



**DALGALI KESİM ÖZELLİĞİNE SAHİP DEĞİŞKEN TALAŞ AÇILI
PARMAK FREZE TASARIMI VE PERFORMANSININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Ali AKGÜN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MART 2020

Ali AKGÜN tarafından hazırlanan “DALGALI KESİM ÖZELLİĞİNE SAHİP DEĞİŞKEN TALAŞ AÇILI PARMAK FREZE TASARIMI VE PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Abdülmecit GÜLDAŞ

İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Turgay KIVAK

İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Düzce Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 13/03/2020

Jüri tarafından kabul edilen bu çalışmanın Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

.....
Ali AKGÜN
13/03/2020

DALGALI KESİM ÖZELLİĞİNE SAHİP DEĞİŞKEN TALAŞ AÇILI PARMAK FREZE TASARIMI VE PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ali AKGÜN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mart 2020

ÖZET

Frezeleme, çok farklı şekilleri oluşturabilme ve yüksek üretim hızlarına ulaşabilme özelliklerinden dolayı en geniş ve yoğun kullanıma sahip talaşlı imalat operasyonlarından biridir. Günümüzde firmalar, işleme süresi ve kalitesini arttırabilmek adına özel kesici kenar tasarımına sahip frezeler kullanmaktadır. Bu çalışmada, helisel parmak frezenin kesici kenarları üzerine özel bir tasarıma sahip bir dalga formu verilerek tasarlanmış takımların standart parmak frezelere göre işleme performansının belirlenmesi ve karşılaştırılması amaçlanmıştır. Dalga formu sayesinde kesici kenar üzerinde -2° ila $+10^{\circ}$ derece arasında değişken ve kesici kenar boyunca devam eden bir talaş açısı oluşturulmuştur. Çalışmada, malzeme kalite özellikleri ile aynı olan standart ve değişken helis/değişken talaş açılı dalgali forma sahip iki takımın işleme performansları, TS ISO 8688-2 standardı çerçevesinde, C45 (AISI 1045) çelik ve GG25 dökme demir referans malzemeler kullanılarak kıyaslanmıştır. Deneysel analiz sonuçlarına göre değişken talaş açısı ile kesici kenar mukavemetinin artması, kesme kararlılığının artması ve dolayısı ile takım performansının artması sağlanmıştır.

Bilim Kodu : 91438
Anahtar Kelimeler : Talaşlı İmalat, Frezeleme, Kesici Takım Tasarımı, Dalga Formlu Parmak Freze, Talaş Açısı
Sayfa Adedi : 69
Danışman : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

THE DESIGN OF WAVE-CUT ENDMILLS WITH VARIABLE RAKE ANGLE
THROUGH HELIX AND EVOLUATION OF TOOL PERFORMANCE

(M. Sc. Thesis)

Ali AKGÜN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

March 2020

ABSTRACT

Milling is one of the most extensive and intensive machining operations due to its ability to form very different shapes and achieve high production speeds. Nowadays, companies use end mills with special cutting edge design in order to increase processing time and quality. In this study, it is aimed to determine and compare the machining performance of the tools designed by giving a special waveform on cutting edges of helical end mill in accordance with standard end mill. Under favor of to the waveform, rake angle is formed on the cutting edge that varies between -2° and $+10^{\circ}$ degrees and runs along the cutting edge. In this study, the machining performances of two tools having the same standard and variable helical / variable rake angle waveform which are the same as the material quality characteristics are compared using C45 (AISI 1045) steel and GG25 cast iron reference materials according to TS ISO 8688-2 standard. According to experimental analysis results, increased cutting edge strength with a variable rake angle, the cutting is achieved increased stability and thereby increased tool performance.

Science Code : 91438

Key Words : Machining, Endmilling, Cutting Tool Design, Wave Cut Endmill, Rake Angle

Page Number : 69

Supervisor : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesinde ve her aşamasında büyük özveriyle destekleyen bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım kıymetli hocam ve danışmanım Sayın Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e, çalışmalar süresince her zaman yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım Arş. Gör. Kutay AYDIN'a, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan kıymetli eşim Merve AKGÜN'e teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmayı, 119M657 No'lu proje ile destekleyen TÜBİTAK'a ve takım/ölçme desteği sağlayan Karcan Kesici Takım Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketine teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
3. KURAMSAL TEMELLER.....	5
3.1. Talaşlı İmalat	5
3.2. Frezeleme Mekaniği	5
3.3. Yüzey Pürüzlülüğü	9
3.3.1. İdeal yüzey pürüzlülüğü	10
3.3.2. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden önemli faktörler	11
3.3.3. Milli standartlar	11
3.4. Titreşim Oluşumu	13
3.5. Kesici Takım Aşınması	14
3.5.1. Serbest yüzey aşınması.....	14
3.5.2. Krater aşınması	15
3.5.3. Basamaklı yüz aşınması	15
3.5.4. Çentik aşınması	16

Sayfa

3.5.5. Pullanma	16
3.5.6. Termal çatlaklar	17
3.5.7. Tanecik kopması ve tam bozulma	17
3.6. Kesici Takım Ömrü	18
4. MATERYAL VE METOT	19
4.1. Kesici Takım Malzemesi	19
4.2. Kesici Takım Kaplamaları	19
4.3. Kesici Takım Geometrisi	20
4.3.1. Talaş açısı	20
4.3.2. Diş sayısı	21
4.3.3. Kesme yönü ve helis açısı	22
4.3.4. Çekirdek çap	23
4.3.5. Boşaltma açısı	23
4.3.6. Gash operasyonu ve gashing açısı	24
4.3.7. Ön kesme açıları	24
4.3.8. Sırt genişliği	25
4.3.9. Çanak açısı	25
4.4. Kesici Takım İmalatı	26
4.4.1. Çubukların hazırlanması	26
4.4.2. Taş setlerinin hazırlanması	27
4.4.3. Ön kalite kontrol	28
4.4.4. CNC işleme	28
4.4.5. Kesici kenar yuvarlama	34
4.4.6. Son kalite kontrol	35

Sayfa

4.5. Deney Tasarımı.....	36
4.5.1. CNC takım tezgâhı	38
4.5.2. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi	38
4.5.3. Takım aşınma ölçümü	39
4.5.4. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü	40
5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	41
5.1. Karşılaştırmalı Değerlendirmeler	44
5.1.1 Kesme kuvveti açısından değerlendirme	44
5.1.2. Yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirme	51
5.1.3. Takım aşınmasının değerlendirilmesi.....	55
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ.....	69

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Yüzey kalitesi milli standartlar tablosu.....	12
Çizelge 4.1. CK45 malzemenin kimyasal bileşimi, TS ISO 8688-2.....	37
Çizelge 4.2. GG25 malzemenin yapısı.....	37
Çizelge 4.3. Dalga formlu parmak freze tasarım parametreleri	37
Çizelge 4.4. Kesme şartları ve deney tasarımı	38
Çizelge 4.5. Kullanılan CNC dik işleme merkezinin özellikleri.....	38
Çizelge 4.6. Yüzey pürüzlülük cihazının özellikleri	40
Çizelge 5.1. CK45 malzemede standart takım kesme kuvveti değerleri.....	41
Çizelge 5.2. CK45 malzemede dalga formlu takım kesme kuvveti değerleri	42
Çizelge 5.3. GG25 malzemede standart takım kesme kuvveti değerleri.....	42
Çizelge 5.4. GG25 malzemede dalga formlu takım kesme kuvveti değerleri.....	42
Çizelge 5.5. CK45 malzemede ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri	43
Çizelge 5.6. GG25 Malzemede Ölçülen Yüzey Pürüzlülük Değerleri.....	43
Çizelge 5.7. Kesme uzunluğuna bağlı aşınma miktarı	55
Çizelge 5.8. Kesme uzunluğuna bağlı aşınma miktarı	59

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Takma uçlu freze.....	6
Şekil 3.2. Frezeleme işlemleri	6
Şekil 3.3. Standart takma uç geometrisi	7
Şekil 3.4. Talaş oluşumu	8
Şekil 3.5. M sistemine göre yüzey pürüzlülük profili	10
Şekil 3.6. Titreşim sistemi.....	13
Şekil 3.7. Serbest yüzey aşınması	14
Şekil 3.8. Krater aşınması.....	15
Şekil 3.9. Basamaklı yüz aşınması	15
Şekil 3.10. Çentik aşınması	16
Şekil 3.11. Pullanma aşınması.....	16
Şekil 3.12. Termal çatlak aşınması.....	17
Şekil 3.13. Tam bozulma aşınması.....	17
Şekil 3.14. Kesici takım ömür diyagramı.....	18
Şekil 4.1. Talaş açısı.....	21
Şekil 4.2. Diş sayısına göre freze ön geometrileri.....	21
Şekil 4.3. Diş sayısı ile kesit alan arasındaki ilişki	22
Şekil 4.4. Helis açısı	22
Şekil 4.5. Çekirdek çap.....	23
Şekil 4.6. Boşaltma açısı	23
Şekil 4.7. Gashing geometrisi.....	24
Şekil 4.8. Sırt genişliği	25

Şekil	Sayfa
Şekil 4.9. Çanak açısı	25
Şekil 4.10. Kanal operasyonu taş geometrisi	30
Şekil 4.11. Kanal operasyonu sıcaklık dağılımı	30
Şekil 4.12. Dalgalı kanal operasyonu taş geometrisi.....	31
Şekil 4.13. Boşaltma açısına ait operasyonunda kullanılan taş geometrisi	32
Şekil 4.14. Boşaltma açısı	32
Şekil 4.15. Boşaltma açısı ve serbest yüzey aşınma ilişkisi.....	33
Şekil 4.16. Gashing operasyonu taş geometrisi.....	33
Şekil 4.17. Ön kesme açıları taş geometrisi	34
Şekil 4.18. Köşe yuvarlama şekilleri.....	35
Şekil 4.19. Köşe yuvarlama.....	35
Şekil 4.20. Deney düzeneği şematik gösterimi	39
Şekil 5.1. İlerleme oranına bağlı bileşke kuvvetin değişimi (Kesme Hızı: 125 m/dk)	44
Şekil 5.2. İlerleme oranına bağlı bileşke kuvvetin değişimi (Kesme Hızı: 130 m/dk)	45
Şekil 5.3. İlerleme oranına bağlı bileşke kuvvetin değişimi (Kesme Hızı: 140 m/dk)	45
Şekil 5.4. Kesme hızına bağlı bileşke kuvvetin değişimi.....	46
Şekil 5.5. İlerleme oranına bağlı bileşke kuvvetin değişimi (Kesme Hızı: 125 m/dk)	47
Şekil 5.6. İlerleme oranına bağlı bileşke kuvvetin değişimi (Kesme Hızı: 130 m/dk)	48
Şekil 5.7. İlerleme oranına bağlı bileşke kuvvetin değişimi (Kesme Hızı: 140 m/dk)	48
Şekil 5.8. Kesme hızına bağlı bileşke kuvvetin değişimi.....	49
Şekil 5.9. İlerleme oranına bağlı yüzey pürüzlülük değişimi.....	51
Şekil 5.10. İlerleme oranına bağlı yüzey pürüzlülük değişimi (Kesme Hızı:125 m/dk).....	52
Şekil 5.11. İlerleme oranına bağlı yüzey pürüzlülük değişimi (Kesme Hızı: 130 m/dk)....	52
Şekil 5.12. İlerleme oranına bağlı yüzey pürüzlülük değişimi (Kesme Hızı: 140 m/dk)....	52

Şekil	Sayfa
Şekil 5.13. İlerleme oranına bağlı yüzey pürüzlülük değişimi.....	53
Şekil 5.14. İlerleme oranına bağlı yüzey pürüzlülük değişimi (Kesme Hızı: 125 m/dk)....	53
Şekil 5.15. İlerleme oranına bağlı yüzey pürüzlülük değişimi (Kesme Hızı: 130 m/dk)....	54
Şekil 5.16. İlerleme oranına bağlı yüzey pürüzlülük değişimi (Kesme Hızı: 140 m/dk)....	54

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Ön kesme açıları.....	24
Resim 4.2. Çubuk kesme makinesi	26
Resim 4.3. Elmas emdirilmiş taşlar	27
Resim 4.4. Salgı ölçme aleti.....	28
Resim 4.5. Reinecker WZS70 CNC Tezgahı	29
Resim 4.6. Dalgalı kanal geometrisi	31
Resim 4.7. Zoller ölçüm tezgahı	36
Resim 4.8. Serbest yüzey aşınma ölçümü	39
Resim 5.1. Dalga formlu freze serbest yüzey aşınma miktarı – 10 metre.....	56
Resim 5.2. Dalga formlu freze serbest yüzey aşınma miktarı – 30 metre.....	56
Resim 5.3. Dalga formlu freze serbest yüzey aşınma miktarı – 50 metre.....	57
Resim 5.4. Standart freze serbest yüzey aşınma miktarı – 10 metre.....	57
Resim 5.5. Standart freze serbest yüzey aşınma miktarı – 30 metre.....	58
Resim 5.6. Standart freze serbest yüzey aşınma miktarı – 50 metre.....	58
Resim 5.7. Dalga formlu freze serbest yüzey aşınma miktarı – 10 metre.....	59
Resim 5.8. Dalga formlu freze serbest yüzey aşınma miktarı – 30 metre.....	60
Resim 5.9. Dalga formlu freze serbest yüzey aşınma miktarı – 50 metre.....	60
Resim 5.10. Standart freze serbest yüzey aşınma miktarı – 10 metre.....	61
Resim 5.11. Standart freze serbest yüzey aşınma miktarı – 30 metre.....	61
Resim 5.12. CK45 Talaş formu.....	62
Resim 5.13. GG25 Talaş formu.....	62

