti bileşenlerinin değişimi çizelgelerde listelenmiştir. Her kesme hızı ve ilerleme miktarında helis açısının etkisi incelenmiştir.

#### **5.1.2.1. “0,04 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları**

Ti6Al4V titanyum alaşımının değişken helis açılı parmak frezeler ile 0,04 mm/diş ilerleme miktarında ve beş kesme hızında yapılan çevresel frezeleme deneyleri sonucunda elde edilen kesme kuvveti bileşenleri Çizelge 5.4’de verilmiştir. Çizelge 5.4’deki veriler kullanılarak kesme hızı ve sabit helis açısı değerlerinin kesme kuvveti üzerindeki etkilerini gösteren Şekil 5.4’deki çubuk grafiği hazırlanmıştır.

Çizelge 5.4. Değişen helis açılı kesici takımlarla 0,04 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları.

Kesme hızı ( $V_c$ ), m/dk.	Kesme derinliği ( $a_p$ ), mm	Kesme genişliği ( $a_e$ ), mm	Bileşke kesme kuvveti, N				
			30°/32°	35°/38°	40°/42°	42°/45°	Ortalama
48	10	1	307,49	268,12	262,35	308,99	286,74
60	10	1	262,29	257,99	364,91	260,62	286,45
75	10	1	292,94	232,07	367,19	335,40	306,90
90	10	1	306,95	272,18	331,96	347,44	314,63
108	10	1	405,70	227,52	323,64	369,73	331,65
Aritmetik Ortalama			315,07	251,58	330,01	324,43	305,27



Şekil 5.4. 0,04 mm/diş ilerleme miktarında kesme hızı ve değişken helis açısı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi.

Çizelge 5.4 ve Şekil 5.4 incelendiğinde, değişken helis açılı frezelerle 0,04 mm/diş ilerleme miktarında işlemede en düşük bileşke kesme kuvveti değeri (227.52 N) 108 m/dk. kesme hızında 35°/38° açılı parmak frezelerle elde edilmiştir. Kesme hızları ayrı ayrı incelendiğinde yine 35°/38° değişken helis açısına sahip parmak frezelerin en düşük ortalama bileşke kesme kuvveti değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Çizelge 5.4'te kesme hızlarının artışına bağlı olarak ortalama bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi incelendiğinde ortalama bileşke kesme kuvveti değerlerinde bir

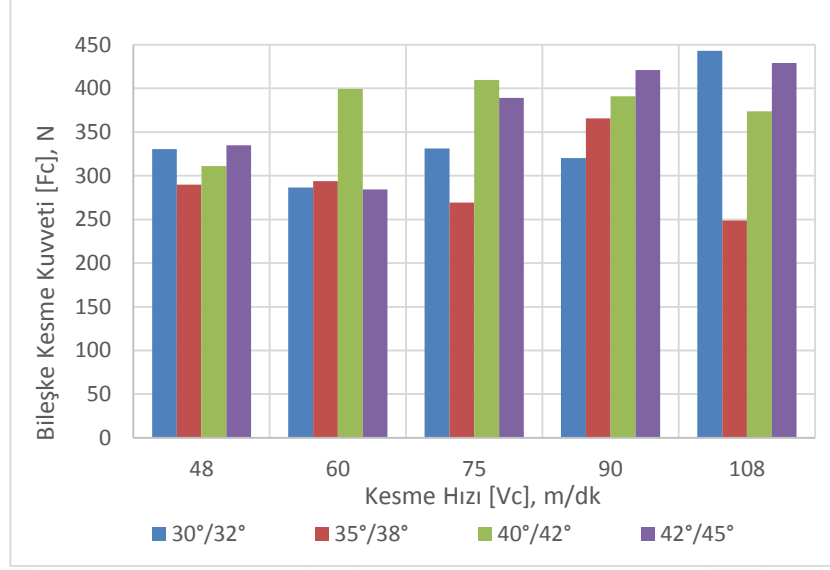
düşmenin meydana gelmediği aksine kesme kuvveti değerlerinin yükseldiği görülmüştür.

### 5.1.2.2. “0,05 mm/dış” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları

Ti6Al4V titanyum alaşımının değişken helis açılı parmak frezeler ile 0,05 mm/dış ilerleme miktarında ve beş kesme hızında yapılan çevresel frezeleme deneyleri sonucunda elde edilen kesme kuvveti bileşenleri Çizelge 5.5’de verilmiştir. Çizelge 5.5’deki veriler kullanılarak kesme hızı ve sabit helis açısı değerlerinin kesme kuvveti üzerindeki etkilerini gösteren Şekil 5.5’deki çubuk grafiği hazırlanmıştır.

Çizelge 5.5. Değişen helis açılı kesici takımlarla 0,05 mm/dış ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları.

Kesme hızı (V <sub>c</sub> ), m/dk.	Kesme derinliği (a <sub>p</sub> ), mm	Kesme genişliği (a <sub>e</sub> ), mm	Bileşke kesme kuvveti, N				
			30°/32° Helis Açılı	35°/38° Helis Açılı	40°/42° Helis Açılı	42°/45° Helis Açılı	Ortalama
48	10	1	330,45	289,78	310,98	334,85	316,52
60	10	1	286,42	294,04	399,22	284,21	315,97
75	10	1	331,13	269,44	409,65	389,11	349,83
90	10	1	320,32	365,63	391,13	420,92	374,50
108	10	1	443,01	248,74	373,76	429,09	373,65
Aritmetik Ortalama			342,27	293,53	376,95	371,63	346,09



Şekil 5.5. 0,05 mm/diş ilerleme miktarında kesme hızı ve değişken helis açısı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi.

Çizelge 5.5 ve Şekil 5.5 incelendiğinde, değişken helis açılı frezelerle 0,05 mm/diş ilerleme miktarında işlemede en düşük bileşke kesme kuvveti değeri (248,74 N) 108 m/dk. kesme hızında 35°/38° açılı parmak frezelerle elde edilmiştir. Kesme hızları incelendiğinde ise en düşük kesme kuvvet bileşenlerinin (Bileşke kesme kuvvetlerinin ortalaması = 315,97 N) 60 m/dk. kesme hızında oluştuğu görülmektedir.

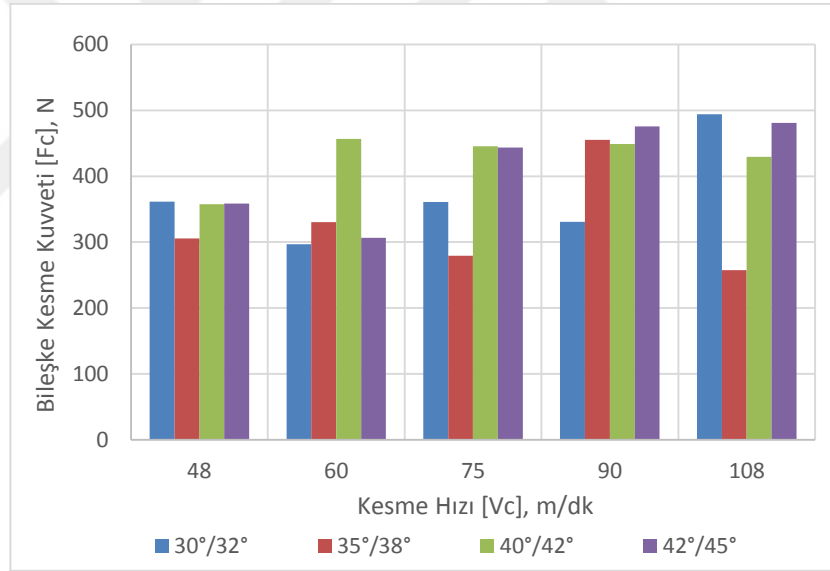
İlerleme miktarının artması ile birim başına kaldırılan talaş miktarı arttığı için kesme kuvvetlerinin artmaktadır. 0,04 mm/diş ilerleme miktarına sahip işleme deneyleri ile 0,05 mm/diş ilerleme miktarındaki işleme deneyleri karşılaştırıldığında, ilerlemenin %20 oranında artması bileşke kuvvet bileşenlerinin ortalamasında %13 oranında artışa neden olmaktadır.

### 5.1.2.3. “0,06 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları

Ti6Al4V titanyum alaşımının değişken helis açılı parmak frezeler ile 0,04 mm/diş ilerleme miktarında ve beş kesme hızında yapılan çevresel frezeleme deneyleri sonucunda elde edilen kesme kuvveti bileşenleri Çizelge 5.6’de verilmiştir. Çizelge 5.6’deki veriler kullanılarak kesme hızı ve sabit helis açısı değerlerinin kesme kuvveti üzerindeki etkilerini gösteren Şekil 5.6 çubuk grafiği hazırlanmıştır.

Çizelge 5.6. Değişen helis açılı kesici takımlarla 0,06 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları.

Kesme hızı ( $V_c$ ), m/dk.	Kesme derinliği ( $a_p$ ), mm	Kesme genişliği ( $a_e$ ), mm	Bileşke kesme kuvveti, N				Ortalama
			30°/32° Helis Açılı	35°/38° Helis Açılı	40°/42° Helis Açılı	42°/45° Helis Açılı	
48	10	1	361,58	305,39	357,39	358,56	345,73
60	10	1	296,84	330,46	456,47	306,51	347,57
75	10	1	360,95	279,11	445,56	443,36	382,25
90	10	1	330,93	455,47	448,98	475,66	427,76
108	10	1	494,16	257,65	429,35	481,15	415,57
Aritmetik Ortalama			368,89	325,62	427,55	413,05	383,78



Şekil 5.6. 0,06 mm/diş ilerleme miktarında kesme hızı ve değişken helis açısı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi.

Çizelge 5.6 ve Şekil 5.6'den görüldüğü üzere tüm kesme hızı değerlerinde yapılan işleme deneylerinde en düşük kesme kuvvetleri değerlerinin (Bileşke kesme kuvvetlerinin ortalaması = 345,73 N) 48 m/dk. hızında olduğu görülmektedir. 48 m/dk. kesme hızından başlayarak 90 m/dk.'ya kadar kesme kuvveti değerlerinin genel olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir (Çizelge 5.6). Yapılan işleme deneylerinde en düşük kesme kuvveti değerinin (257,65 N) 108 m/dk. Kesme hızında

35°/38° helis açısına sahip kesici takımların kullanılmasıyla elde edildiği tespit edilmiştir.

### 5.1.3. Sabit Ve Değişken Helisli Parmak Frezelerin Birbiri İle Kıyaslanması

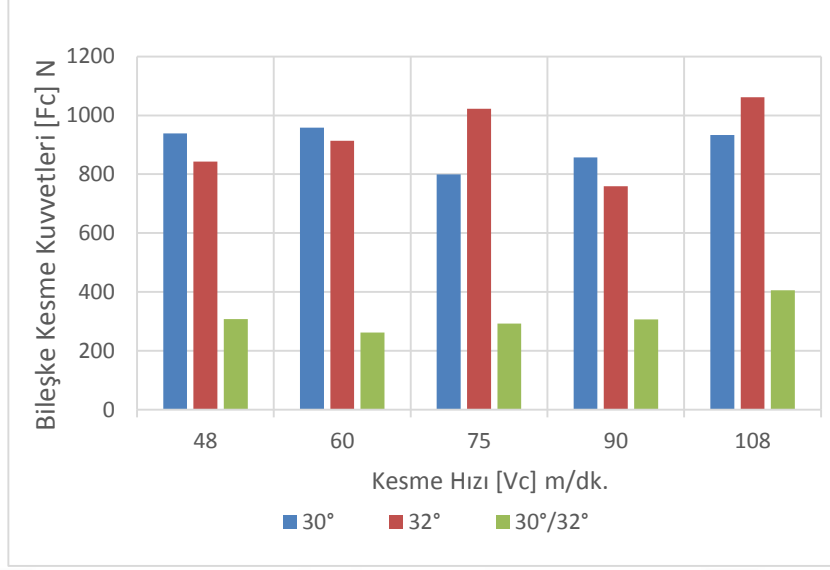
Ti6Al4V titanyum alaşımının, sabit ve değişken helis açılı parmak frezeler ile çevresel frezelenmesi işleminde helis açısının, kesme hızının ve ilerleme miktarının değişimine bağlı olarak oluşan kesme kuvveti bileşenlerinin karşılaştırılması çizelgelerde listelenmiştir. Her kesme hızı ve ilerleme miktarında helis açısının etkisi incelenmiştir.