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

a	Talaş derinliği (mm)
c	İlerleme oranı (mm/rev – tooth)
h	Talaş kalınlığı (mm)
F	Frekans (Hz)
F_a	Eksenel kesme kuvveti (N)
F_r	Radyal kuvvet (N)
F_t	Teğetsel kesme kuvveti (N)
K_{ac}	Eksenel kesme kuvveti katsayısı
K_{rc}	Radyal kesme kuvveti katsayısı
K_{tc}	Teğetsel kesme kuvveti katsayısı
K_{ae}	Eksenel köşe sabiti
K_{re}	Radyal köşe sabiti
K_{te}	Teğetsel köşe sabiti
R_a	Ortalama pürüzlülük değeri (μm)
R_t	Pürüzlülük yüksekliği (μm)
T	Periyot (1/Hz)
T_t	Takım Ömrü (dak)
V	Kesme hızı (m/dak)
φ	Batma Açısı

Kısaltmalar

Açıklamalar

AISI	Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü
BUE	Yığıntı talaş (Built Up Edge)
CBN	Kübik Bor Nitrür

Kısaltmalar**Açıklamalar****CK45**

1045 Çeliği

CNC

Bilgisayar Destekli Kontrol

GG25

Dökme Demir

ISO

Milletlerarası Standart Teşkilatı

MQL

Minimum Miktarda Yağlama

PVD

Fiziksel Buhar Biriktirme

VB

Serbest Yüzey Aşınma Miktarı

1. GİRİŞ

Talaşlı imalatla en önemli imalat yöntemlerinden biri olan frezeleme yönteminde, işleme performansını en çok etkileyen parametrelerden biri kesici takım tasarımıdır. Frezeleme takımlarının önemli bir bölümünü oluşturan parmak frezelerin çalışma performansını ve ömrünü belirleyen başlıca etkenler, takımın malzemesi ve takım geometrisidir [1].

Literatürde ve endüstri uygulamalarında helisel kesici kenar üzerinde dalga formu parmak frezeler, talaşlı imalat alanında henüz çok yeni ve performansları hakkında çok az bilgi sahibi olunan kesici takımlardır. Literatürde mevcut sınırlı sayıda çalışmada kullanılan ve ticari olarak tedarik edilebilen dalgalı kesim özelliğine sahip takımlarda genellikle farklı uç açısı ve değişken helis açısı uygulamaları öne çıkmaktadır. Bu çalışma kapsamında geliştirilecek takımlarda ise, talaş açısının kesme performansı üzerindeki yüksek etkisi de dikkate alınmış ve dalga formunun değişken helis açısıyla birlikte helis kesici kenar boyunca takıma değişken talaş açısı uygulanması hedeflenmiştir [2].

Çalışmanın konusu, bir parmak frezenin helisel kesici kenarı üzerinde talaş açısının değişken olacak şekilde dalgalı bir form ile tasarlanması ve bu parmak frezenin standart bir parmak freze (dalgasız) ile işleme performanslarının karşılaştırılmasını kapsamaktadır. Bu kapsam dâhilinde; en ideal dalga geometrisine sahip parmak freze tasarımı, imalatı ve mühendislik malzemeleri üzerinde deneysel işleme performansının incelenmesini içeren çalışmaların yapılmasını konu edinmiştir. Çalışmalar, Gazi Üniversitesi bünyesindeki laboratuvar imkânları ve kesici takım endüstrisinde faaliyet gösteren Karcan Kesici Takım firmasının Ar-Ge imkânlarından faydalanılmıştır. Deneysel çalışmalar, TS ISO 8688-2 Parmak Frezeleme: Frezelemede Takım Ömrü Deneyi Standartına göre yapılmıştır. İş parçası olarak TS ISO 8688-2’de tavsiye edilen C45 (Europe) (US: AISI 1045) çelik veya GG25 dökme demir referans malzemeler kullanılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmalar ile helisel kesici kenar üzerinde helis ve talaş açısı değişken dalga formu parmak frezelerin CK45 ve GG25 malzemeleri üzerinde, aynı işleme şartları altında oluşturdukları kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülükleri ve aşınma miktarları ölçülerek karşılaştırılmıştır.

Dünyada kullanımı yeni yaygınlaşmaya başlayan fakat ülkemizde henüz seri imalatına başlanmamış bu dalga formu parmak frezeler hakkında yapılmış araştırmaların ve

özellikle işleme performansları üzerine yapılmış deneysel çalışmalar çok sınırlı olması çalışma konusunun önemini ortaya koymaktadır. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen verilerin, bu konuda araştırma yapan araştırmacılara ve firmalara farklı bir yaklaşım sunması ayrıca amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Frezeleme, çok farklı şekilleri oluşturabilme ve yüksek üretim hızlarına ulaşabilme özelliklerinden dolayı en geniş ve yoğun kullanıma sahip talaşlı imalat operasyonlarından biridir. Frezelemenin kesintili bir işleme operasyonu olması sebebiyle parmak frezenin her devrinde kesici ağızı oluşturan dişler iş parçasına girer, bir süre talaş kaldırır ve iş parçası malzemesini terk eder. Bu kesintili kesme işlemi sürecinde dişlerin her devrinde bir çarpma kuvveti ve ısı şok çevrimi meydana getirir. Takım geometrisi bu koşullara dayanacak tarzda tasarlanmalı ve takım malzemesi buna uygun olarak seçilmelidir. Parmak freze üzerinde kesme performansına etki eden birçok geometrik unsur bulunmaktadır. Bu geometrik unsurların en önemlilerinden birisi de talaş açısıdır. Bu açı pozitif veya negatif olabilir.

Dalga forma sahip parmak frezeler hakkında yapılan literatür araştırmasında çok sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Takım geometrisi ile ilgili olarak, farklı helis açılı takım tasarımlarının ve farklı geometrilere sahip kaba talaş takımlarının işleme performansları ve kesme kararlılıklarının araştırıldığı çalışmalar mevcuttur. Dalga form ile ilgili çalışmalarda, talaş açısı sabit ve yalnızca helis açısının değiştiği dalga formlu parmak frezeler kullanılmıştır. Okafor ve Sultan [3,4] yaptıkları çalışmalarda, altı kesici ağızlı değişken helis açılı ve helisel kenarda dalga formu olan bir parmak frezenin dalga formunun matematiksel modelini oluşturup nümerik olarak analiz etmişlerdir. Bu analizlerin sonuçlarını, standart emülsiyon kesme sıvıları ve MQL uygulamaları ile farklı kesme hızlarında yaptıkları deneysel çalışmalardan elde ettikleri sonuçlar (özellikle kesme kuvvetleri) ile kıyaslamışlardır. Bununla birlikte, dalgalı formun karakteristiğini belirleyen dalga boyu ve genliğinin ve helis açısının kesme kuvvetlerine etkisini de incelemişlerdir. Deneysel çalışmalarda işlenebilirliği zor olan Inconel 718 malzemesini kullanmışlardır [3,4]. Domboravi ve Stepan [5,6] yaptıkları çalışmalarda dört kesici ağızlı değişken helis açısına sahip dalga formlu parmak frezeler için genel bir mekanik model oluşturmuşlardır. Sonrasında ise standart takımlar ile dalga formlu takımların, düşük ve yüksek kesme hızları altında çalışma kararlılıklarını kıyaslamışlardır [5,6]. Korovin, G.I. vd. [7] yaptıkları çalışmada, dört kesici ağızlı değişken helis açısına sahip dalga formlu kesici takım ve standart takımlar ile Titanyum (Ti-10V2Fe3Al) alaşımını işleyerek kesme kuvvetlerini, pekleşmeden kaynaklanan yüzey sertleşme değişimlerini ve takım aşınma miktarlarını deneysel olarak kıyaslamışlardır. Bunlara ek olarak altı kesici ağızlı dalga formlu bir takım ile işleme yaparak

talaş tiplerini de incelemişlerdir. Song, Ai vd. [8] farklı kesici ağız açılarına ve farklı helis açılarına sahip parmak frezelerin, kesme kuvvetlerine ve kesme kararlılığına etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Wan, Feng vd. [9] ise yaptıkları çalışmada farklı helis açılarında parmak frezeleri modellemişler ve helis açısının değişiminin kesme kuvvetlerine etkisini deneysel olarak araştırmışlardır.

Endüstride, dalgalı formda parmak freze üreten firmalar araştırıldığında bu formlarda kesici takımların üretiminin henüz çok az sayıda firma tarafından üretildiği ve bu firmaların da kataloglarında çok sınırlı sayıda dalga formlu parmak freze modellerinin olduğu görülmektedir. Bu firmalar; WNT Ceratizit Group, WIDIA Products Group, Niagara Cutter, Minicut International Inc. ve TaeguTec Ltd. olarak örneklenebilir. Firmalar, bu formdaki kesici takımların özelliklerinden bahsederlerken, titreşimin azaltılıp yüzey kalitesinin artırıldığına, kesme kuvvetlerinin azaltıldığına ve daha iyi talaş tahliyesi sağladığına dair beyanlarda bulunmaktadır. Ayrıca demir dışı metal, titanyum alaşımları ve paslanmaz çelik gruplarının işlenmesinde dalgalı formu takımların standart parmak frezelere göre daha iyi performansa sahip olduğunu belirtmektedirler.

Bu çalışmada; kesici takımlarda talaş açısının kesme performansı üzerindeki yüksek etkisi de dikkate alınarak, dalgalı formun kesici kenar boyunca değişken helis açısı/değişken talaş açısı kombinasyonu ile uygulanması amaçlanmıştır. Bu amaçla; standart parmak frezelerdeki helisel kesici kenar üzerinde sabit talaş açılı bir tasarımın yerine -2 ila +10 derece arasında değişen talaş açısına sahip dalga formlu bir parmak frezenin işleme performansı, standart parmak frezenin performansı ile karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir. Dalga formu ve bu formla elde edilen değişken helis ve talaş açısı ile kesme kuvvetlerinin ve yüzey kalitesinin azaldığı, kesici kenar mukavemetinin ve takım ömrünün arttığı gözlemlenmiştir. Bunlara ek olarak, kesme sırasında takım kesici kenar yüzeyinin farklı bölgelerindeki farklı talaş açıları ile kısa talaş oluşumu sağlanarak talaşın daha kolay bir şekilde tahliye edilmesi ve takım geometrisi ile talaşlı imalatla uzun kesme boyu/düşük kesit alanı çerçevesinde karşılaşılan zorluklarından biri olan titreşim sorununa çözüm bulunması hedeflenmiştir. Standart ve dalga formlu parmak frezelerin performansları, TS ISO 8688-2 standardı çerçevesinde, C45 (AISI 1045) çelik ve GG25 dökme demir referans malzemeler kullanılarak deneysel olarak kıyaslanmıştır.

3. KURAMSAL TEMELLER

3.1. Talaşlı İmalat

Talaş kaldırma işlemi istenen geometri, tolerans ve yüzey kalitesine sahip parça üretimi için yüzeyden malzeme (talaş) kaldırarak gerçekleştirilen bir imalat yöntemidir. [10]. Talaş kaldırma işleminin amacı parçalara sadece bir şekil vermek değil, bunları geometrik, boyut ve yüzey bakımından imalat resminde gösterilen belirli bir doğruluk derecesine göre imal etmektir. Buna “işleme kalitesi” denir. Parçanın geometrik, boyut ve yüzey doğruluğunu kapsayan işleme kalitesi, günümüzde talaş kaldırma işleminin en önemli özelliğidir. Kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme, paso derinliği) ve takım geometrisi (açılar ve radyüsler) bağımsız girdi değişkenlerdir. Kesme kuvveti ve gücü ve yüzey kalitesi bağımlı değişkenlerden bazıları olarak değerlendirilir [11].

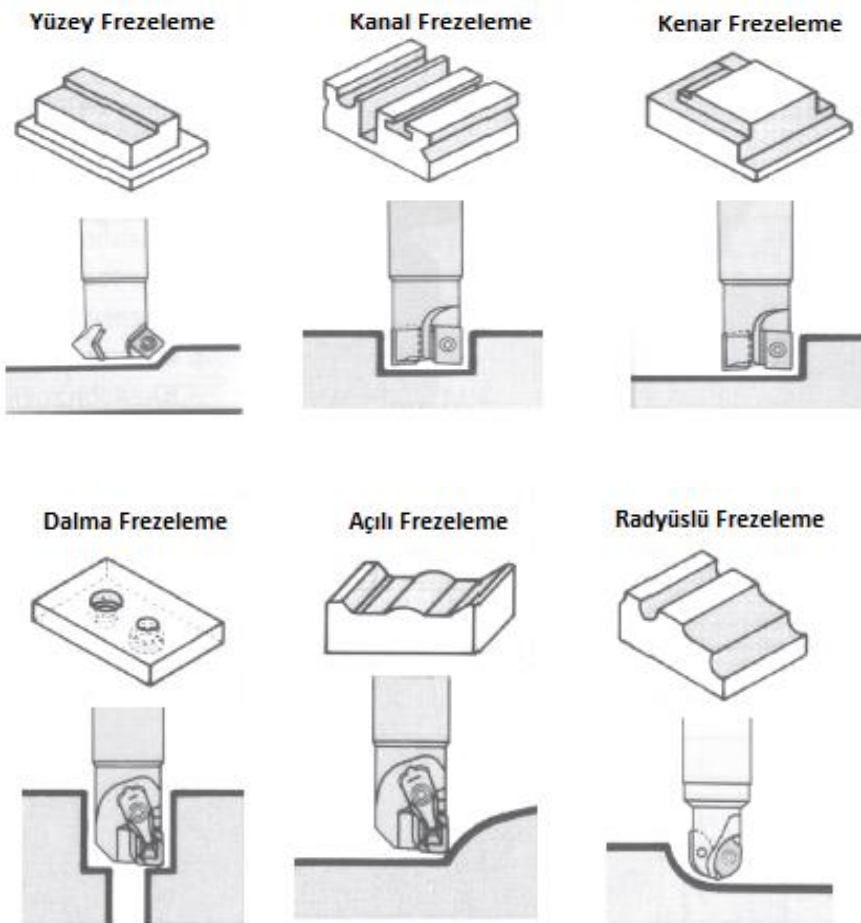
Metallerin talaş kaldırarak işlenmesi temel bir imalat metodu olup makine imalat endüstrisinde en yaygın olarak kullanılan metal biçimlendirme işlemidir. Bir makine parçasının imalatının başlangıcı döküm olduğu gibi sonu da genellikle talaşlı işlemdir. Talaşlı imalat, işleme şekli bakımından çok çeşitlidir. Bununla birlikte istenilen yüzey kalitesi ve boyut hassasiyetini tek bir talaşlı imalat yöntemiyle veya işlemiyle elde etmek mümkün değildir. En yaygın metal kesme işlemleri tornalama, frezeleme ve delme işlemleridir. Bununla birlikte, tüm metal kesme işlemleri aynı mekanik ilkelerini paylaşır, ancak geometrileri ve kinematiği birbirinden farklı olabilir.

3.2. Frezeleme Mekaniği

Frezeleme işlemi, bir veya daha fazla dişi olan bir kesici kullanarak aralıklı bir kesme işlemidir. Dönen bir spindle içerisinde bir freze takımı tutulurken, tablaya sabitlenen iş parçası frezeye doğru doğrusal olarak hareket ettirilir. Şekil 3.1’de basit bir yüzey frezeleme işlemi ve uçlu frezeler gösterilmiştir. İş parçası geometrisine bağlı olarak, farklı freze takımları ve tezgâhları kullanılır. Çeşitli frezeleme işlemleri Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



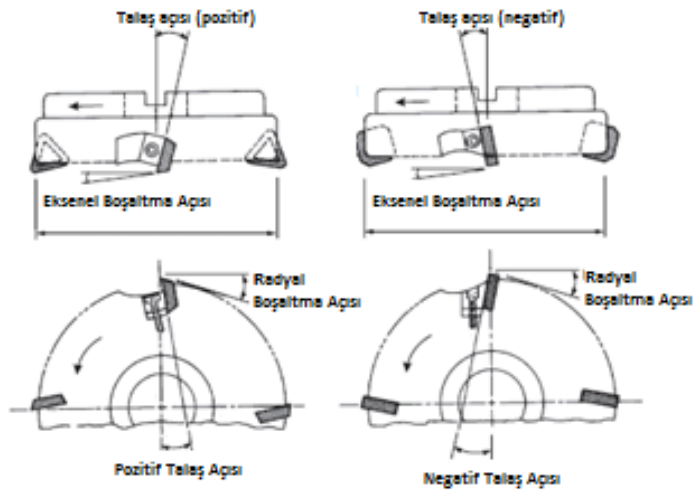
Şekil 3.1. Takma uçlu freze



Şekil 3.2. Frezeleme işlemleri

Frezeleme işleminin mekaniği, basit bir yüzey frezeleme işlemi ile ortaya konulur. Diğer frezeleme işlemlerinin mekaniği ise yüzey frezeleme işleminin mekaniğinin geometrik genişletilmesi ile modellenir.

Frezeleme işlemi için standart bir takım geometrisi Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Çift-Negatif takımlar kaba yüzey frezeleme işlemlerinde darbelere karşı dayanıklıdır. Rijit ve yüksek güçlü frezeleme tezgâhları bu tür negatif takımlarla yapılan kaba işlemler için uygundur. Negatif – pozitif takımlar iyi yüzey kalitesi sağlar ve iş parçasından talaşın kaldırılmasında da verimlidir.

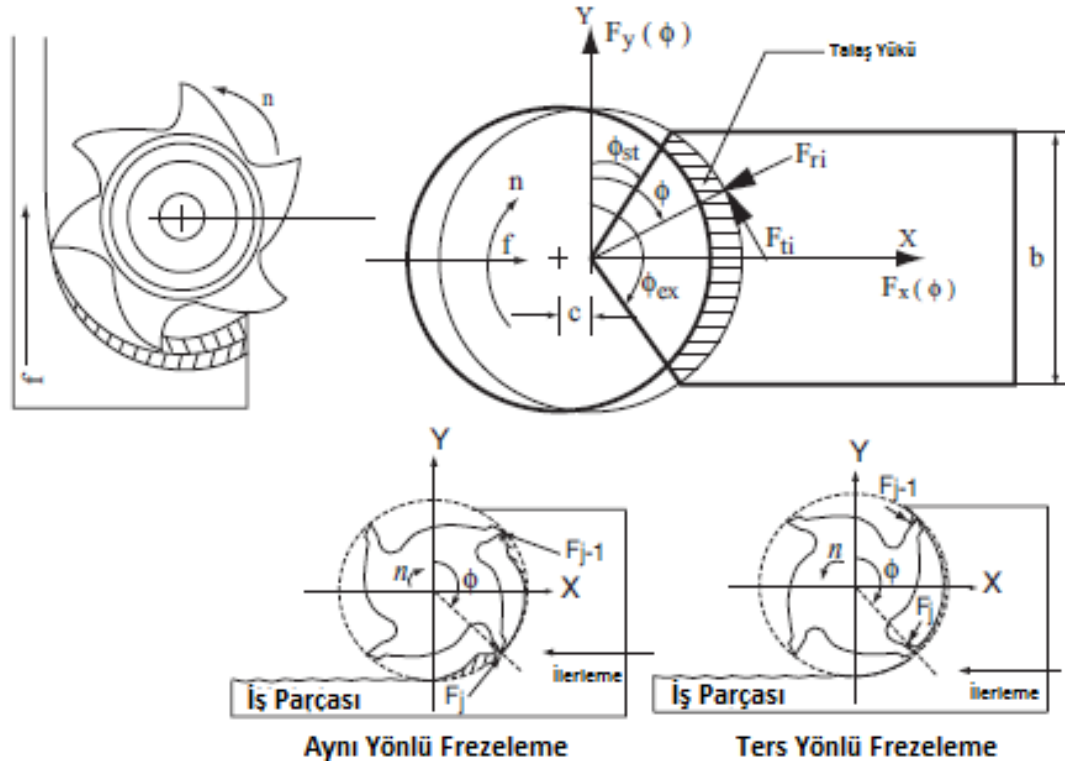


Şekil 3.3. Standart takma uç geometrisi

Pratikte kullanılan üç farklı tip frezeleme işlemi vardır;

- Yüzey frezeleme işlemi; freze takımının giriş ve çıkış açıları iş parçasına göre sıfırdır.
- Ters yönlü frezeleme işlemi; iş parçasına göre freze giriş açısı sıfır fakat çıkış açısı sıfırdan farklıdır.
- Aynı yönlü frezeleme işlemi; iş parçasına göre freze giriş açısı sıfırdan farklı fakat çıkış açısı sıfırdır.

Aynı yönlü ve ters yönlü frezeleme işlemleri aynı zamanda çevresel veya uç frezeleme işlemleri olarak ta bahsedilir. Frezelemedeki talaş oluşumunun geometrisi Şekil 3.4’te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Talaş oluşumu

Tornalama işleminin aksine, frezelemede ani talaş kalınlığı (h) zamana göre değişen batmanın bir fonksiyonu olarak periyodik olarak değişir. Talaş kalınlığı değişimi aşağıdaki gibi formüle edilebilir;

$$h(\phi) = c \sin(\phi) \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte;

C : İlerleme oranı (mm/rev-tooth)

ϕ : Anlık batma açısı ($^\circ$)

Teğetsel ($F_t(\phi)$), radyal ($F_r(\phi)$) ve eksenel ($F_a(\phi)$) kesme kuvvetleri, kesilmemiş talaş alanı ($a.h(\phi)$) ve kenar temas uzunluğunun (a) bir fonksiyonu olarak ifade edilir:

$$F_t(\phi) = K_{tc}ah(\phi) + K_{tea} \quad (3.2)$$

$$F_r(\phi) = K_{rc}ah(\phi) + K_{rea} \quad (3.3)$$

$$F_a(\phi) = K_{ac}ah(\phi) + K_{aea} \quad (3.4)$$

Freze takımının köşe radyüsü ve yanaşma açısı sıfır kabul edilirse, kesme kuvvetinin eksenel bileşenleri de sıfır olur ($F_a=0$). Kesici kenara etki eden kesme kuvvetlerinin ilerleme, normal ve eksenel bileşenleri resim 3.4’da gösterilen denge diyagramlarından türetilmiştir.

$$F_x(\phi) = -F_t \cos \phi - F_r \sin \phi, \quad (3.5)$$

$$F_y(\phi) = +F_t \sin \phi - F_r \cos \phi \quad (3.6)$$

$$F_z(\phi) = +F_a. \quad (3.7)$$

Eş zamanlı olarak birden fazla kesici kenar kesme yapıyor ise her bir dişin ilerleme ve normal kuvvetlerine olan etkisi düşünülmelidir. Not edilmelidir ki, her bir diş komşu diştan adım açısının büyüklüğüne uzakta olacaktır, her bir kesme kenarı tarafından kaldırılan kesilmemiş talaş kalınlığı, frezenin anlık konumunda farklı olacaktır. İlerleme, normal ve eksenel kuvvetler aşağıdaki gibi formüle edilebilir;

$$F_x = \sum_{j=1}^N F_{xj}(\phi_j), F_y = \sum_{j=1}^N F_{yj}(\phi_j), F_z = \sum_{j=1}^N F_{zj}(\phi_j) \quad (3.8)$$

$$\phi_{st} < \phi < \phi_{ex} \quad (3.9)$$

Eğer diş J batma alanından çıkarsa, toplam kuvvetlere sıfır katkı sağlar. Frezeyle etkileyen anlık bileşke kuvvet aşağıdaki gibi verilmiştir;

$$F_c = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (3.10)$$

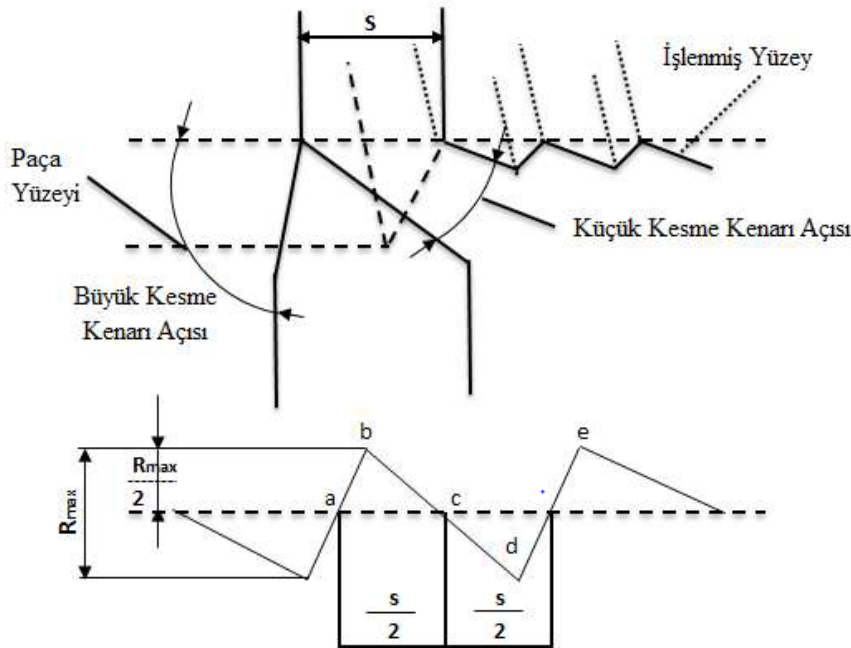
3.3. Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü yüzey kalitesini belirleyen bir parametredir. Yüzey pürüzlülüğü, ilerleme miktarı, paso derinliği, kesme hızı, devir sayısı gibi parametrelere bağlıdır. İşlenmiş parça yüzeylerinin tribolojik özellikleri, yüzey dokusundan birinci derecede etkilenmektedir. Yüzey pürüzlülüğü sadece aşınma, sürtünme ve yağlama gibi tribolojinin geleneksel konularında değil aynı zamanda sızdırmazlık, hidrodinamik, elektrik, ısı iletimi vb. farklı alanlarda da dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Bu yüzden makine parçalarında yüzey pürüzlülük değerinin tespiti oldukça önemlidir [12].