#### 5.1.3.1. “0,04 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları

Ti6Al4V titanyum alaşımının sabit helis açılı ve değişken helis açılı parmak frezeler ile 0,04 mm/diş ilerleme miktarında ve beş kesme hızında yapılan çevresel frezeleme deneyleri sonucunda elde edilen kesme kuvveti bileşenlerinin karşılaştırılması Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.8’de verilmiştir. Çizelgelerden elde edilen veriler kullanılarak kesme hızı ve helis açısı değerlerinin kesme kuvveti üzerindeki etkilerini gösteren Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’deki çubuk grafikler hazırlanmıştır.

Çizelge 5.7. Sabit ve değişken helis açılı kesici takımlarla 0,04 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları.

Kesme hızı (V <sub>c</sub> ), m/dk.	Kesme derinliği (a <sub>p</sub> ), mm	Kesme genişliği (a <sub>e</sub> ), mm	Bileşke kesme kuvveti, N					
			30°	32°	30° ve 32° Ort.	30°/32°	Fark, N	Fark, %
48	10	1	939,15	843,47	891,31	307,49	583,82	65,50
60	10	1	957,69	913,78	935,73	262,29	673,44	71,97
75	10	1	799,58	1022,43	911,01	292,94	618,07	67,84
90	10	1	856,61	759,21	807,91	306,95	500,97	62,01
108	10	1	932,75	1061,40	997,08	405,70	591,37	59,31
Aritmetik Ortalama			897,16	920,06	908,61	315,07	593,53	65,33



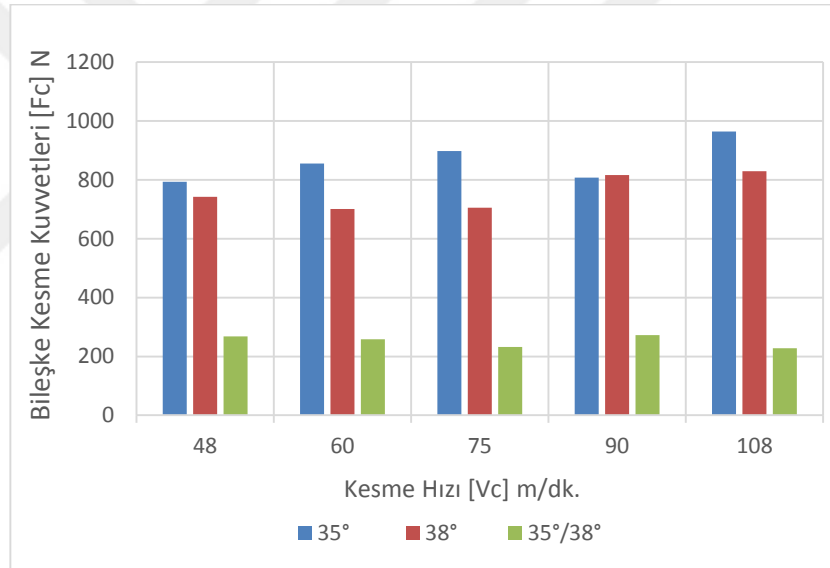
Şekil 5.7. 0,04 mm/diş ilerleme miktarında 30°/32° değişken helis açılı parmak frezenin sabit helis açılı parmak frezeler ile karşılaştırılmasında kesme hızı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi.

Çizelge 5.7 ve Şekil 5.7’de görüldüğü üzere tüm kesme hızlarında ve karşılaştırma yapılan 3 helis açısına bakıldığında değişken helis açılı parmak frezelerde en düşük kesme kuvveti bileşenlerinin (Bileşke kesme kuvvetlerinin ortalaması = 315,07 N) oluştuğu görülmektedir. Kesme kuvvetlerine ayrı ayrı bakıldığında ise 30°/32° değişken helis açısına sahip kesici takımla işlemede 60 m/dk. kesme hızında en düşük kesme kuvveti (262,29 N) oluştuğu tespit edilmiştir. 30° ve 32° sabit helis açısına sahip kesici takımlarla işlemede oluşan kesme kuvvetlerinin ortalaması alınarak değişken helis açılı kesici takımlar ile karşılaştırma yapıldığında, değişken helis açılı parmak frezelerin %65 oranında daha düşük kesme kuvvetlerine sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise Şekil 3.14’de parmak frezenin geometrisinin şematik gösteriminde belirtilen, her kesici kenarda kaldırılan talaş miktarının farklı olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir.



Çizelge 5.8. Sabit ve değişken helis açılı kesici takımlarla 0,04 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları.

Kesme hızı ( $V_c$ ), m/dk.	Kesme derinliği ( $a_p$ ), mm	Kesme genişliği ( $a_e$ ), mm	Bileşke kesme kuvveti, N					
			35°	38°	35° ve 38° Ort.	35°/38°	Fark, N	Fark, %
48	10	1	792,98	742,02	767,50	268,12	499,38	65,07
60	10	1	855,63	700,82	778,23	257,99	520,24	66,85
75	10	1	897,74	704,75	801,24	232,07	569,17	71,04
90	10	1	807,48	815,92	811,70	272,18	539,53	66,47
108	10	1	964,15	829,25	896,70	227,52	669,18	74,63
Aritmetik Ortalama			863,60	758,55	811,07	251,58	559,50	68,81



Şekil 5.8. 0,04 mm/diş ilerleme miktarında 35°/38° değişken helis açılı parmak frezenin sabit helis açılı parmak frezeler ile karşılaştırılmasında kesme hızı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi.

Çizelge 5.8 ve Şekil 5.8’de sabit ve değişken helis açılı parmak frezelerin 0,04 mm/diş ilerleme miktarında farklı kesme hızlarında oluşan kesme kuvvetleri birbiri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma neticesinde en düşük kesme kuvveti değerini (108 m/dk. kesme hızında, 227,52 N) veren kesici takımın değişken helis açısına sahip 35°/38° parmak frezelerde olduğu görülmektedir. Kesme hızları açısından helis açısının etkisi karşılaştırma yapıldığında ise en büyük farkın 108 m/dk. kesme hızında

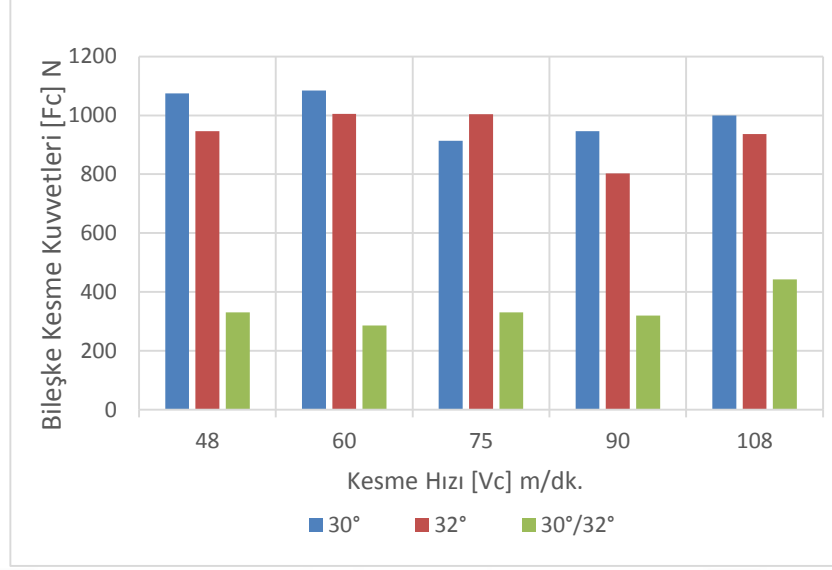
değişken helis açılı parmak frezelerde oluşan kesme kuvvetlerinin, sabit helis açılı kesici takımlara göre ortalama kesme kuvvetinden %74 oranında daha düşük kesme kuvveti oluşturduğu görülmüştür. Aynı ilerleme miktarında değişken helis açılı  $30^\circ/32^\circ$  ve  $35^\circ/38^\circ$  helis açısına sahip parmak frezeler karşılaştırıldığında  $35^\circ/38^\circ$  helis açısına sahip parmak frezenin %3,4 oranında daha düşük kesme kuvveti değerlerinde işleme yaptığı görülmüştür.

### 5.1.3.2. “0,05 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları

Ti6Al4V titanyum alaşımının sabit helis açılı ve değişken helis açılı parmak frezeler ile 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve beş kesme hızında yapılan çevresel frezeleme deneyleri sonucunda elde edilen kesme kuvveti bileşenlerinin karşılaştırılması Çizelge 5.9 ve Çizelge 5.10’de verilmiştir. Çizelgelerden elde edilen veriler kullanılarak kesme hızı ve helis açısı değerlerinin kesme kuvveti üzerindeki etkilerini gösteren Şekil 5.9 ve Şekil 5.10’deki çubuk grafikler hazırlanmıştır.

Çizelge 5.9. Sabit ve değişken helis açılı kesici takımlarla 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları.

Kesme hızı ( $V_c$ ), m/dk.	Kesme derinliği ( $a_p$ ), mm	Kesme genişliği ( $a_e$ ), mm	Bileşke kesme kuvveti, N					
			$30^\circ$	$32^\circ$	$30^\circ$ ve $32^\circ$ Ortalaması	$30^\circ/32^\circ$	Fark, N	Fark, %
48	10	1	1074,71	946,43	1010,57	330,45	680,12	67,30
60	10	1	1083,95	1005,22	1044,59	286,42	758,17	72,58
75	10	1	913,68	1003,38	958,53	331,13	627,41	65,45
90	10	1	946,65	802,74	874,70	320,32	554,38	63,38
108	10	1	1000,03	936,71	968,37	443,01	525,36	54,25
Aritmetik Ortalama			1003,80	938,90	971,35	342,27	629,09	64,59

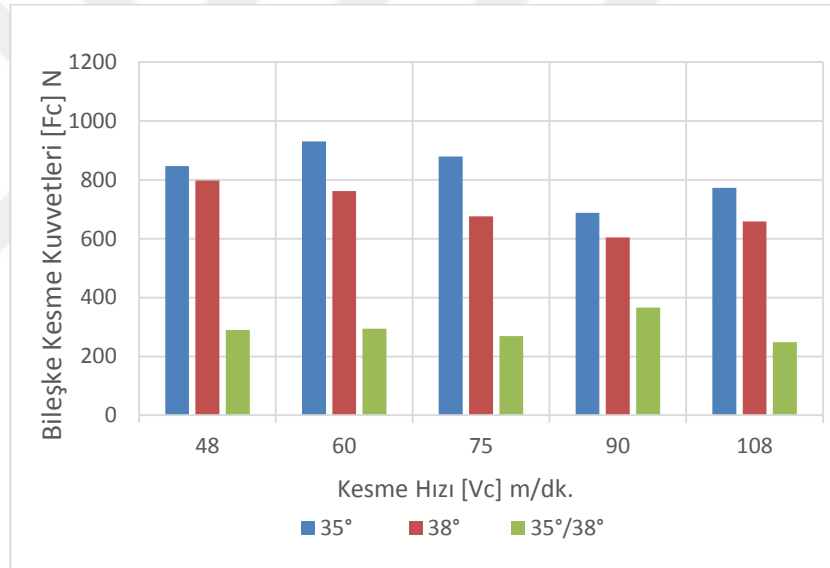


Şekil 5.9. 0,05 mm/diş ilerleme miktarında 30°/32° değişken helis açılı parmak frezenin sabit helis açılı parmak frezeler ile karşılaştırılmasında kesme hızı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi.