Yüzey pürüzlülüğü, kullanılan imalat metotları ile ve başka etkilerle ortaya çıkan, alışılmış tarzda genellikle başka düzensizliklerle sınırlanan oldukça küçük aralıklı yüzey düzensizlikleridir. Kesici takımdan veya üretim sürecindeki diğer problemlerden kaynaklanan yüzey düzensizlikleri pürüzlülük olarak tanımlanır. Pürüzlülük çapraz ilerleme izleri ile diğer düzensizlikleri kapsar. Talaş kaldırma işleminin amacı, parçalara sadece bir şekil vermek değil, bunları geometri, boyut ve yüzey bakımından parça resminde gösterilen belirli bir doğruluk derecesine göre imal etmektir. Buna işlem kalitesi denilmektedir. Parçanın geometri, boyut ve yüzey doğruluğunu kapsayan yüzey kalitesi, günümüzde talaş kaldırma işleminin en önemli özelliğidir [13].

3.3.1. İdeal yüzey pürüzlülüğü

İdeal yüzey pürüzlülüğü, kesici takımdaki hatalar, vurutular, kesici uçta oluşan malzeme sıvanması gibi etkenler azaltıldığında, verilen kesici biçimine ve ilerlemeye bağlı olarak mümkün olan en iyi bitirme yüzey değerini gösterir. Şekil 3.5’de görüldüğü üzere en ideal şartlar altında bulunan ideal bitirme yüzeyinin sivri uçlu kesici takım ile tornalama operasyonu için verilmiştir [14].



Şekil 3.5. M sistemine göre yüzey pürüzlülük profili

3.3.2. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden önemli faktörler

Gerçek yüzey pürüzlülüğüne etki eden önemli faktörler;

- i. Kesici takımdaki titreşimler,
- ii. Kesici takım geometrisi,
- iii. İşlenen iş parçasındaki titreşim ve salgılar,
- iv. İşleme takım hareketlerindeki bozukluklar,
- v. Kesme sırasında ilerleme miktarı,
- vi. Kesme sırasında hız miktarı,
- vii. Verilen talaş derinliği,
- viii. İlerleme mekanizmasındaki düzensizlik,
- ix. Takım ve iş parçasının elastik deformasyonu,
- x. İş parçalarındaki malzeme yapı bozuklukları,
- xi. Kesici uç üzerine talaşın yapışması,
- xii. Kesme kenarının pürüzlülüğü, birinci ve ikinci kesme kenarında oluşan izler ve aşınma,
- xiii. İşlenen malzemelerin süreksiz talaş vermesi,
- xiv. Düşük kesme hızıyla işlenen yumuşak malzeme yüzeyindeki yırtılmalar,
- xv. Talaş akışının sebep olduğu yüzey bozulması,
- xvi. İş parçasının talaş kaldırılan yüzeyinden 100 mikrometre derinlikteki fiziksel ve kimyasal özellikler şeklinde sıralanabilir [22].

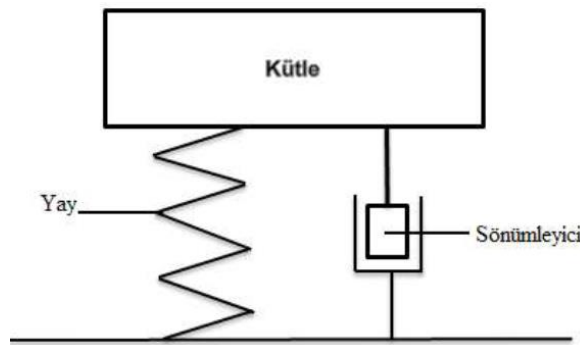
3.3.3. Milli standartlar

Yüzey pürüzlülüğü tanımlanmasında kullanılan sayısal değer ve ölçümler için değişik ülkeler çeşitli milli standartlar getirmişlerdir. Avrupa'da zarf sistemi daha çok tercih edilirken, Amerika ve İngiltere gibi ülkeler ortalama çizgi sistemini tercih etmişlerdir. Bazı ülkelerin kullanmakta olduğu simgeler Çizelge 3.1'de gösterilmektedir. Ayrıca, seçilen imalat sürecinin yüzey pürüzlülüğü aralıkları Çizelge 3.2'te gösterilmiştir[23].

3.4. Titreşim Oluşumu

Titreşim bir kütlenin referans bir pozisyon etrafında yapmış olduğu salınım hareketidir [15]. Başka bir deyişle titreşim, bir kütlenin belirli bir merkez etrafında çevrimsel hareketi olarak da ifade edilebilir. Titreşim, bir kütlenin elastik bir eleman üzerinde salınım hareketi yapmasıyla oluşur. Kütle ve elastik elemandan oluşan bu sistem, titreşim sistemi olarak adlandırılır. Basit bir titreşim sistemi Şekil 3.6’de görülmektedir. Şekil 3.6’de görülen titreşim sisteminde kütle kinetik enerjiyi, yay ise potansiyel enerjiyi depo eder.

Titreşim, potansiyel enerji ve kinetik enerji arasında enerji dönüşümü ile oluşur. Salınım sırasında sistemden enerji alarak, hareketi yavaşlatan ve sonunda durduran elemana sönümleyici denir.



Şekil 3.6. Titreşim sistemi

Titreşim hareketi periyodik ve rasgele titreşim hareketi olarak iki sınıfa ayrılabilir. Periyodik titreşim hareketi, belirli bir sürede aynen veya kısmen tekrar etme özelliğine sahip bir harekettir. Rasgele titreşim hareketi ise, zamanla tekrarlanabilme özelliğine sahip değildir. Titreşim hareketinin meydana geldiği doğrultu veya eksen sayısı serbestlik derecesi olarak adlandırılır. Uygulamada bir titreşim hareketi pek çok doğrultu veya eksende meydana gelebilir. Bu yüzden titreşim hareketi üç doğrusal eksen (x, y ve z) ve üç açısallı doğrultu (r_x , r_y ve r_z)’da ölçülür [15].

Periyodik titreşim hareketinde, hareketin tekrar süresine periyot, ve saniyede meydana gelen hareket sayısına frekans adı verilir. Matematiksel tanım ile frekans periyodun tersidir ve aşağıdaki gibi hesaplanır [16].

$$f = T^{-1} = \frac{1}{T} \quad (3.11)$$

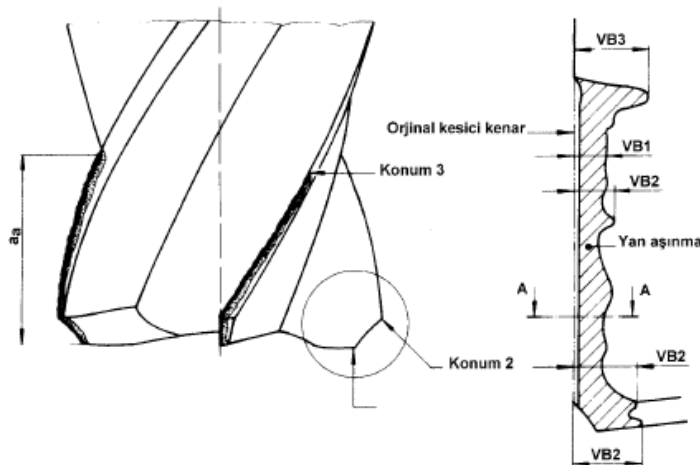
Periyodun birimi saniye, frekansın birimi Hertz'dir. Titreşim hareketi birçok doğrultu ve ekseninde meydana geldiği için, bir başka deyişle birden fazla bileşenden oluştuğu için, zaman düzleminde bir titreşim hareketini incelemek zordur. Bu yüzden titreşim ölçme ve değerlendirme uygulamalarında frekans spektrumu kullanılır. Frekans spektrumu, bir titreşimin hareketinin frekans ve titreşim niceliğine bağlı bir fonksiyon olarak gösterimidir [17].

3.5. Kesici Takım Aşınması

Talaş kaldırma esnasında kesici takımların farklı bölgeleri, birçok aşınma mekanizmasına maruz kalır ve bunun sonucu olarak kesici takımın kesici kenarı körelerek ömrü kısalır. Aşınma mekanizmalarının biri veya birden fazlasının bir araya gelmesiyle kesici takımda aşağıdaki aşınma tipleri ve hasarlar meydana gelir.

3.5.1. Serbest yüzey aşınması

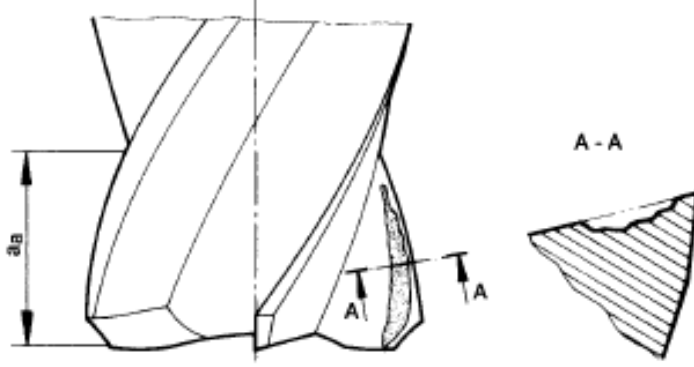
En yaygın kesici takım aşınması tipidir, ayrıca öngörülebilir ve stabil takım ömrü sağladığından en tercih edilen aşınma tipidir. Serbest yüzey aşınması, iş parçası malzemesindeki sert bileşenlerin neden olduğu aşınmaya bağlı olarak oluşur.



Şekil 3.7. Serbest yüzey aşınması

3.5.2. Krater aşınması

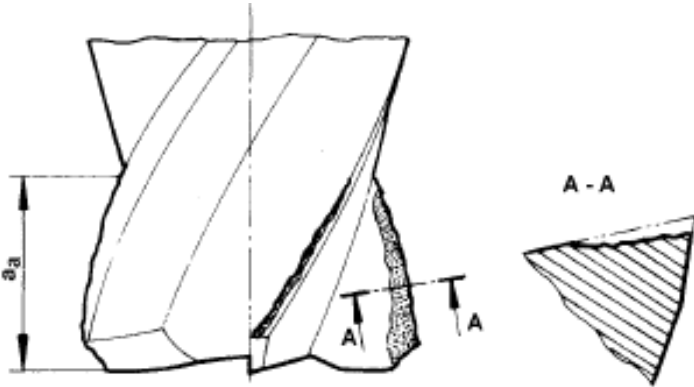
Kesici takım üzerindeki krater aşınması, kesici ucun eğimli tarafında toplanır. Bu, iş parçası malzemesi ile kesici takım arasındaki kimyasal reaksiyondan kaynaklanır ve kesme hızı tarafından büyür. Aşırı krater aşınması, kesici kenarı zayıflatır ve kırılmaya neden olabilir.



Şekil 3.8. Krater aşınması

3.5.3. Basamaklı yüz aşınması

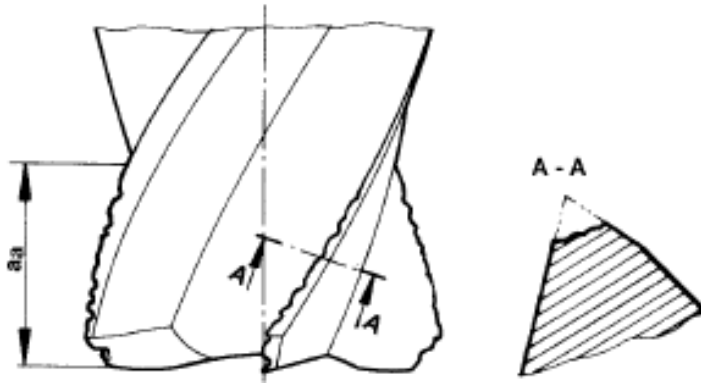
Takım yüzüne dik ölçülmüş en büyük aşınma izi derinliğinin aşınma iziyle takımın ana yanağının kesişme noktasında olduğu yüz aşınma biçimidir.



Şekil 3.9. Basamaklı yüz aşınması

3.5.4. Çentik aşınması

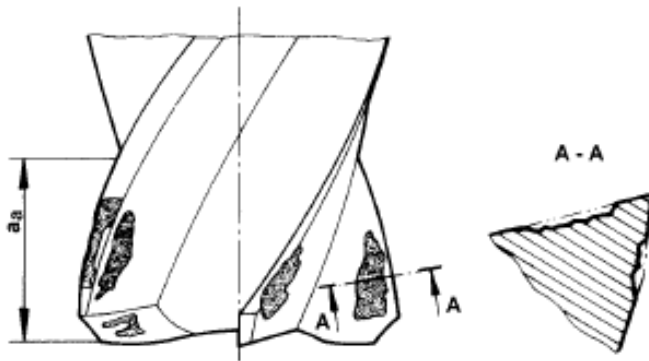
Kesici uç aşınması, kesme derinliği çizgisindeki kesici ucun hem eğimli yüzünde hem de serbest yüzeyinde aşırı derecede bölgesel hasarla belirlenir. Yapışma (talaşların basınç ile kaynaşması) ve deformasyon ile sertleşmiş bir yüzey buna neden olur. Paslanmaz çelik ve HRSA malzemeler işlenirken yaygın bir aşınma tipidir



Şekil 3.10. Çentik aşınması

3.5.5. Pullanma

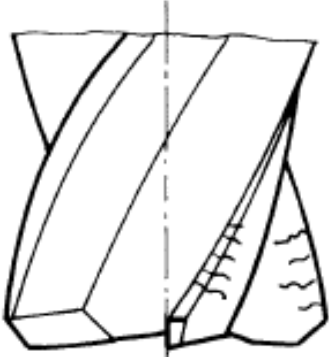
Kesici takım parçacıklarının takım yüzeylerinden pul şeklinde kopmasıdır. Bu aşınma türü genellikle kaplanmış takım uçları kullanıldığında gözlenmektedir.



Şekil 3.11. Pullanma aşınması

3.5.6. Termal çatlaklar

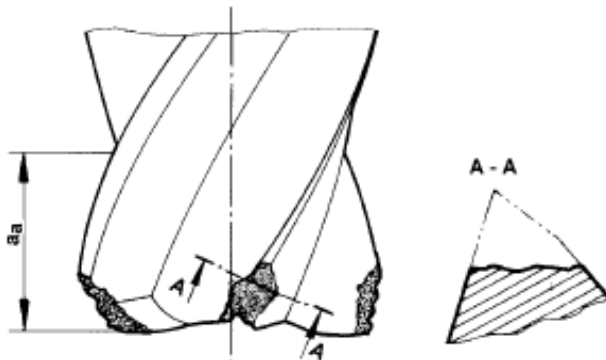
Kesme kenarındaki sıcaklık, sıcaktan soğuca hızla değiştiğinde kesici kenara dikey şekilde çoklu çatlaklar görülebilir. Termal çatlaklar, frezeleme işlemlerinde yaygın olan darbeli kesimlerle ilişkilidir ve kesme sıvısının kullanımı ile artar



Şekil 3.12. Termal çatlak aşınması

3.5.7. Tanecik kopması ve tam bozulma

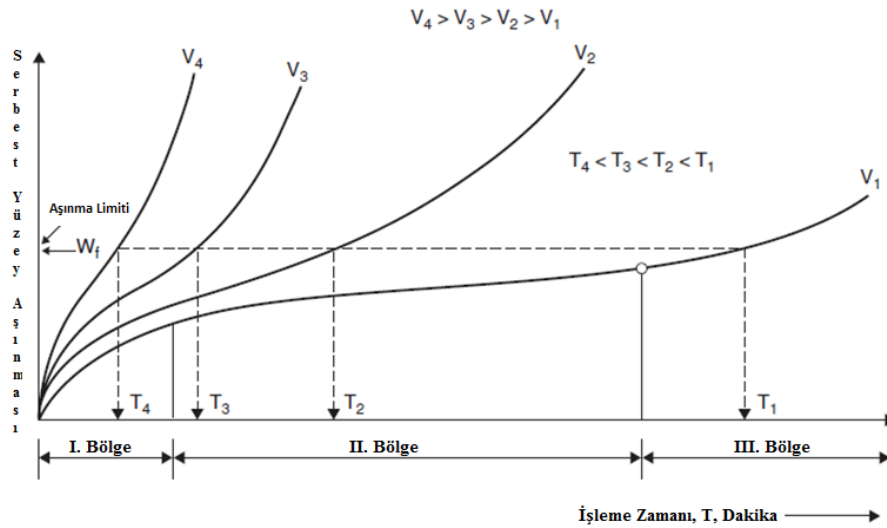
Tanecik kopması ve sonrasında tam bozulma, mekanik gerilim baskılarının aşırı yüklenmesinin bir sonucudur. Bu gerilimler, talaş çekiçlenmesi, çok yüksek olan bir kesme derinliği veya ilerleme, iş parçası malzemesindeki kum kalıntıları, talaş yığılması, titreşimler veya kesici uç üzerindeki aşırı aşınma gibi bir dizi nedene bağlı olabilir.



Şekil 3.13. Tam bozulma aşınması

3.6. Kesici Takım Ömrü

Kesici takımın ömrü serbest yüzey aşınma miktarına göre belirlenir. Serbest yüzey aşınma miktarı (V_B), birinci boşaltma açısı üzerindeki aşınan yüzeyin genişliği ile ölçülür. Takım ömrü diyagramı Şekil 3.14'te verilmiştir.



Şekil 3.14. Kesici takım ömür diyagramı

Diyagram üzerinde serbest yüzey aşınması işleme süresine göre üç bölgeye ayrılmıştır.

Kesmenin başlaması ile birlikte çok keskin olan kesici kenar aşınır. Artan işleme zamanı ile birlikte bunu yavaş yavaş artan ve neredeyse lineer bir aşınma oluşumu izler. Serbest yüzey aşınma miktarı (V_B) kritik seviyeye ulaştıktan sonra aşınma miktarı ani bir şekilde artar. Kesici takım bu kritik aşınma seviyesine (V_{Blim}) ulaşmadan önce sökülmelidir.

V_{Blim} 'e karşılık gelen işleme süresine takım ömrü denir ve ilk önce Taylor tarafından kesme koşullarının bir fonksiyonu olarak ifade edilmiştir.

$$T_t = C_t V^{-p'} c^{-q'} \quad (3.12)$$

T_t [min] = Takım Ömrü

V [m/min] = Kesme Hızı

c [mm/rev] = İlerleme Hızı

C_t , p' , ve q' Takım – İş paçası ikilisi için verilmiş sabitlerdir.

4. MATERİYAL VE METOT

4.1. Kesici Takım Malzemesi

Talaşlı imalat işlemi esnasında yüksek sıcaklık ve gerilmeler nedeniyle kesici takımların etkin bir şekilde uzun süre kesme işlemi yapabilmesi için kesici takım malzemeleri aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır:

- Yüksek sertlik ve sıcak sertlik,
- Yüksek tokluk,
- İş parçasına karşı kimyasal olarak asallık,
- Oksidasyon ve kimyasal olarak çözünmeye (dissolution) karşı kararlılık,
- Isıl şoklara karşı direnç [24]

Çalışma kapsamında kesici takım malzemesi olarak seçilen Sementit karbür kesici takımlar ilk olarak tungsten karbür (WC) ve kobalt (Co) parçacıklarından toz metalürjisi yöntemleriyle üretilmişlerdir. Sert WC parçacıklarından dolayı dökme demir ve çelik dışı metallerin işlenmesinde yüksek hız çeliğinden daha yüksek kesme hızlarında etkin bir şekilde kullanılmıştır. Çalışmada kesici takım malzemesi olarak kullanılan Sementit karbürün genel özellikleri aşağıdaki gibidir;

- Yüksek basma dayanımı, düşük veya orta seviyede çekme dayanımı,
- Yüksek sertlik (90-95 HRA),
- Yüksek sıcak sertlik,
- İyi aşınma direnci,
- Yüksel ısı iletkenlik,
- Yüksek elastikiyet modülü,
- Yüksek hız çeliğinden düşük tokluk [20]

4.2. Kesici Takım Kaplamaları

PVD kaplamalar, tüm yekpare parmak frezeleri ve matkapları, ayrıca kanal açma, diş çekme ve frezeleme kalitelerinin büyük bir çoğunluğunu kapsar. Kesici takımlara PVD kaplama uygulanarak, yüksek yüzey sertliği, yüksek aşınma direnci, düşük yüzey sürtünme katsayısı

ve yüksek sıcaklıklarda oksidasyon ve erozyona dayanıklılık hedeflenmektedir. Tüm bu beklentileri aynı anda en üst düzeyde karşılayan tek çeşit kaplama mevcut değildir. Bu nedenle kesici takımın kullanıldığı tezgâh özellikleri, kesme parametreleri, kesici takım türü, kullanılan iş parçasının özellikleri, talaş kaldırma sırasında kullanılan soğutma-yaglama koşulları ve kesici takımın baskın aşınma karakteristiği incelenmeli ve bu bulgular doğrultusunda hangi kaplama çeşidinin daha uygun olacağı belirlenmelidir. Çalışmada kullanılan kesici takımlara aşağıdaki kaplama tipi uygulanmıştır.

PVD - TiCrN

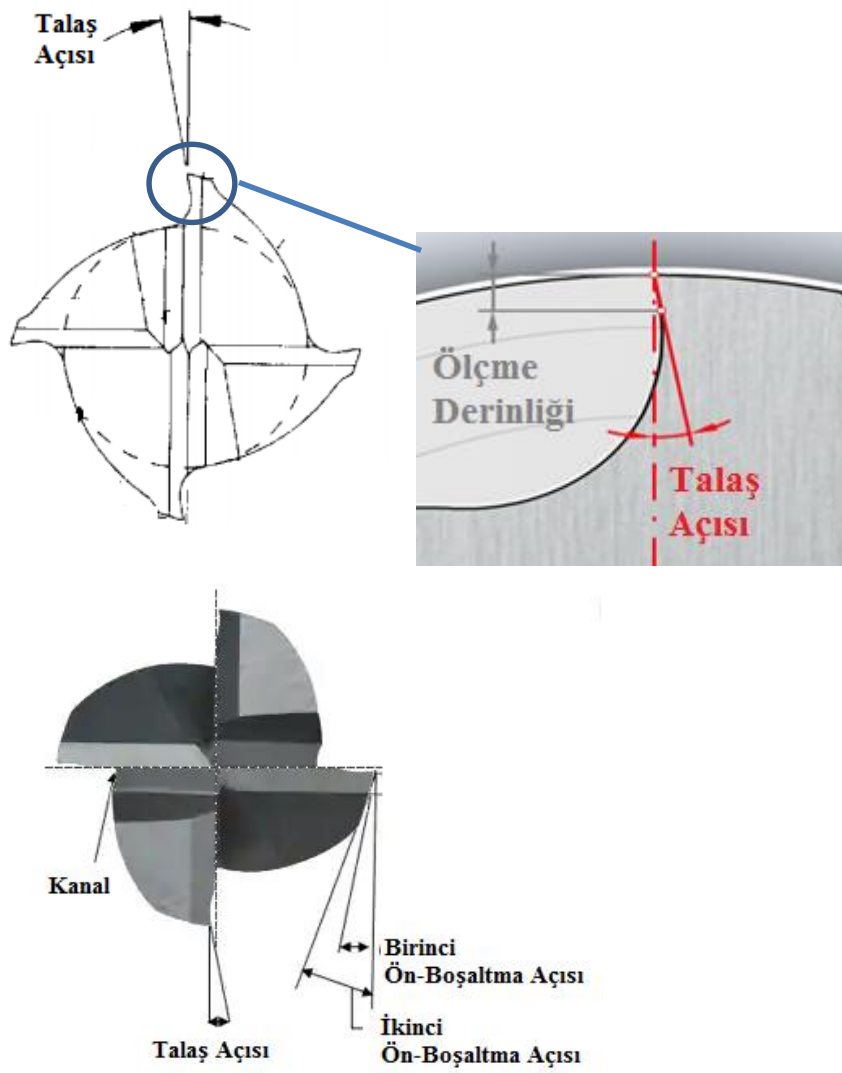
Orta hızdan yüksek hızlara kadar frezeleme, matkap ve dişli azdırma operasyonlarında kuru veya soğutma sıvılı işleme operasyonlarında 1050 °C sıcaklığa kadar kullanılabilen en geniş kapsamlı kaplamadır. Kaplamanın çok yönlü niteliği onu düşükten yüksek mukavemete kadar çelikler, dökme demirler, takım çelikleri, paslanmaz çelikler, titanyum ve nikel alaşımları gibi geniş bir yelpazedeki malzemelerde kullanılabilir hale getirmiştir. Kaplamanın aşınma ve yüzey bozulma direnci yüksek olduğundan, işlenen parçanın yüzey kalitesi takım ömrü süresince sıra dışı bir şekilde mükemmel olmaktadır [25].