Çizelge 5.9 ve Şekil 5.9'da görüldüğü üzere 30°/32° değişken helis açısına sahip parmak frezenin, sabit helis açılı parmak frezeler ile kesme kuvvetlerine göre karşılaştırma yapıldığında %54 ile %72 arasında daha düşük kesme kuvveti oluşturduğu görülmektedir. Kesme hızları ayrı ayrı değerlendirildiğinde ise kesme kuvvetlerindeki en büyük farkın 60 m/dk. kesme hızında 758, 17 N olduğu görülmektedir. değişken helis açılı takımlar aynı talaş miktarını 342, 27 N ortalama bileşke kesme kuvveti ile kaldırırken, sabit helis açılı takımlarda ortalama bileşke kesme kuvvetinin 971,35 N olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5.10. Sabit ve değişken helis açılı kesici takımlarla 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları.

Kesme hızı ( $V_c$ ), m/dk.	Kesme derinliği ( $a_p$ ), mm	Kesme genişliği ( $a_e$ ), mm	Bileşke kesme kuvveti, N					
			35°	38°	35° ve 38° Ortalaması	35°/38°	Fark, N	Fark, %
48	10	1	846,18	797,69	821,93	289,78	532,15	64,74
60	10	1	930,24	761,79	846,02	294,04	551,98	65,24
75	10	1	879,52	676,00	777,76	269,44	508,32	65,36
90	10	1	688,06	604,54	646,30	365,63	280,67	43,43
108	10	1	772,40	658,57	715,48	248,74	466,75	65,24
Aritmetik Ortalama			823,28	699,72	761,50	293,53	467,97	60,80



Şekil 5.10. 0,05 mm/diş ilerleme miktarında 35°/38° değişken helis açılı parmak frezinin sabit helis açılı parmak frezeler ile karşılaştırılmasında kesme hızı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi.

Çizelge 5.10 ve Şekil 5.10'da verilen kesme kuvveti değerleri incelendiğinde değişken helis açılı 35°/38° parmak frezinin ortalama bileşke kuvvetleri açısından sabit helis açılı parmak frezeler ile karşılaştırıldığında en büyük farkın (551,98 N) 60 m/dk. kesme hızında olduğu görülmüştür. Kesme hızları açısından % fark değerlerinin ortalamasına bakıldığında değişken helis açılı parmak frezelerin, sabit helis açılı parmak frezelere kıyasla %60 daha düşük kesme kuvveti oluşturduğu tespit edilmiştir.

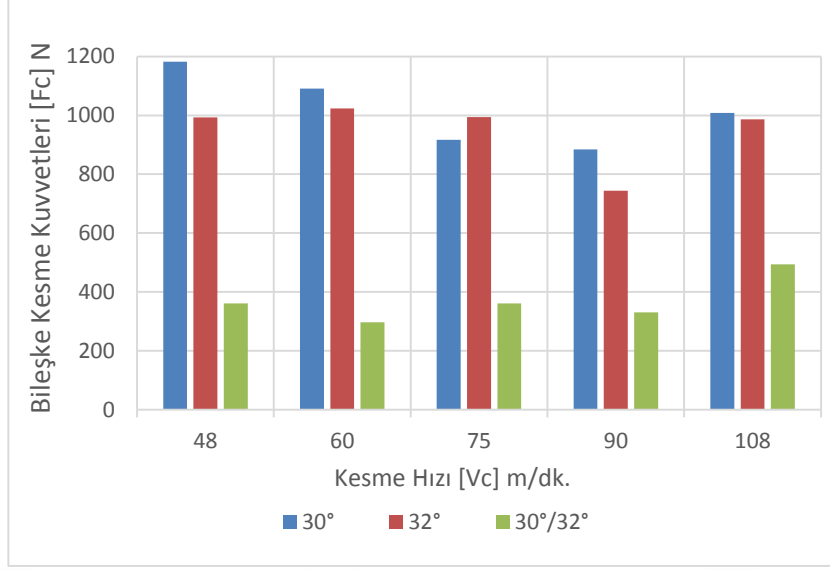
Aynı ilerleme miktarında değişken helis açılı  $30^\circ/32^\circ$  ve  $35^\circ/38^\circ$  helis açısına sahip parmak frezeler karşılaştırıldığında  $35^\circ/38^\circ$  helis açısına sahip parmak frezenin %3,7 oranında daha düşük kesme kuvveti değerlerinde işleme yaptığı görülmüştür.

### 5.1.3.3. “0,06 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları

Ti6Al4V titanyum alaşımının sabit helis açılı ve değişken helis açılı parmak frezeler ile 0,06 mm/diş ilerleme miktarında ve beş kesme hızında yapılan çevresel frezeleme deneyleri sonucunda elde edilen kesme kuvveti bileşenlerinin karşılaştırılması Çizelge 5.11 ve Çizelge 5.12’de verilmiştir. Çizelgelerden elde edilen veriler kullanılarak kesme hızı ve helis açısı değerlerinin kesme kuvveti üzerindeki etkilerini gösteren Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’deki çubuk grafikler hazırlanmıştır.

Çizelge 5.11. Sabit ve değişken helis açılı kesici takımlarla 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları.

Kesme hızı ( $V_c$ ), m/dk.	Kesme derinliği ( $a_p$ ), mm	Kesme genişliği ( $a_e$ ), mm	Bileşke kesme kuvveti, N					
			$30^\circ$	$32^\circ$	$30^\circ$ ve $32^\circ$ Ortalaması	$30^\circ/32^\circ$	Fark, N	Fark, %
48	10	1	1182,64	992,90	1087,77	361,58	726,19	66,76
60	10	1	1090,62	1022,92	1056,77	296,84	759,94	71,91
75	10	1	916,78	994,11	955,45	360,95	594,49	62,22
90	10	1	883,87	744,40	814,14	330,93	483,21	59,35
108	10	1	1008,13	986,57	997,35	494,16	503,19	50,45
Aritmetik Ortalama			1016,41	948,18	982,30	368,89	613,40	62,14

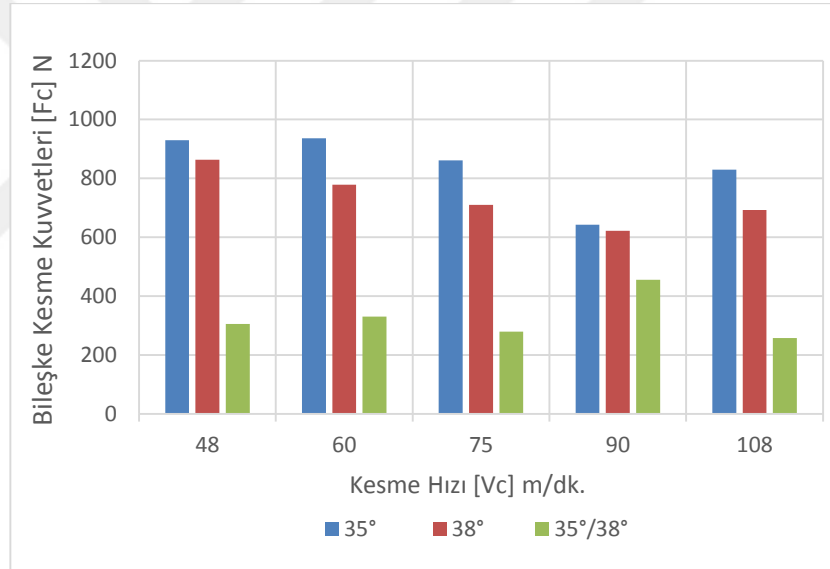


Şekil 5.11. 0,06 mm/diş ilerleme miktarında 30°/32° değişken helis açılı parmak frezenin sabit helis açılı parmak frezeler ile karşılaştırılmasında kesme hızı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi.

Çizelge 5.11 ve Şekil 5.11’de görüldüğü üzere 30°/32° değişken helis açısına sahip parmak frezenin, sabit helis açılı parmak frezeler ile kesme kuvvetleri açısından karşılaştırma yapıldığında %50 ile %71 arasında daha düşük kesme kuvveti oluşturduğu görülmektedir. Kesme hızları ayrı ayrı değerlendirildiğinde ise kesme kuvvetlerindeki en büyük farkın 60 m/dk. kesme hızında 759,94 N olduğu görülmektedir. Değişken helis açılı takımlar aynı talaş miktarını 368,89 N ortalama bileşke kesme kuvveti ile kaldırırken, sabit helis açılı takımlarda ortalama bileşke kesme kuvvetinin 982,30 N olduğu tespit edilmiştir. Oluşan bileşke kesme kuvveti değerleri üzerinden hesaplanan % fark değerlerine bakıldığında ise 30°/32° değişken helis açısına sahip parmak frezenin %62 oranında daha düşük kesme kuvvetleri ile aynı talaş miktarını kaldırdığı görülmüştür.

Çizelge 5.12. Sabit ve değişken helis açılı kesici takımlarla 0,06 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları.

Kesme hızı ( $V_c$ ), m/dk.	Kesme derinliği ( $a_p$ ), mm	Kesme genişliği ( $a_e$ ), mm	Bileşke kesme kuvveti, N					
			35°	38°	35°-38° Ortalaması	35°/38°	Fark, N	Fark, %
48	10	1	929,30	863,92	896,61	305,39	591,21	65,94
60	10	1	936,67	778,94	857,81	330,46	527,34	61,48
75	10	1	861,51	709,76	785,64	279,11	506,53	64,47
90	10	1	642,78	622,21	632,50	455,47	177,03	27,99
108	10	1	829,67	693,06	761,37	257,65	503,72	66,16
Aritmetik Ortalama			839,99	733,58	786,78	325,62	461,17	57,21



Şekil 5.12. 0,06 mm/diş ilerleme miktarında 35°/38° değişken helis açılı parmak frezenin sabit helis açılı parmak frezeler ile karşılaştırılmasında kesme hızı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi.

Çizelge 5.12 ve Şekil 5.12’de görüldüğü üzere tüm kesme hızlarında ve karşılaştırma yapılan 3 farklı parmak frezeye bakıldığında değişken helis açılı parmak frezelerde en düşük kesme kuvveti bileşenlerinin (Bileşke kesme kuvvetlerinin ortalaması = 325,62 N) oluştuğu görülmektedir. Kesme kuvvetlerine ayrı ayrı bakıldığında ise 35°/38° değişken helis açısına sahip kesici takımla işlemede 108 m/dk. kesme hızında en düşük kesme kuvveti (257,65 N) oluştuğu tespit edilmiştir. 35° ve 38° sabit helis açısına sahip

kesici takımlarla işlemede oluşan kesme kuvvetlerinin ortalaması alınarak değişken helis açılı kesici takımlar ile karşılaştırma yapıldığında, değişken helis açılı parmak frezelerin %57 oranında daha düşük kesme kuvvetlerine sahip olduğu görülmektedir.

## **5.2. ORTALAMA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DEĞERLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Ti6Al4V titanyum alaşımının sabit helisli ve değişken helisli karbür parmak frezeler ile çevresel frezelenmesi sonrasında oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri Mitutoyo marka SurfTest SJ-310 modeli yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı yardımıyla ölçülmüştür. Elde edilen veriler Microsoft Excel programı kullanılarak çizelgeler haline getirilmiştir. Ayrıca çizelgeler üzerinden oluşturulan grafikler ile değerlendirmeler yapılmıştır.

### **5.2.1. Sabit Helisli Parmak Frezeler İle İşlemede Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları**

Ti6Al4V alaşımının, sabit helis açılı karbür parmak frezeler ile çevresel frezelenmesi işleminde helis açısının, kesme hızının ve ilerleme miktarının değişimine bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri çizelgelerde listelenmiştir. Her kesme hızı ve ilerleme miktarında helis açısının etkisi incelenmiştir.

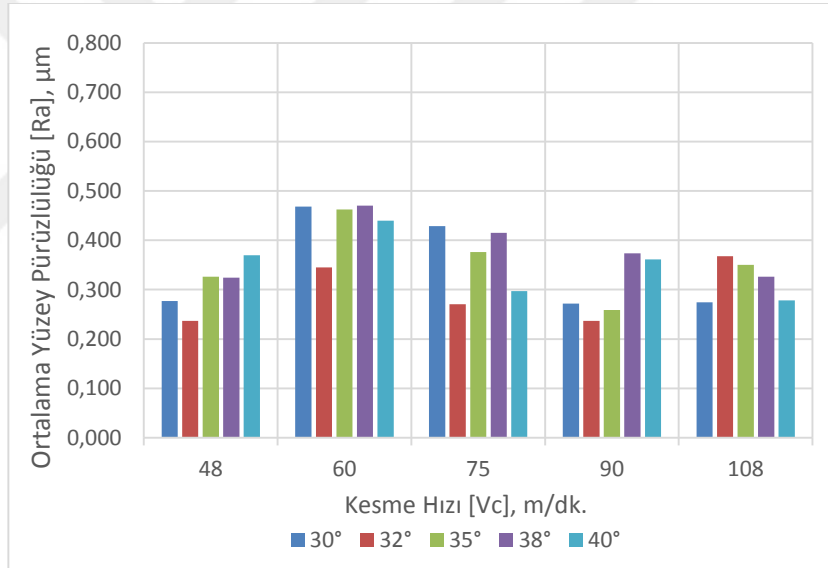
#### **5.2.1.1. “0,04 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları**

Ti6Al4V titanyum alaşımının sabit helis açılı parmak frezeler ile 0,04 mm/diş ilerleme miktarında ve beş kesme hızında yapılan çevresel frezeleme deneyleri sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri Çizelge 5.13’de verilmiştir. Çizelge 5.13’deki veriler kullanılarak kesme hızı ve sabit helis açısı değerlerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini gösteren Şekil 5.13’deki çubuk grafiği hazırlanmıştır.



Çizelge 5.13. Sabit helis açılı kesici takımlarla 0,04 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçları.

Kesme hızı ( $V_c$ ), m/dk.	Kesme derinliği ( $a_p$ ), mm	Kesme genişliği ( $a_e$ ), mm	Ortalama yüzey pürüzlülüğü, $\mu\text{m}$					Ortalama
			30° Helis Açılı	32° Helis Açılı	35° Helis Açılı	38° Helis Açılı	40° Helis Açılı	
48	10	1	0,277	0,237	0,326	0,325	0,370	0,307
60	10	1	0,468	0,345	0,462	0,470	0,440	0,437
75	10	1	0,429	0,271	0,376	0,415	0,297	0,357
90	10	1	0,272	0,237	0,259	0,374	0,361	0,300
108	10	1	0,274	0,368	0,350	0,327	0,278	0,319
Aritmetik Ortalama			0,344	0,291	0,355	0,382	0,349	0,344



Şekil 5.13. 0,04 mm/diş ilerleme miktarında kesme hızı ve sabit helis açısı değerlerine bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi.

Çizelge 5.13 ve Şekil 5.13’de verilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri incelendiğinde en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri (0,271  $\mu\text{m}$ ) 75 m/dk. Kesme hızında olduğu görülmüştür. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri kesme hızlarına göre kendi içinde incelendiğinde en iyi (ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin 0,300  $\mu\text{m}$ ) sonucun 90 m/dk. Kesme hızında olduğu görülmüştür. Helis açısının etkisine

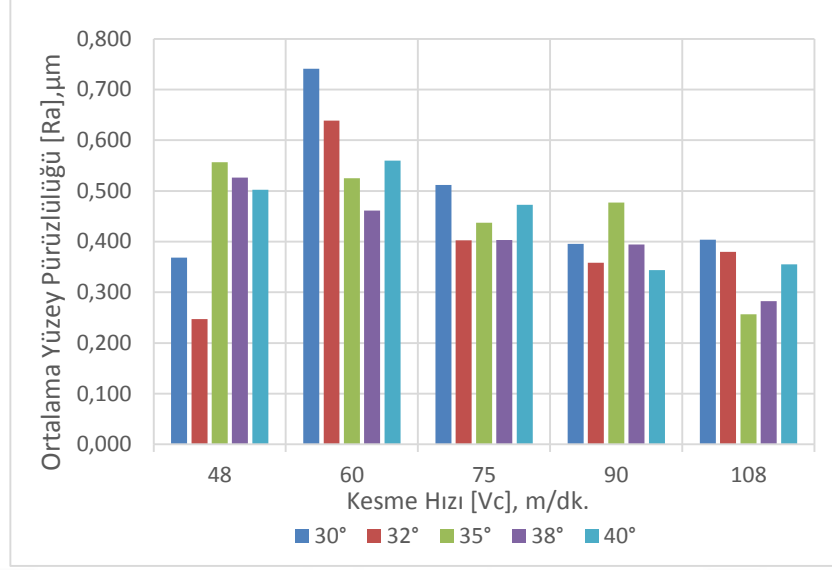
bakıldığında ise 32° helis açısına sahip kesici takımda yüzey pürüzlülük değerlerinin ortalaması en düşük (0,291  $\mu\text{m}$ ) olduğu görülmüştür.

### 5.2.1.2. “0,05 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları

Ti6Al4V titanyum alaşımının sabit helis açılı parmak frezeler ile 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve beş kesme hızında yapılan çevresel frezeleme deneyleri sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri Çizelge 5.14’de verilmiştir. Çizelge 5.14’deki veriler kullanılarak kesme hızı ve sabit helis açısı değerlerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini gösteren Şekil 5.14’deki çubuk grafiği hazırlanmıştır.

Çizelge 5.14. Sabit helis açılı kesici takımlarla 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçları.

Kesme hızı ( $V_c$ ), m/dk.	Kesme derinliği ( $a_p$ ), mm	Kesme genişliği ( $a_e$ ), mm	Ortalama yüzey pürüzlülüğü, $\mu\text{m}$					Ortalama
			30° Helis Açılı	32° Helis Açılı	35° Helis Açılı	38° Helis Açılı	40° Helis Açılı	
48	10	1	0,368	0,247	0,557	0,527	0,503	0,440
60	10	1	0,741	0,639	0,525	0,462	0,560	0,585
75	10	1	0,512	0,403	0,437	0,403	0,473	0,445
90	10	1	0,395	0,358	0,477	0,394	0,344	0,394
108	10	1	0,404	0,380	0,257	0,283	0,355	0,336
Aritmetik Ortalama			0,484	0,405	0,450	0,414	0,447	0,440



Şekil 5.14. 0,05 mm/diş ilerleme miktarında kesme hızı ve sabit helis açısı değerlerine bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi.

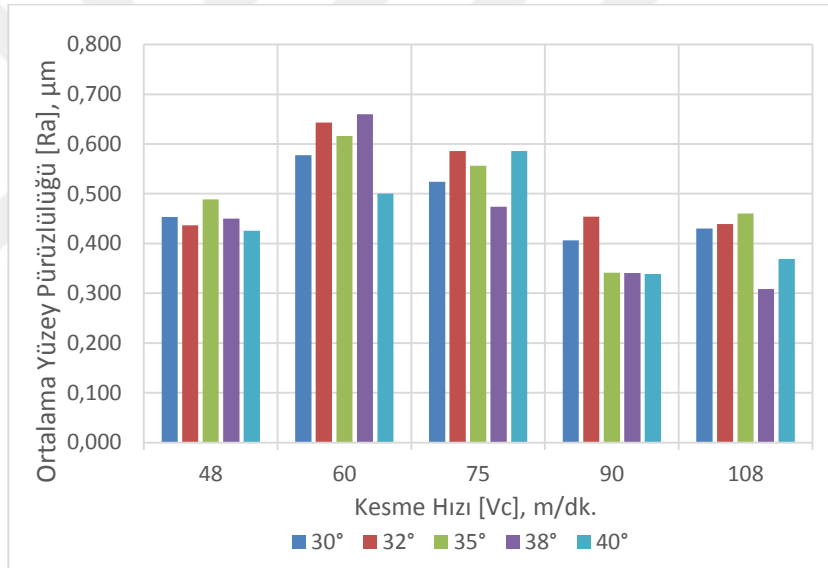
Çizelge 5.14 ve Şekil 5.14’de verilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerini kesme kuvvetlerine göre karşılaştırıldığında 60 m/dk. kesme hızında ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin (0,585 µm) en yüksek olduğu görülmektedir. 60 m/dk.’dan sonra kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü değerinin düştüğü görülmektedir. Helis açısının ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisine bakıldığında ise 32° ve 38° helis açısında en düşük oldukları ancak doğrusal bir artış veya düşme olmadığı görülmüştür.

### 5.2.1.3. “0,06 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları

Ti6Al4V titanyum alaşımının sabit helis açılı parmak frezeler ile 0,06 mm/diş ilerleme miktarında ve beş kesme hızında yapılan çevresel frezeleme deneyleri sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri Çizelge 5.15’de verilmiştir. Çizelge 5.15’deki veriler kullanılarak kesme hızı ve sabit helis açısı değerlerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini gösteren Şekil 5.15’deki çubuk grafiği hazırlanmıştır.

Çizelge 5.15. Sabit helis açılı kesici takımlarla 0,06 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçları.

Kesme hızı ( $V_c$ ), m/dk.	Kesme derinliği ( $a_p$ ), mm	Kesme genişliği ( $a_e$ ), mm	Ortalama yüzey pürüzlülüğü, $\mu\text{m}$					
			30° Helis Açılı	32° Helis Açılı	35° Helis Açılı	38° Helis Açılı	40° Helis Açılı	Ortalama
48	10	1	0,453	0,437	0,489	0,450	0,426	0,451
60	10	1	0,578	0,643	0,616	0,660	0,500	0,599
75	10	1	0,524	0,586	0,556	0,474	0,586	0,545
90	10	1	0,406	0,454	0,342	0,341	0,339	0,376
108	10	1	0,430	0,439	0,461	0,309	0,369	0,401
Aritmetik Ortalama			0,478	0,512	0,493	0,447	0,444	0,475



Şekil 5.15. 0,06 mm/diş ilerleme miktarında kesme hızı ve sabit helis açısı değerlerine bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi.