4.3. Kesici Takım Geometrisi

Parmak freze üzerinde kesme performansına etki eden birçok geometrik unsur bulunmaktadır. Bu geometrilerin en önemlileri aşağıda gösterilmiştir.

4.3.1. Talaş açısı

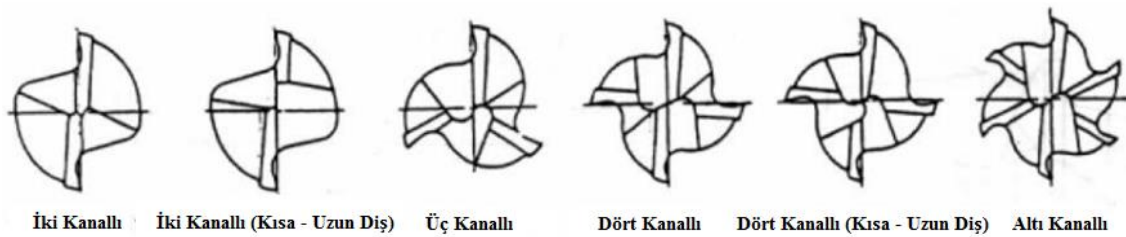
Şüphesiz ki tüm bu geometrilerin en önemlisi “Talaş Açısı (Rake Angle)” dır. Talaş açısı talaş kesen açığa verilen isimdir ve iş parçası yüzeyine çizilen dikeyle, talaş yüzeyi arasındaki açıdır. Pozitif veya negatif olabilir. Talaş kaldırma işlemini etkileyen en önemli geometrik faktördür. Talaş açısının kanal içerisindeki mesafesine ölçme derinliği denir. Ölçme derinliği boyunca kesme açısı mevcuttur. Sonrasında resimde de görüldüğü gibi kanal içi ovalik (kanal formu) başlayacaktır.



Şekil 4.1. Talaş açısı

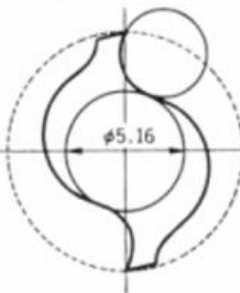
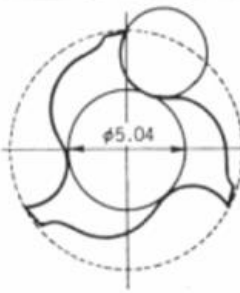
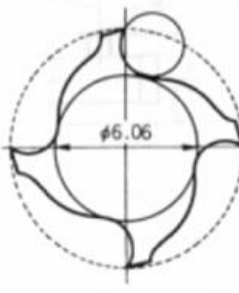
4.3.2. Diş sayısı

Parmak frezeler, 2-3-4-5-6-8.. adet kesici kenara sahip olabilirler. Ayrıca kesici kenarın kısa veya uzun olmasına göre kesici kenar geometrisi değişiklik gösterebilir.



Şekil 4.2. Diş sayısına göre freze ön geometrileri

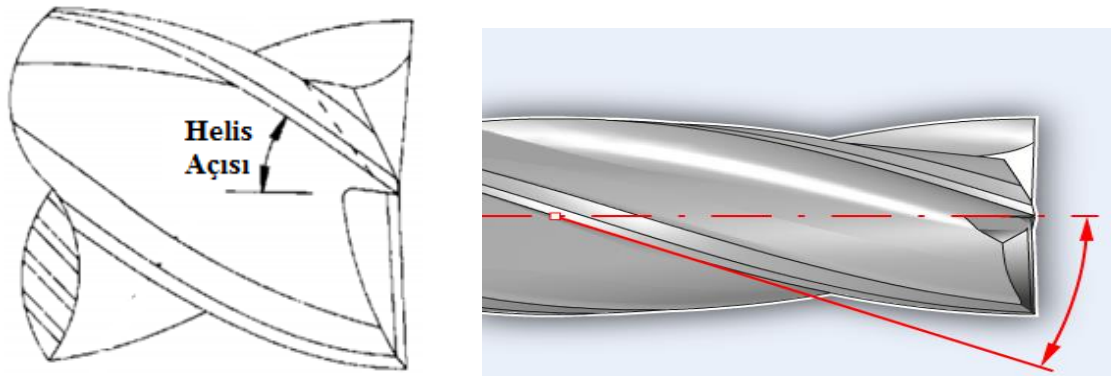
Aşağıda çapı 10mm olan bir parmak frezenin diş sayılarına göre kesit alanları gösterilmiştir. Kesici kenar sayısının artması daha çok yüzey kalitesini iyileştirmeye yönelik olmasının yanında diş sayısının artması, parmak frezenin kesit alanının artmasına dolayısıyla rijitliğinin artmasına da sebep olmaktadır. Fakat diş sayısı arttıkça kanal geometrisi ve talaş boşluk alanı küçülmekte ve talaşın parmak frezeden uzaklaştırılması zorlaşmaktadır.

	Ø 10mm İki Kanallı	Ø 10mm Üç Kanallı	Ø 10mm Dört Kanallı
Çekirdek Çap ve Talaş Kesit Alanı			
Takım Kesit Alanı	41 mm ²	44 mm ²	48 mm ²
Takım Kesit Alan Oranı	52%	56%	61%

Şekil 4.3. Diş sayısı ile kesit alan arasındaki ilişki

4.3.3. Kesme yönü ve helis açısı

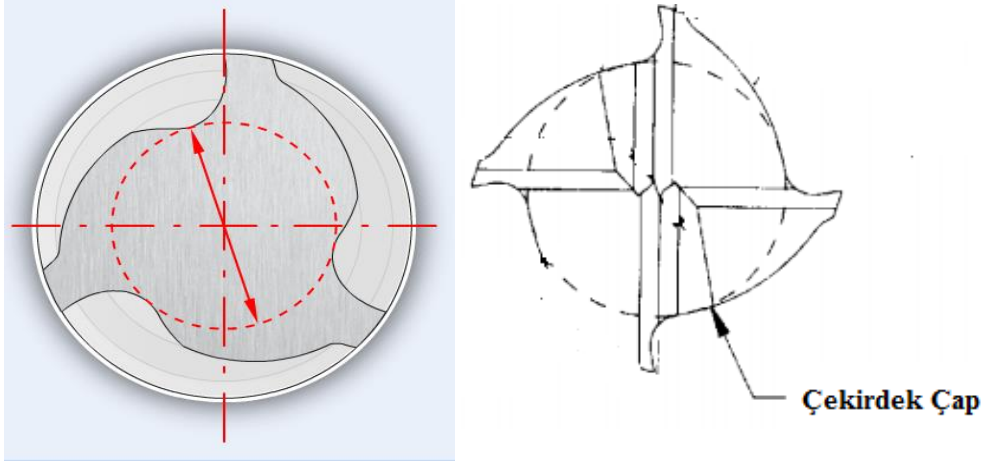
Standart parmak frezeler ve matkaplar sağ heliselidir. Bunun anlamı helisin sağ yönde, kesme yapması için de sağ dönüş yönüne sahip olması gerektiğidir. Helis açısı kanalın arkaya doğru yöneldiği açıdır.



Şekil 4.4. Helis açısı

4.3.4. Çekirdek çap

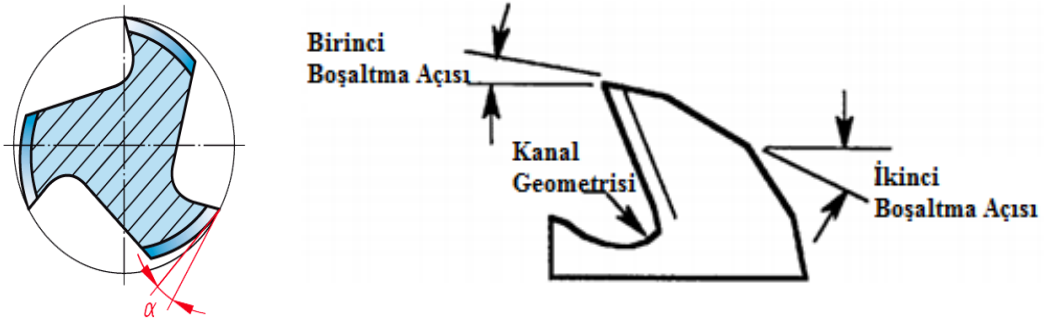
Parmak frezenin kanal geometrisi oluşturulduktan sonra işlenmemiş olarak kalan iç çaptır.



Şekil 4.5. Çekirdek çap

4.3.5. Boşaltma açısı

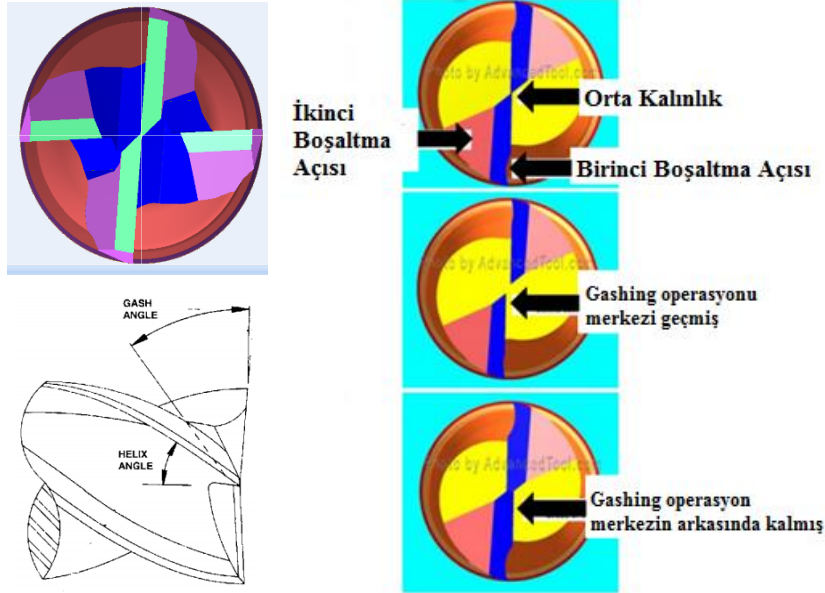
İkincil deformasyon bölgesinde gösterilen kesici takım ile iş parçası arasında kalan açıdır.



Şekil 4.6. Boşaltma açısı

4.3.6. Gash operasyonu ve gashing açısı

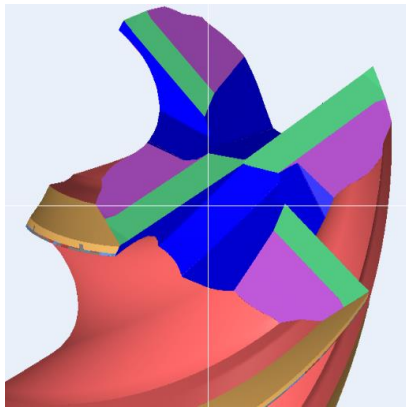
Kesici takımın ön formunu oluşturmak için yapılan operasyondur. Gashing operasyonunun fazla veya az olması takımın orta kalınlığının değişmesine sebep olmaktadır.



Şekil 4.7. Gashing geometrisi

4.3.7. Ön kesme açıları

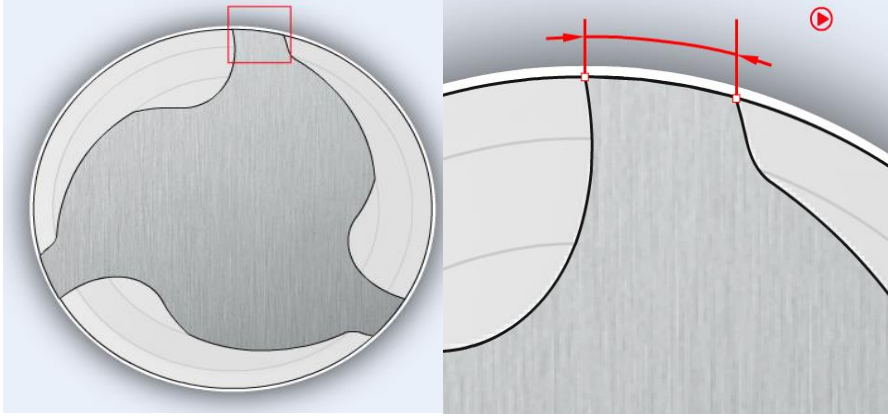
Ön kesme açıları, takımın ön kısmında bulunan boşaltma açılarıdır. Genellikle frezele takımlarında 2 adet bulunur. Aşağıdaki resimde mor ve yeşil renkte gösterilen kısımlar ön kesme açılarını göstermektedir.