Çizelge 5.15 ve Şekil 5.15’de verilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri kesme kuvvetlerine göre incelendiğinde 60 m/dk. kesme hızında en yüksek (0,599  $\mu\text{m}$ ) olduğu görülmüştür. 60 m/dk.’dan sonra kesme hızının artması ile düşüş eğiliminde olduğu görülmektedir. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin helis açısına etkisi bakıldığında ise 32°’den sonra helis açısı yükseldikçe ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin düştüğü tespit edilmiştir.

## 5.2.2. Değişken Helisli Parmak Frezeler İle İşlemede Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları

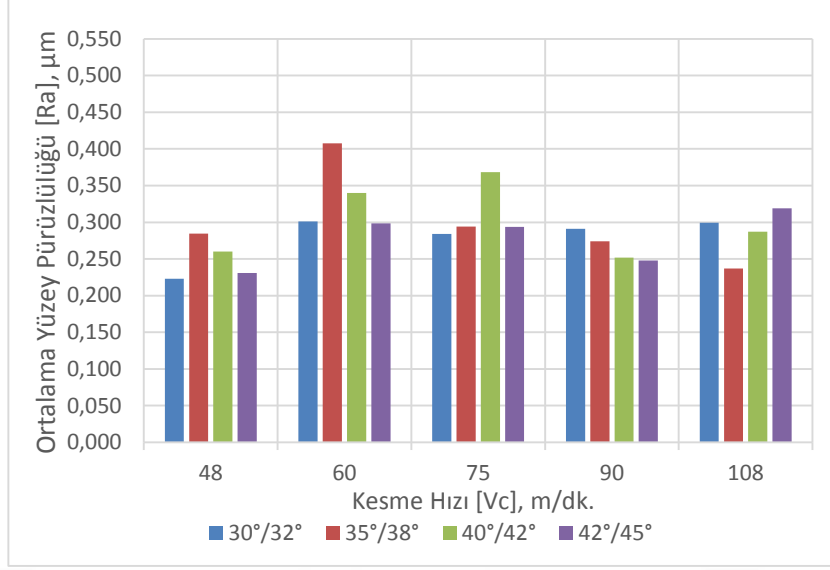
Ti6Al4V alaşımının, değişken helis açılı karbür parmak frezeler ile çevresel frezelenmesi işleminde helis açısının, kesme hızının ve ilerleme miktarının değişimine bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri çizelgelerde listelenmiştir. Her kesme hızı ve ilerleme miktarında helis açısının etkisi incelenmiştir.

### 5.2.2.1. “0,04 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları

Ti6Al4V titanyum alaşımının değişken helis açılı parmak frezeler ile 0,04 mm/diş ilerleme miktarında ve beş kesme hızında yapılan çevresel frezeleme deneyleri sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri Çizelge 5.16’de verilmiştir. Çizelge 5.16’deki veriler kullanılarak kesme hızı ve sabit helis açısı değerlerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini gösteren Şekil 5.16’deki çubuk grafiği hazırlanmıştır.

Çizelge 5.16. Değişken helis açılı kesici takımlarla 0,04 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçları.

Kesme hızı ( $V_c$ ), m/dk.	Kesme derinliği ( $a_p$ ), mm	Kesme genişliği ( $a_e$ ), mm	Ortalama yüzey pürüzlülüğü, $\mu\text{m}$				
			30°/32° Helis Açılı	35°/38 Helis Açılı	40°/42 Helis Açılı	42°/45° Helis Açılı	Ortalama
48	10	1	0,223	0,285	0,260	0,231	0,250
60	10	1	0,301	0,408	0,340	0,299	0,337
75	10	1	0,284	0,294	0,369	0,294	0,310
90	10	1	0,291	0,274	0,252	0,248	0,266
108	10	1	0,300	0,237	0,287	0,319	0,286
Aritmetik Ortalama			0,280	0,299	0,302	0,278	0,290



Şekil 5.16. 0,04 mm/diş ilerleme miktarında kesme hızı ve değişken helis açısı değerlerine bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi.

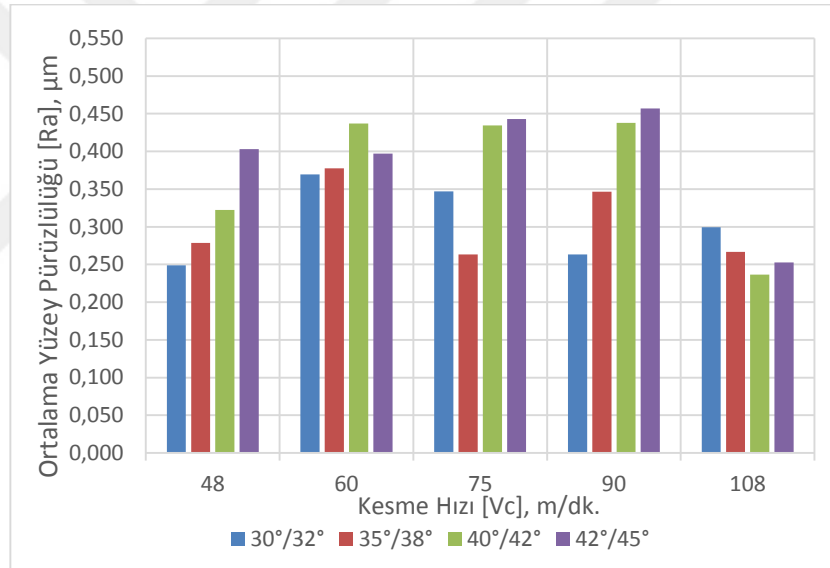
Çizelge 5.16 ve Şekil 5.16’de verilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri incelendiğinde en iyi yüzey pürüzlülüğü değerinin (0,237 µm) 35°/38° helis açısına sahip takımında, 108 m/dk. kesme hızında olduğu görülmüştür. Ancak yüzey pürüzlülük değerlerinin ortalama değerleri incelendiğinde ise en iyi değeri (0,280 µm) 30°/32° helis açısına sahip kesici takımın sağladığı tespit edilmiştir. 0,04 mm/diş ilerleme miktarında sabit helis açılı kesici takımlar ile işlenmiş yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin ortalaması karşılaştırıldığında; sabit helis açılı kesici takımlarda 0,344 µm değeri elde edildiği ancak değişken helis açılı takımlarda 0,290 µm değeri elde edilmiştir. Bu karşılaştırma neticesinde değişken helis açılı kesici takımların %16 oranında daha iyi yüzey pürüzlülüğü değeri verdiği görülmüştür.

#### 5.2.2.2. “0,05 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları

Ti6Al4V titanyum alaşımının değişken helis açılı parmak frezeler ile 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve beş kesme hızında yapılan çevresel frezeleme deneyleri sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri Çizelge 5.17’de verilmiştir. Çizelge 5.17’deki veriler kullanılarak kesme hızı ve sabit helis açısı değerlerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini gösteren Şekil 5.17’deki çubuk grafiği hazırlanmıştır.

Çizelge 5.17. Değişken helis açılı kesici takımlarla 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçları.

Kesme hızı ( $V_c$ ), m/dk.	Kesme derinliği ( $a_p$ ), mm	Kesme genişliği ( $a_e$ ), mm	Ortalama yüzey pürüzlülüğü, $\mu\text{m}$				
			30°/32° Helis Açılı	35°/38° Helis Açılı	40°/42° Helis Açılı	42°/45° Helis Açılı	Ortalama
48	10	1	0,249	0,279	0,323	0,403	0,313
60	10	1	0,370	0,378	0,437	0,397	0,395
75	10	1	0,347	0,264	0,435	0,443	0,372
90	10	1	0,263	0,347	0,438	0,457	0,376
108	10	1	0,300	0,267	0,237	0,253	0,264
Aritmetik Ortalama			0,306	0,307	0,374	0,391	0,344



Şekil 5.17. 0,05 mm/diş ilerleme miktarında kesme hızı ve değişken helis açısı değerlerine bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi.

Çizelge 5.17 ve Şekil 5.17’de verilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri kesme kuvvetlerinin etkisi açısından incelendiğinde en düşük yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ortalaması (0,264  $\mu\text{m}$ ) 108 m/dk. değerinde olduğu görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü değerinin ortalama değerleri incelendiğinde kesme kuvvetlerinin doğrusal bir etkisi olmadığı görülmemektedir. Helis açısının etkisine bakıldığında ise yüzey pürüzlülük değerlerinin ortalaması en düşük (0,306  $\mu\text{m}$ ) 30°/32° helis açısına sahip kesici takımda

elde edildiği görülmüştür. Ayrıca helis açısının artması yüzey pürüzlülük değerlerinin artmasına neden olduğu tespit edilmiştir.

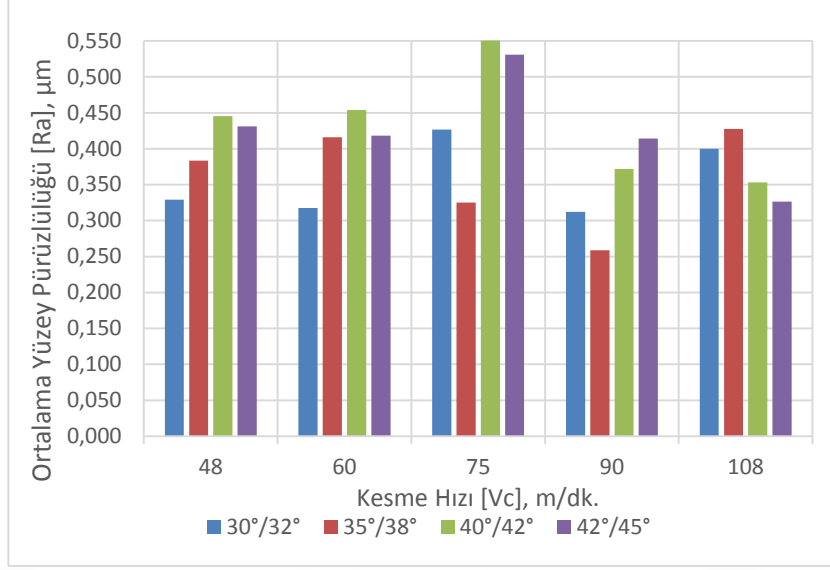
### 5.2.2.3. “0,06 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları

Ti6Al4V titanyum alaşımının değişken helis açılı parmak frezeler ile 0,06 mm/diş ilerleme miktarında ve beş kesme hızında yapılan çevresel frezeleme deneyleri sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri Çizelge 5.18’de verilmiştir. Çizelge 5.18’deki veriler kullanılarak kesme hızı ve sabit helis açısı değerlerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini gösteren Şekil 5.18’deki çubuk grafiği hazırlanmıştır.

Çizelge 5.18. Değişken helis açılı kesici takımlarla 0,06 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçları.

Kesme hızı ( $V_c$ ), m/dk.	Kesme derinliği ( $a_p$ ), mm	Kesme genişliği ( $a_e$ ), mm	Ortalama yüzey pürüzlülüğü, $\mu\text{m}$				
			30°/32° Helis Açılı	35°/38° Helis Açılı	40°/42° Helis Açılı	42°/45° Helis Açılı	Ortalama
48	10	1	0,329	0,384	0,445	0,431	0,397
60	10	1	0,318	0,416	0,454	0,418	0,401
75	10	1	0,427	0,325	0,550	0,531	0,458
90	10	1	0,312	0,259	0,372	0,414	0,339
108	10	1	0,400	0,428	0,353	0,327	0,377
Aritmetik Ortalama			0,357	0,362	0,435	0,424	0,395





Şekil 5.18. 0,06 mm/diş ilerleme miktarında kesme hızı ve değişken helis açısı değerlerine bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi.

Çizelge 5.18 ve Şekil 5.18’de verilen ortalama yüzey pürüzlülüğü içinde en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin (0,259 µm) 35°/38° helis açısına sahip kesici takımında ve 90 m/dk. kesme hızında olduğu görülmüştür. Kesme hızları etkisi incelendiğinde ise en düşük yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ortalaması 90 m/dk. değerinde olduğu görülmüştür. Helis açısının etkisine bakıldığında ise 30°/32° helis açısına sahip kesici takım ile bütün kesme hızlarındaki ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin aritmetik ortalamasının en düşük olduğu görülmüştür.

### 5.2.3. Sabit ve Değişken Helisli Parmak Frezelerin Birbiri İle Kıyaslanması

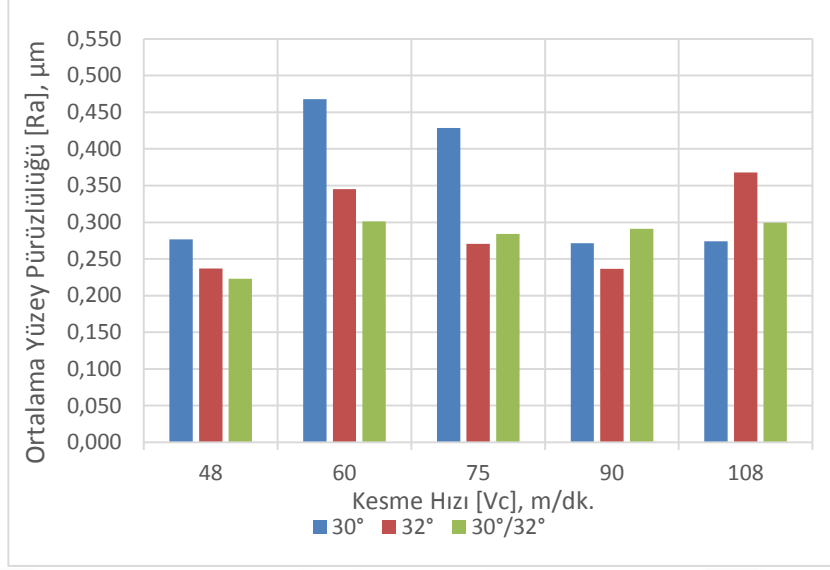
Ti6Al4V titanyum alaşımının, sabit ve değişken helis açılı parmak frezeler ile çevresel frezelenmesi işleminde helis açısının, kesme hızının ve ilerleme miktarının değişimine bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin karşılaştırılması çizelgelerde listelenmiştir. Her kesme hızı ve ilerleme miktarında helis açısının etkisi incelenmiştir.

### 5.2.3.1. “0,04 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları

Ti6Al4V titanyum alaşımının sabit helis açılı ve değişken helis açılı parmak frezeler ile 0,04 mm/diş ilerleme miktarında ve beş kesme hızında yapılan çevresel frezeleme deneyleri sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü karşılaştırılması izelge 5.19 ve izelge 5.20’da verilmiştir. Çizelgelerden elde edilen veriler kullanılarak kesme hızı ve helis açısı değerlerinin kesme kuvveti üzerindeki etkilerini gösteren Şekil 5.19 ve Şekil 5.20’deki çubuk grafikler hazırlanmıştır.

Çizelge 5.19. Sabit ve değişken helis açılı kesici takımlarla 0,04 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemelerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları.

Kesme hızı (V <sub>c</sub> ), m/dk.	Kesme derinliği (a <sub>p</sub> ), mm	Kesme genişliği (a <sub>e</sub> ), mm	Ortalama yüzey pürüzlülüğü, m					
			30° Helis Açılı	32° Helis Açılı	30° ve 32° Ort.	30°/32°	Fark, m	Fark, %
48	10	1	0,277	0,237	0,257	0,223	0,034	13,17
60	10	1	0,468	0,345	0,407	0,301	0,106	25,95
75	10	1	0,429	0,271	0,350	0,284	0,065	18,74
90	10	1	0,272	0,237	0,254	0,291	-0,037	-14,57
108	10	1	0,274	0,368	0,321	0,300	0,022	6,70
Aritmetik Ortalama			0,344	0,291	0,318	0,280	0,038	10,000

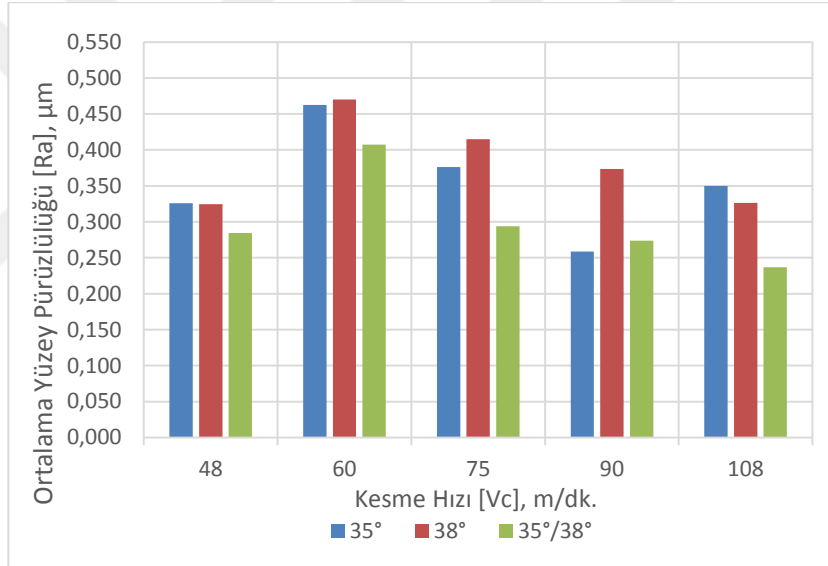


Şekil 5.19. 0,04 mm/diş ilerleme miktarında 30°/32° değişken helis açılı parmak frezenin sabit helis açılı parmak frezeler ile karşılaştırılmasında kesme hızı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi.

Çizelge 5.19 ve Şekil 5.19’da verilen yüzey pürüzlülüğü değerleri incelendiğinde 90 m/dk. kesme hızı değeri haricindeki diğer kesme hızlarında değişken helisli parmak frezeler ile işlenen yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin düştüğü görülmektedir. Sabit helisli kesici takımlardan elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin aritmetik ortalaması alındığında elde edilen yüzey pürüzlülük değeri 0,318  $\mu\text{m}$  değeri elde edilirken, değişken helis açılı parmak frezede 0,280  $\mu\text{m}$  değerine düştüğü görülmüştür. Kesme kuvvetlerine göre değerlendirme yapıldığında değişken helis açılı parmak frezelerin %10 oranında daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5.20. Sabit ve değişken helis açılı kesici takımlarla 0,04 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları.

Kesme hızı ( $V_c$ ), m/dk.	Kesme derinliği ( $a_p$ ), mm	Kesme genişliği ( $a_e$ ), mm	Ortalama yüzey pürüzlülüğü, $\mu\text{m}$					
			35° Helis Açılı	38° Helis Açılı	35° ve 38° Ortalaması	35°/38°	Fark, $\mu\text{m}$	Fark, %
48	10	1	0,326	0,325	0,325	0,285	0,041	12,53
60	10	1	0,462	0,470	0,466	0,408	0,059	12,62
75	10	1	0,376	0,415	0,396	0,294	0,102	25,66
90	10	1	0,259	0,374	0,316	0,274	0,042	13,29
108	10	1	0,350	0,327	0,338	0,237	0,101	29,93
Aritmetik ortalama			0,355	0,382	0,368	0,299	0,069	18,807



Şekil 5.20. 0,04 mm/diş ilerleme miktarında 35°/38° değişken helis açılı parmak frezenin sabit helis açılı parmak frezeler ile karşılaştırılmasında kesme hızı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi.

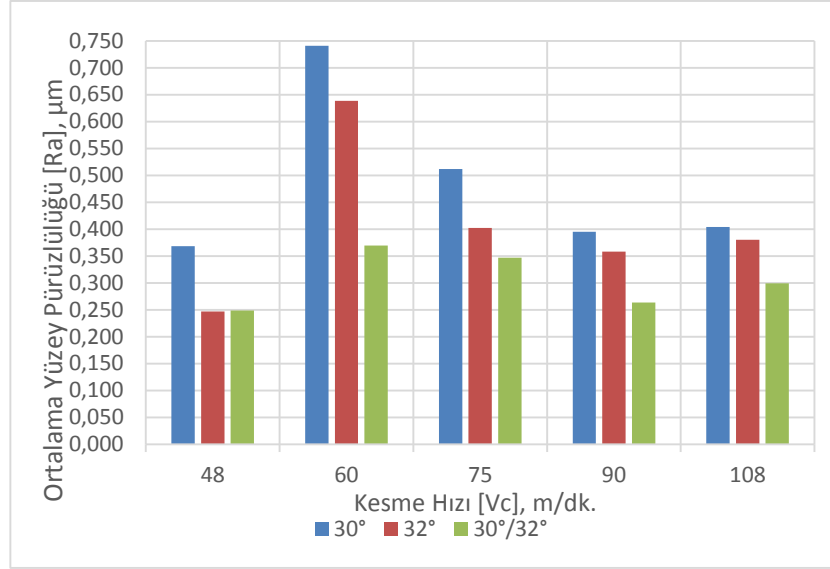
Çizelge 5.19 ve Şekil 5.19’da verilen yüzey pürüzlülüğü değerleri ile kesme hızının etkisi incelendiğinde en düşük yüzey pürüzlülüğü değerinin (0,237  $\mu\text{m}$ ) 35°/38° helis açılı takımında ve 108 m/dk. kesme hızında olduğu görülmektedir. Kesme hızına bağlı ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin aritmetik ortalamasına bakıldığında değişken helis açılı parmak frezenin, sabit helis açılı takımlara kıyasla %18,8 oranında daha düşük ortalama yüzey pürüzlülüğüne sahip olduğu görülmektedir.

### 5.2.3.2. “0,05 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları

Ti6Al4V titanyum alaşımının sabit helis açılı ve değişken helis açılı parmak frezeler ile 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve beş kesme hızında yapılan çevresel frezeleme deneyleri sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü karşılaştırılması Çizelge 5.21 ve Çizelge 5.22’da verilmiştir. Çizelgelerden elde edilen veriler kullanılarak kesme hızı ve helis açısı değerlerinin kesme kuvveti üzerindeki etkilerini gösteren Şekil 5.21 ve Şekil 5.22’deki çubuk grafikler hazırlanmıştır.

Çizelge 5.21. Sabit ve değişken helis açılı kesici takımlarla 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları.