Resim 4.1. Ön kesme açıları

4.3.8. Sırt genişliği

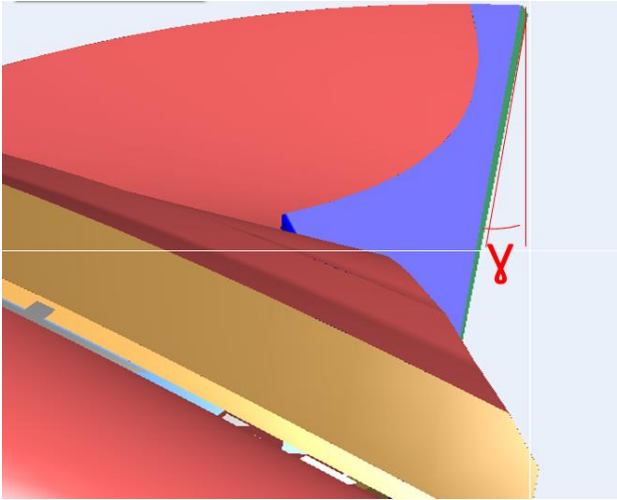
Boşaltma açılarının toplam kalınlığına sırt genişliği adı verilir.



Şekil 4.8. Sırt genişliği

4.3.9. Çanak açısı

Ön kesme kenarının eksene olan açısıdır. Parmak frezenin ön bölgesinin iş parçasına sürtmesini engeller.



Şekil 4.9. Çanak açısı

4.4. Kesici Takım İmalatı

Kesici takımlar, bir takım tezgâhına tespit edilerek endüstriyel bir ürüne şekil veren aletlerdir. Bu şekil verme işlemi genellikle malzemeden talaş kaldırılarak meydana gelmektedir. Değişik makine ve makine parçalarının imalatını sağlamak için kullanılan kesici takımın, talaş kaldırma esnasında oluşan yüksek zorlamaları karşılaması zorunludur. En uygun kesici takım malzemesi (kalite) ve kesici geometri ile işlenecek iş parçası malzemesini eşleştirmek, sorunsuz ve verimli bir işleme prosesi için önemlidir. Kesme değerleri, takım yolu, vb. gibi diğer parametreler de başarılı bir sonuç için çok önemlidir. Ticari olarak bugün mevcut takım malzemelerinin değişik uygulamalarındaki performansları; takım ömrüne, talaş kaldırma miktarına, yüzey hassasiyetine ve takım maliyetine bağlı olarak değişmektedir.

4.4.1. Çubukların hazırlanması

En yaygın yekpare kesici takım malzemesi olan WC-Co çubuklar Co bağlayıcı içeriğine, karbür bileşimine ve karbür tane boyutuna bağlı olarak mekanik özellikleri değişmektedir. Kesici takım firmaları takımın çalışacağı operasyona, iş parçası malzemesine ve kullanılan bağlama yöntemine göre çubuk kalitesini seçmektedir. Firmalar çubuk birim maliyetlerinin ve stok maliyetlerinin ucuz olması için 330mm boyunda karbür çubuklar satın almayı tercih etmektedir. Satın alınan uzun boy çubuklar teknik resim boy ölçülerine göre çubuk kesme makinalarında istenilen boyda getirilmektedir.



Resim 4.2. Çubuk kesme makinesi

4.4.2. Taş setlerinin hazırlanması

Elmas doğada bulunan en sert doğal maddedir. Kristal yapı içerisinde saf karbon atomlarından oluşmaktadır. Taşlama takımlarında kullanılan elmaslar, yüksek basınç ve sıcaklık altında sentetik olarak üretilirler. Aşındırıcıların özellikleri takımların kullanılacağı uygulamaya göre optimize edilebilir.

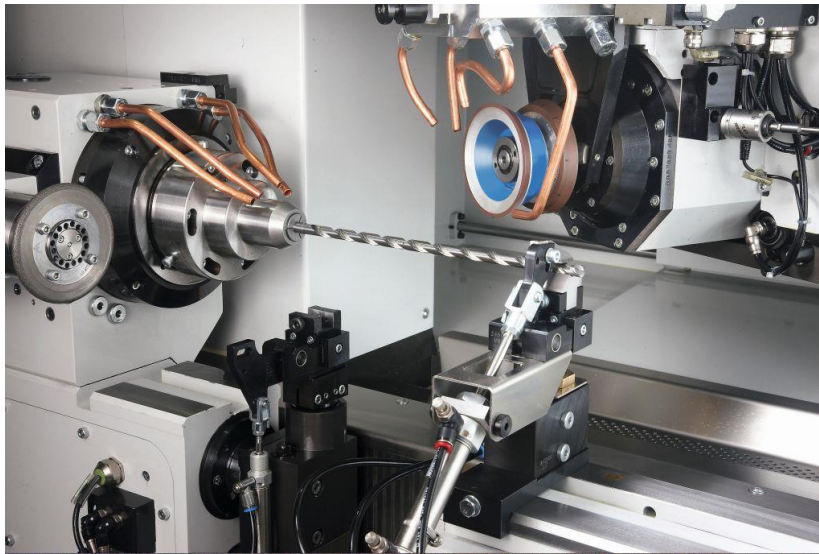
Elmas ve CBN takımları, alüminyum oksit veya silikon karbür gibi geleneksel aşındırıcıların yetersiz kaldığı malzemelerin işlenmesi için kullanılmaktadır. Reçine bağlı elmas ve CBN takımların aşındırıcı kaplaması, aşındırıcı tane, bağ ve dolgu maddesinden oluşmaktadır. Bağ çok yoğun sıkılaştırıldığı için gözenek bulunmamaktadır. Metal bağ reçine bağa sıkıca bağlantılıdır. Reçine bağ ile kıyaslandığında yüksek tane tutma kuvveti ve boyutsal kararlılığa sahiptir

Reçine bağ:

- Reçine bağın karakteristik yapısı uygulamaya göre adapte edilebilir
- Kolay düzeltme imkânı

Metal bağ:

- Yüksek boyutsal kararlılık ve aşınma direnci



Resim 4.3. Elmas emdirilmiş taşlar

4.4.3. Ön kalite kontrol

Bir kalite kontrol sisteminin temel gayesi, üretimde kalitesizliği önlemektir. Çünkü işletme geri alamayacağı bir gidere yol açması sebebiyle kalitesiz ürünler elde etmek gayesi için kurulmamıştır. İşletme bu konuda hiçbir tedbir almaz ve bozuk ürünleri piyasaya sürerse itibar kaybı ve satışların azalması sebebiyle bir kayıpla karşılaşır.

Kalite kontrolün amacı, tüketici isteklerinin ve işletmenin genel gayesini birlikte muhtemel en ekonomik seviyede karşılayabilecek ürünün üretilmesini sağlayacak plan ve programların geliştirilerek uygulanması ve etkin bir şekilde yürütülmesini sağlamaktır.

Bu nedenle istenilen boylarda kesilen karbür çubuklar, üretimde kullanılmadan önce manuel komprator yardımı ile salgı kontrolünden geçer. 20 Mikronun üzerinde salgısı olan karbür çubuklar ıskartaya ayrılır.



Resim 4.4. Salgı ölçme aleti

4.4.4. CNC işleme

İnsan iş gücü gereksinimini azaltmak ve fabrikasyona geçebilmek için CNC (Computer Numerical Control) kontrollü tezgâhlar tasarlanmıştır.

CNC takım tezgahları magazinde bulunan ilgili taş setini seçip karbür çubuğu işlemeye başlaması için CNC simülasyon ya da imalat programlarını kullanmak gerekmektedir. Bu programlarda üretilmek istenen kesici takımın nihai formu tasarlanır ve bilgisayar ortamında üretimin gerçekleştirileceği tezgâh seçilerek tasarım test edilir. Test sonucu olumlu ise doğru işlemler tamamlandıktan sonra "NC" dosyası olarak kaydedilir. NC dosyası, CNC tezgahına bir harici bellek veya sunucu bağlantısı yardımıyla aktarılır ve takım tezgahı referans noktasına çekilerek sıfırlama işlemini yaptıktan sonra üretim başlar.



Resim 4.5. Reinecker WZS70 CNC Tezgahı

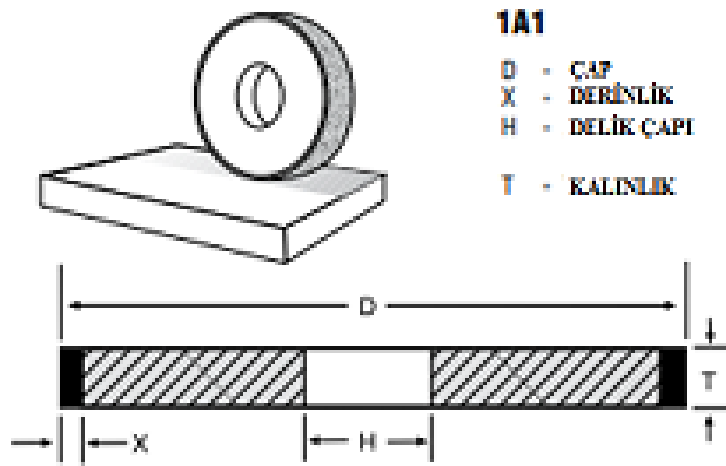
Kanal açma

Kesici takım üretimin ilk adımı kanal geometrisinin oluşturulması ile başlar. Kanal açma operasyonu, karbür çubuktan en çok malzeme kaldırılan ve yüksek spindle gücü ile yüksek ısının olduğu bir operasyon olması sebebiyle kesici takım üretim aşamalarının en önemlisi ve en zor olanıdır.

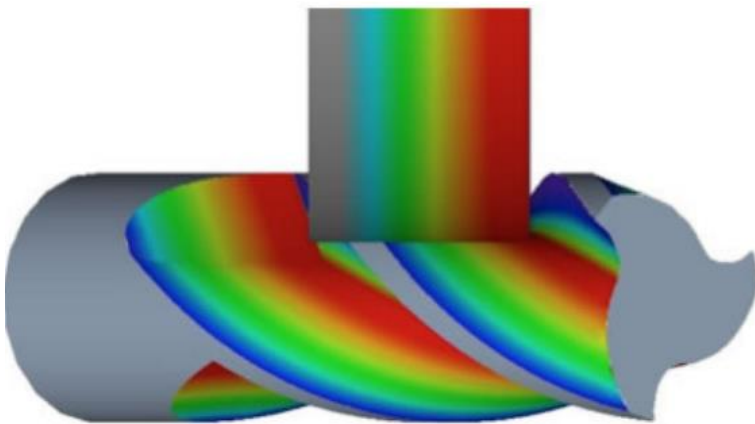
Kanal açma operasyonu kesici takım operasyonları arasında en uzun sürenidir. Toplam takım üretim süresinin %30'u ile %40'ı arası kanal açma operasyonu için ayrılır. Operasyon

süresinin uzun olması kesici takım maliyetlerini arttıracığından dolayı tüm üreticiler kanal açma operasyonlarının daha hızlı yapılması konusunda araştırmalar yapmaktadır.

Özellikle kaba kanal açma operasyonunda kesme parametreleri yüksek tutularak işlem süresinin kısaltılması amaçlanır. Fakat unutulmamalıdır ki yüksek kesme kuvvetleri beraberinde yüksek ısının oluşumunu da getirir. Üretim sırasında oluşan ısı kontrol edilemez ise karbür çubuklar ısının etkisiyle daha da kırılganlaşır ve en ufak bir darbe anında kırılırlar. Bunun önüne geçmek için kanal açma işlemlerinde kullanılan elmas emdirilmiş taşlar doğru seçilmeli ve soğutma sıvısının temas noktaları iyi ayarlanmalıdır.