Kesme hızı (V <sub>c</sub> ), m/dk.	Kesme derinliği (a <sub>p</sub> ), mm	Kesme genişliği (a <sub>e</sub> ), mm	Ortalama yüzey pürüzlülüğü, µm					
			30° Helis Açılı	32° Helis Açılı	30° ve 32° Ortalaması	30°/32°	Fark, µm	Fark, %
48	10	1	0,368	0,247	0,308	0,249	0,059	19,07
60	10	1	0,741	0,639	0,690	0,370	0,320	46,43
75	10	1	0,512	0,403	0,457	0,347	0,110	24,11
90	10	1	0,395	0,358	0,377	0,263	0,114	30,12
108	10	1	0,404	0,380	0,392	0,300	0,093	23,60
Aritmetik Ortalama			0,484	0,405	0,445	0,306	0,139	28,665

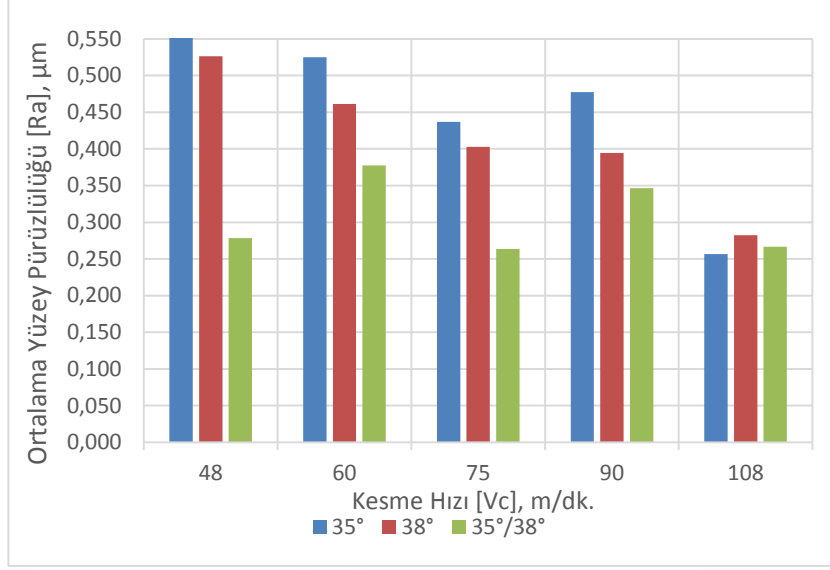


Şekil 5.21. 0,05 mm/diş ilerleme miktarında 30°/32° değişken helis açılı parmak frezenin sabit helis açılı parmak frezeler ile karşılaştırılmasında kesme hızı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi.

Çizelge 5.21 ve Şekil 5.21 incelendiğinde düşük kesme hızı sayılabilecek 60 m/dk. kesme hızında değişken helis açılı takımla, sabit helisli takımlara kıyasla %46,43 oranında daha iyi yüzey kalitesi elde edilmiştir. Artan kesme hızı ile birlikte yüzey pürüzlülüğü değerlerindeki iyileşme oranı azalmıştır.

Çizelge 5.22. Sabit ve değişken helis açılı kesici takımlarla 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları.

Kesme hızı (V <sub>c</sub> ), m/dk.	Kesme derinliği (a <sub>p</sub> ), mm	Kesme genişliği (a <sub>e</sub> ), mm	Ortalama yüzey pürüzlülüğü, µm					
			35° Helis Açılı	38° Helis Açılı	35° ve 38° Ortalaması	35°/38°	Fark, µm	Fark, %
48	10	1	0,557	0,527	0,542	0,279	0,263	48,57
60	10	1	0,525	0,462	0,493	0,378	0,116	23,47
75	10	1	0,437	0,403	0,420	0,264	0,157	37,26
90	10	1	0,477	0,394	0,436	0,347	0,089	20,46
108	10	1	0,257	0,283	0,270	0,267	0,003	1,11
Aritmetik Ortalama			0,450	0,414	0,432	0,307	0,125	26,174



Şekil 5.22. 0,05 mm/diş ilerleme miktarında 35°/38° değişken helis açılı parmak frezenin sabit helis açılı parmak frezeler ile karşılaştırılmasında kesme hızı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi.

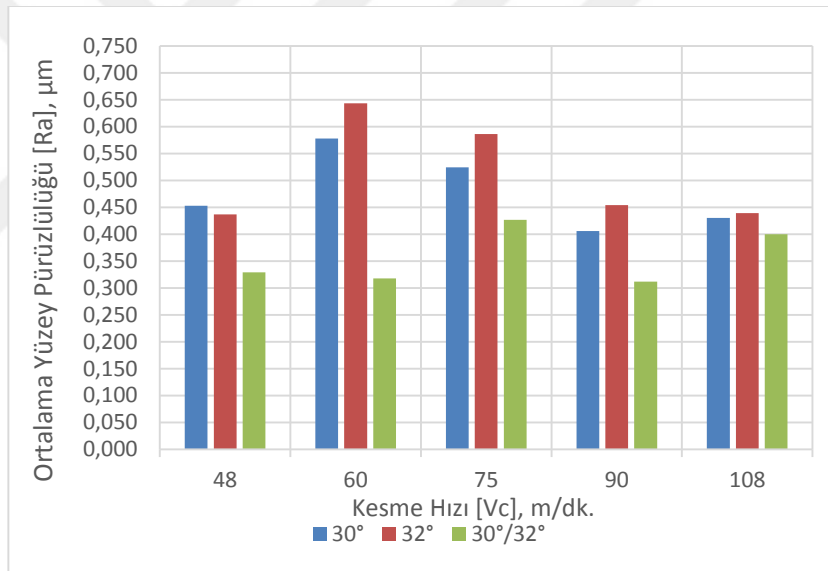
Çizelge 5.22 ve Şekil 5.22 incelendiğinde en düşük yüzey pürüzlülüğü değerinin 35°/38° kesici takımında 75 m/dk. kesme hızında 0,264 µm değeri olarak ölçülmüştür. Kesme hızının etkisine bakıldığında kesme hızı arttıkça sabit helisli takımların yüzey pürüzlülüğü iyileşmiştir. Değişken helis açılı takımlar ile sabit helis açılı parmak frezeler karşılaştırıldığında, kesme hızı arttıkça iki grup arasındaki % fark değerinin giderek azaldığı görülmüştür.

### 5.2.3.3. “0,06 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçları

Ti6Al4V titanyum alaşımının sabit helis açılı ve değişken helis açılı parmak frezeler ile 0,06 mm/diş ilerleme miktarında ve beş kesme hızında yapılan çevresel frezeleme deneyleri sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü karşılaştırılması Çizelge 5.23 ve Çizelge 5.24’da verilmiştir. Çizelgelerden elde edilen veriler kullanılarak kesme hızı ve helis açısı değerlerinin kesme kuvveti üzerindeki etkilerini gösteren Şekil 5.23 ve Şekil 5.24’deki çubuk grafikler hazırlanmıştır.

Çizelge 5.23. Sabit ve değişken helis açılı kesici takımlarla 0,06 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları.

Kesme hızı ( $V_c$ ), m/dk.	Kesme derinliği ( $a_p$ ), mm	Kesme genişliği ( $a_e$ ), mm	Ortalama yüzey pürüzlülüğü, $\mu\text{m}$					
			30° Helis Açılı	32° Helis Açılı	30° ve 32° Ortalaması	30°/32°	Fark, $\mu\text{m}$	Fark, %
48	10	1	0,453	0,437	0,445	0,329	0,116	26,03
60	10	1	0,578	0,643	0,610	0,318	0,293	47,98
75	10	1	0,524	0,586	0,555	0,427	0,129	23,15
90	10	1	0,406	0,454	0,430	0,312	0,118	27,44
108	10	1	0,430	0,439	0,435	0,400	0,035	7,94
Aritmetik Ortalama			0,478	0,512	0,495	0,357	0,138	26,508



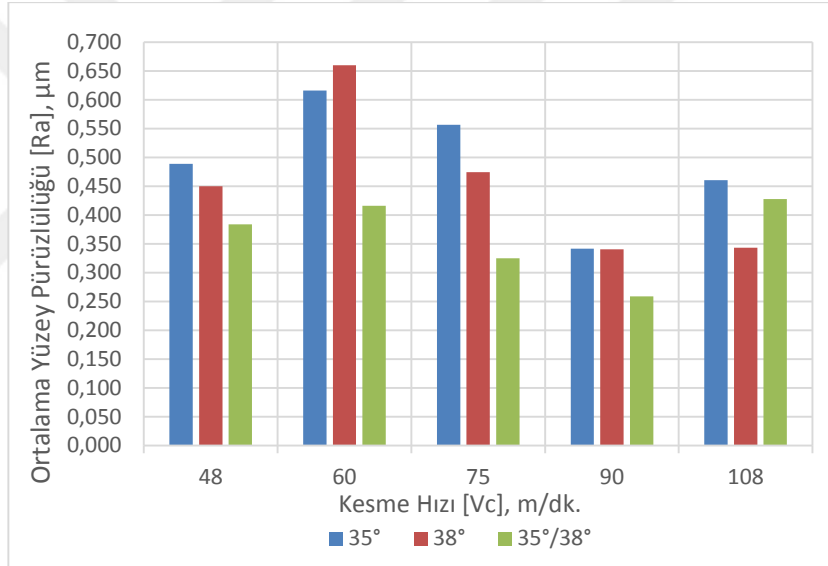
Şekil 5.23. 0,06 mm/diş ilerleme miktarında 30°/32° değişken helis açılı parmak frezenin sabit helis açılı parmak frezeler ile karşılaştırılmasında kesme hızı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi.

Çizelge 5.23 ve Şekil 5.23 incelendiğinde en yüksek ilerleme miktarı olan 0,06 mm/diş değerinde de diğer ilerleme miktarlarında (0,04 ve 0,05 mm/diş) olduğu gibi değişken helis açısına sahip kesicinin sabit helisli kesicilere kıyasla yüzey pürüzlülüğü açısından daha iyi performans sergilediği görülmektedir. Ayrıca düşük kesme hızlarında % fark değerinin daha yüksek (%47,98) olduğu tespit edilmiştir.



Çizelge 5.24. Sabit ve değişken helis açılı kesici takımlarla 0,06 mm/diş ilerleme miktarında ve farklı kesme hızlarında yapılan işlemlerde helis açısına bağlı bileşke kesme kuvveti sonuçları.

Kesme hızı ( $V_c$ ), m/dk.	Kesme derinliği ( $a_p$ ), mm	Kesme genişliği ( $a_e$ ), mm	Ortalama yüzey pürüzlülüğü, $\mu\text{m}$					
			35° Helis Açılı	38° Helis Açılı	35° ve 38° Ortalaması	35°/38°	Fark, $\mu\text{m}$	Fark, %
48	10	1	0,489	0,450	0,469	0,384	0,086	18,27
60	10	1	0,616	0,660	0,638	0,416	0,222	34,80
75	10	1	0,556	0,474	0,515	0,325	0,190	36,91
90	10	1	0,342	0,341	0,341	0,259	0,082	24,14
108	10	1	0,461	0,343	0,402	0,428	-0,026	-6,41
Aritmetik Ortalama			0,493	0,454	0,473	0,362	0,111	21,544



Şekil 5.24. 0,06 mm/diş ilerleme miktarında 35°/38° değişken helis açılı parmak frezenin sabit helis açılı parmak frezeler ile karşılaştırılmasında kesme hızı değerlerine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetlerinin değişimi.

Çizelge 5.24 ve Şekil 5.24 incelendiğinde tüm kesici takımlarda en iyi yüzey pürüzlülüğü değerinin 90 m/dk. kesme hızında elde edildiği görülmektedir. Değişken helisli kesici takım 108 m/dk. kesme hızı haricindeki tüm kesme hızlarında en iyi yüzey kalitesinin elde edilmesini sağlamıştır. Bu kesme hızı değerinde ise en iyi performansı 38° sabit helisli kesici takım sergilemiştir.

## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Ti6AL4V titanyum alaşımının çevresel frezeleme yöntemi ile sabit ve değişken helis açılı parmak frezeler ile işlenebilirliği araştırılmıştır. Literatür araştırması ışığında belirlenen parametreler ve deney düzeneğine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetleri ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri ölçülmüştür. Bu çalışmadan elde edilen önemli sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Ti6Al4V titanyum alaşımının sementit karbür parmak frezeler ile işlenmesinde ilerleme miktarı, kesme hızı ve helis açısının bileşke kesme kuvvetine etkisinin olduğu görülmüştür.
2. Sabit helis açılı kesici takımlar ile yapılan işleme kesme kuvvetinin en düşük ölçüldüğü deney şartları: 40° helis açılı takımla, 75 m/dk. kesme hızı ve 0,04 mm/diş ilerleme miktarı şeklindedir. Ölçülen değer ise 585,61 N'dur.
3. Değişken helis açılı kesici takımlar ile yapılan işleme kesme kuvvetinin en düşük ölçüldüğü deney şartları: 35°/38° helis açılı takımla, 108 m/dk. kesme hızı ve 0,04 mm/diş ilerleme miktarı şeklindedir. Ölçülen değer ise 227,52 N'dur.
4. Sabit helis açılı kesici takımlar ile yapılan işleme deneylerinde ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin en düşük ölçüldüğü deney şartları: 32° helis açılı takımla, 90 m/dk. kesme hızı ve 0,04 mm/diş ilerleme miktarı şeklindedir. Ölçülen değer ise 0,237  $\mu\text{m}$ 'dur.
5. Değişken helis açılı kesici takımlar ile yapılan işleme deneylerinde ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin en düşük ölçüldüğü deney şartları: 30°/32° helis

açılı takımla, 48 m/dk. kesme hızı ve 0,04 mm/diş ilerleme miktarı şeklindedir. Ölçülen değer ise 0,223  $\mu\text{m}$ 'dur.

6. Yapılan deneylerin sonuçları neticesinde sabit ve değişken helis açılı kesici takımlar kesme kuvveti açısından birbiri ile kıyaslandığında, değişken helis açılı kesici takımlar daha düşük kesme kuvveti ile talaş kaldırmıştır. Değişken helis açılı kesici takımlar ve onların açısını oluşturan helislere sahip sabit helis açılı kesici takımlar birbiri ile kıyaslandığında:
  - a. Değişken helis açılı  $35^\circ/38^\circ$  kesici takım ile  $35^\circ$  ve  $38^\circ$  sabit helis açılı kesici takımlar, tüm kesme hızları ve ilerleme miktarlarındaki kesme kuvvetleri karşılaştırıldığında: değişken helis açılı  $35^\circ/38^\circ$  kesici takımın sabit helis açılı olanlara kıyasla toplamda %62,27 oranında daha düşük kesme kuvveti ile talaş kaldırmıştır.
  - b. Değişken helis açılı  $30^\circ/32^\circ$  kesici takım ile  $30^\circ$  ve  $32^\circ$  sabit helis açılı kesici takımlar, tüm kesme hızları ve ilerleme miktarındaki kesme kuvvetleri karşılaştırıldığında: değişken helis açılı  $30^\circ/32^\circ$  kesici takımın sabit helis açılı olanlara kıyasla toplamda %64,01 oranında daha düşük kesme kuvveti ile talaş kaldırmıştır.
7. Sabit helis açılı kesici takımlar ile yapılan işleme deneylerinde aynı kesme hızında oluşan kesme kuvvetlerinin aritmetik ortalamaları alınarak inceleme yapıldığında, helis açısı arttıkça kesme kuvvetlerinin düştüğü tespit edilmiştir.
8. Sabit helis açılı kesici takımlar ile yapılan işleme deneylerinde aynı kesme hızında oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin aritmetik ortalamaları alınarak inceleme yapıldığında, ilerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülüğü değerlerinin arttığı görülmüştür.
9. Değişken helis açılı parmak frezeler, sabit helis açılı parmak frezelere göre kesme kuvveti açısından %60 oranında daha düşük kesme kuvveti ile talaş

kaldırıldığı, yüzey pürüzlülüğü açısından %21 oranında daha düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü oluşturduğu görülmüştür.

10. En düşük bileşke kesme kuvveti değeri DHA takımlarda, helis açısının  $35^{\circ}/38^{\circ}$ , kesme hızının 108 m/dk. ve ilerleme miktarının 0,04 mm/diş olduğu durumda 227,52 N olarak ölçülmüştür. En büyük bileşke kesme kuvveti değerinin SHA takımlarda, helis açısının  $30^{\circ}$ , kesme hızının 48 m/dk. ve ilerleme miktarının 0,06 mm/diş olduğu durumda 1182,63 N olarak ölçülmüştür.
11. Sabit ve değişken helis açılı kesici takımlar ile titanyum alaşımlarının işlenebilirliği üzerine yapılan sonraki çalışmalarda kesici takım aşınma miktarı ve işleme esnasındaki titreşim ivme seviyesi değerleri incelenebilir.
12. Elde edilen deney verileri istatistiki olarak incelenip en etkin parametreler üzerinde çalışma yapılabilir.

## KAYNAKLAR

1. Yıldız, T., "Ti6Al4V alaşımının tornalanmasında işleme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti üzerindeki etkisinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi*, Karabük, (2015).
2. Veiga, C., Davim, J. P., and Loureiro, A. J. R., "Review on machinability of titanium alloys: The process perspective", *Reviews On Advanced Materials Science*, 34 (2): 148–164 (2013).
3. Balazic, M. and Kopac, J., "Machining of titanium alloy TI-6AL-4V for biomedical applications", *Strojniski Vestnik/Journal Of Mechanical Engineering*, 56 (3): 1–5 (2010).
4. Yang, D. and Liu, Z., "Surface topography analysis and cutting parameters optimization for peripheral milling titanium alloy Ti – 6Al – 4V", *Int . Journal Of Refractory Metals And Hard Materials*, 51: 192–200 (2015).
5. Yılmaz, V., Dilipak, H., Sarıkaya, M., Yılmaz, C. Y., and Meral, G., "Frezeleme işlemlerinde titreşimi ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametrelerin optimizasyonu", *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, 4 (1): 37–44 (2014).
6. Shirase, K. and Altıntaş, Y., "Cutting force and dimensional surface error generation in peripheral milling with variable pitch helical end mills", *International Journal Of Machine Tools And Manufacture*, 36 (5): 567–584 (1996).
7. Turner, S., Merdol, D., Altintas, Y., and Ridgway, K., "Modelling of the stability of variable helix end mills", *International Journal Of Machine Tools And Manufacture*, 47 (9): 1410–1416 (2007).
8. Jin, G., Li, H., Li, Z., and Sun, G., "A method to predict the cutting force for end mills with variable-pitch and variable-helix angle", *IOP Conference Series: Materials Science And Engineering*, 392: 062051 (2018).
9. Otto, A., Rauh, S., Ihlenfeldt, S., and Radons, G., "Stability of milling with non-uniform pitch and variable helix Tools", *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 89 (9–12): 2613–2625 (2017).

10. Chen, D., Zhang, X., Xie, Y., Zhang, X., and Ding, H., "A unified analytical cutting force model for variable helix end mills", *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 92 (9–12): 3167–3185 (2017).
11. Huang, P., Li, J., Sun, J., and Zhou, J., "Study on vibration reduction mechanism of variable pitch end mill and cutting performance in milling titanium alloy", *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 67 (5–8): 1385–1391 (2013).
12. Comak, A. and Budak, E., "Modeling dynamics and stability of variable pitch and helix milling tools for development of a design method to maximize chatter stability", *Precision Engineering*, 47: 459–468 (2017).
13. Altintas, Y., "Manufacturing Automation", 2. Ed., *Cambridge University Press*, Cambridge, UK, 1-306 (2011).
14. Priyadarshini, A., Pal, S. K., and Samantaray, A. K., "Finite element modeling of chip formation in orthogonal machining", Statistical and Computational Techniques in Manufacturing, *Springer Berlin Heidelberg*, Berlin, Heidelberg, 101–144 (2012).
15. Internet: The Engineering Toolbox, "Metals Machinability", [https://www.engineeringtoolbox.com/machinability-metals-d\\_1450.html](https://www.engineeringtoolbox.com/machinability-metals-d_1450.html) (2018).
16. Internet: American Machinist, "Chapter 3: Machinability of Metals", <https://www.americanmachinist.com/cutting-tools/chapter-3-machinability-metals> (2019).
17. Motorcu, A. R., "Nikel esaslı süperalaşımın ve titanyum alaşımlarının işlenebilirliği", *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25 (1–2): 302–330 (2009).
18. Internet: Mitsubishi materials Corporation, "End Mill Terminology", [http://www.mitsubishicarbide.com/en/technical\\_information/tec\\_rotating\\_tools/tec\\_solid\\_end\\_mills/tec\\_solid\\_end\\_mills\\_technical/tec\\_solid\\_end\\_mills\\_terminology](http://www.mitsubishicarbide.com/en/technical_information/tec_rotating_tools/tec_solid_end_mills/tec_solid_end_mills_technical/tec_solid_end_mills_terminology) (2018).
19. Trent, E. M. and Wright, P. K., "Management of technology", *Metal Cutting, Elsevier*, 411–423 (2000).
20. "HRING – Ваш Рациональный Выбор СЕМЕЙСТВО ФРЕЗ Ratio От GÜ", <https://mirprom.ru/public/semeystvo-frez-ratio-ot-guhring-vash-racionalnyy-vybor.html> (2019).

21. Bjurka, E., "Analyze of insert geometries , wear types and insert life in milling", *Chalmers University of Technology*, Göteborg, (2011).
22. Astakhov, V. P. and Outeiro, J. C., "Metal cutting mechanics, finite element modelling", Machining, *Springer London*, London, 1–27 (2008).
23. Schmitz, T. L. and Smith, S. K., "Machining Dynamics", *Springer*, New York, New York, USA, 1-284 (2008).
24. Internet: Materials, A., "Ti6Al4V Grade 5 Alaşımının Mekanik Özellikleri", <https://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID=1547> (2019).
25. Lütjering, G. and Williams, James, C., "Titanium", Engineering Materials and Processes, 2. Ed., *Springer Berlin Heidelberg*, New York, USA, 1–413 (2007).
26. Internet: Schunk, "Schunk Takım Tutucu", <http://www.shiltechnologies.in/products-schunk.html> (2018).
27. Küçükköşe, M., "A-C:N/TiAlN Kaplamaların karakterizasyonu ve aşınma davranışlarının incelenmesi", *Bartın Üniversitesi*, Bartın, (2017).
28. Internet: Kistler, "Kistler Product Catalog", <https://www.kistler.com/fileadmin/files/divisions/sensor-technology/cutting-force/960-002e-05.14.pdf> .
29. Altintas, Y., "Manufacturing Automation", 2. Ed., *Cambridge University Press*, Cambridge, UK, 1-306 (2011).
30. Yangui, H., Zghal, B., Kessentini, A., Chevallier, G., Rivière, A., Haddar, M., and Karra, C., "Influence of cutting and geometrical parameters on the cutting force in milling", *Engineering*, 02 (10): 751–761 (2010).

## ÖZGEÇMİŞ

Samet NOHUTÇU 1992 yılında Ankara’da doğdu; babasının mesleği gereği ilk öğrenimine KKTC’de 23 Nisan İlköğretim okulunda başladı daha sonra Türkiye’ye dönerek çeşitli illerde öğrenimi sürdürdü. Lise öğrenimini Konya Selçuklu Anadolu Teknik Lisesi Bilişim Teknolojileri Alanında tamamladı. 2011 yılında Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümüne başladı ve 2015 yılında başarı ile mezun oldu. 2016 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümünde başladığı yüksek lisans programını sürdürürken 1 dönem Malezya Uluslararası İslam Üniversitesinde akademik çalışmalarına devam etti. 2017 yılında Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı ve halen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü  
217 Nolu Oda

E-posta : sametnohutcu@karabuk.edu.tr