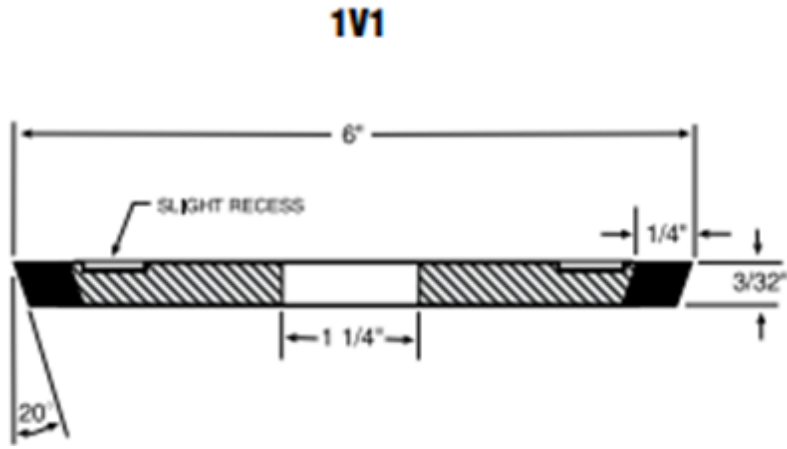
Şekil 4.10. Kanal operasyonu taş geometrisi



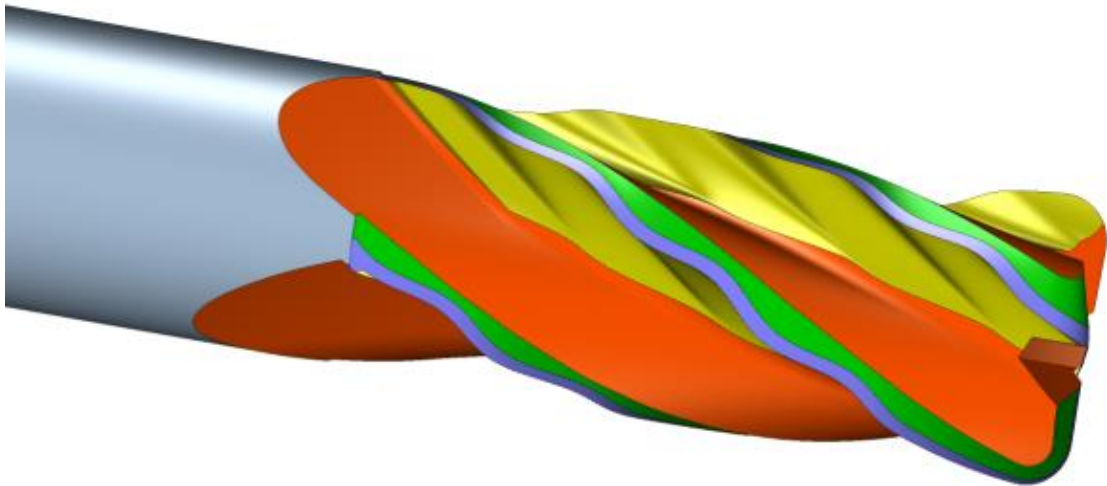
Şekil 4.11. Kanal operasyonu sıcaklık dağılımı

Dalgalı kanal formu oluşturma

Kesici takımların kanal formları performanslarını etkileyen en kritik tasarım kriterleridir. Bu geometrilerdeki en küçük değişiklik dahi talaş kaldırma performansını önemli ölçüde etkilemektedir [3]. Dalgalı form kanal geometrisinin belirlenmesinde; düşük kesme kuvveti, yüksek aşınma direnci, yüksek burulma ve eğilme dayanımı, talaş tahliye yeteneği gibi farklı tasarım kriterleri vardır. Bu özel kanal formlarının oluşturulabilmesi için yine özel form veya açılar verilmiş hibrit taşlara ihtiyaç vardır.



Şekil 4.12. Dalgalı kanal operasyonu taş geometrisi



Resim 4.6. Dalgalı kanal geometrisi

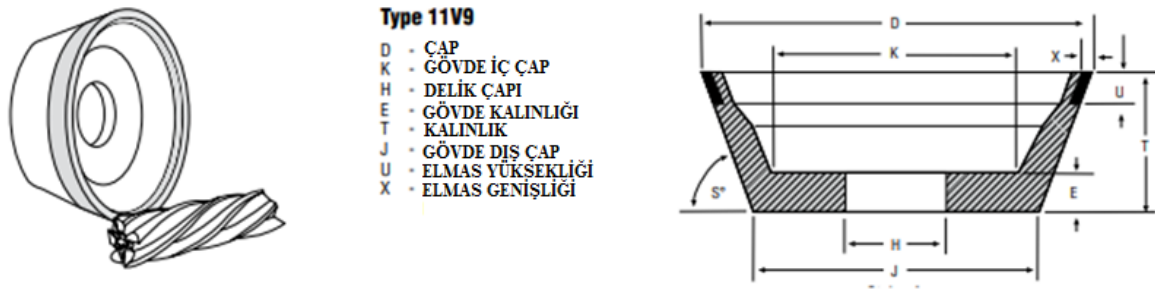
Boşaltma açıları

Takımın yan yüzeyindeki açı, kesici takım ile iş parçası üzerinde yeni oluşturulan çalışma yüzeyi arasında bir boşluk sağlar, böylece yüzey kalitesinin bozulmasını ve aşınmasını önler. Boşluk açısı, iş parçası üzerinden gelebilecek kuvvetlerin takım üzerine etki etmesini engelleyerek titreşim eğilimini düşürür.

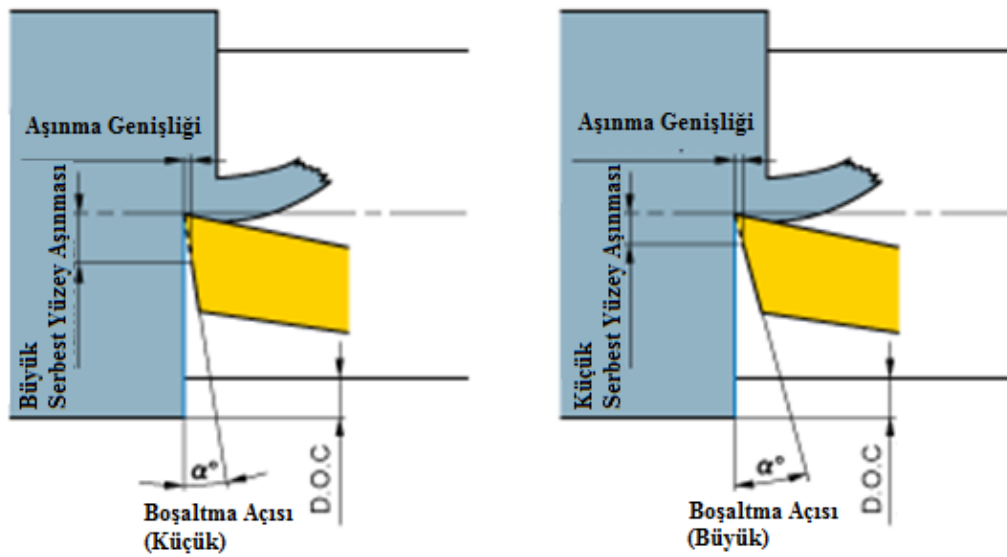
Kesici takım üzerindeki boşaltma açısı ne kadar büyük olur ise takımın çentik aşınması eğilimi o kadar az olur.

Boşaltma açısının artması, serbest kenar aşınma oluşumunu azaltır.

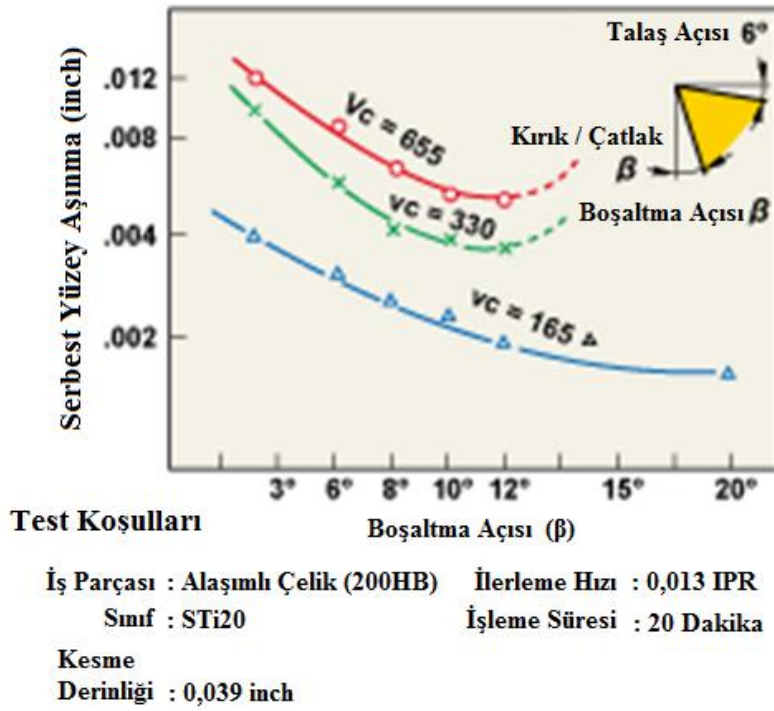
Boşaltma açısının artması, kesici kenar mukavemetini düşürür.



Şekil 4.13. Boşaltma açısına ait operasyonda kullanılan taş geometrisi



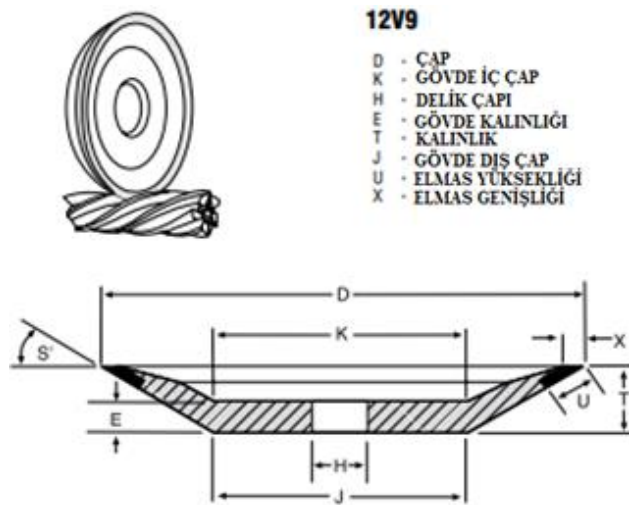
Şekil 4.14. Boşaltma açısı



Şekil 4.15. Boşaltma açısı ve serbest yüzey aşınma ilişkisi

Gashing operasyonu

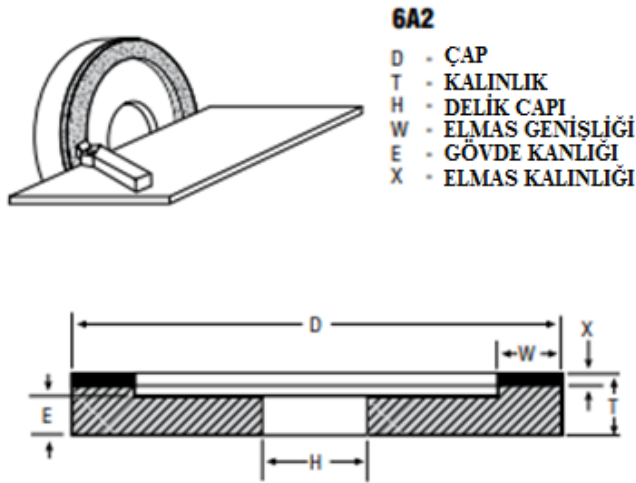
Kesici takımın verimini ve ekonomikliğini etkileyen bir diğer unsur ise ön kesme geometrisidir. Frezelerin ön kesme geometrisinin oluşmasında, orta kalınlığın belirlenmesinde, talaşın yönlendirilmesinde, ön kesme yüzeylerin boylarının ayarlanmasında gashing operasyonu etkilidir.



Şekil 4.16. Gashing operasyonu taş geometrisi

Ön kesme açıları

Kesici takımın uç kısmında bulunan birincil ve ikincil olarak adlandırılan kesme açılarıdır. Birincil ön kesme açısı, genellikle 5° ile 10° arasındadır ve takımın ön geometrisinin de talaş kaldırmasına olanak sağlar. İkincil ön kesme açısı, genellikle 15° ile 30° arasındadır. Boşaltma açısıdır, talaşın tahliyesi için önemlidir.

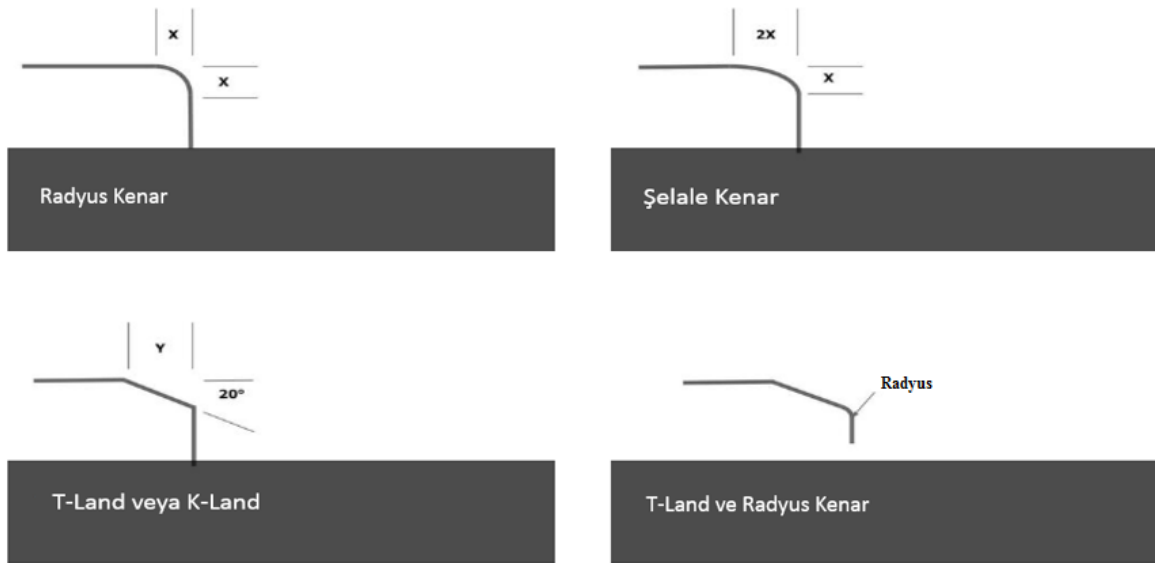


Şekil 4.17. Ön kesme açıları taş geometrisi

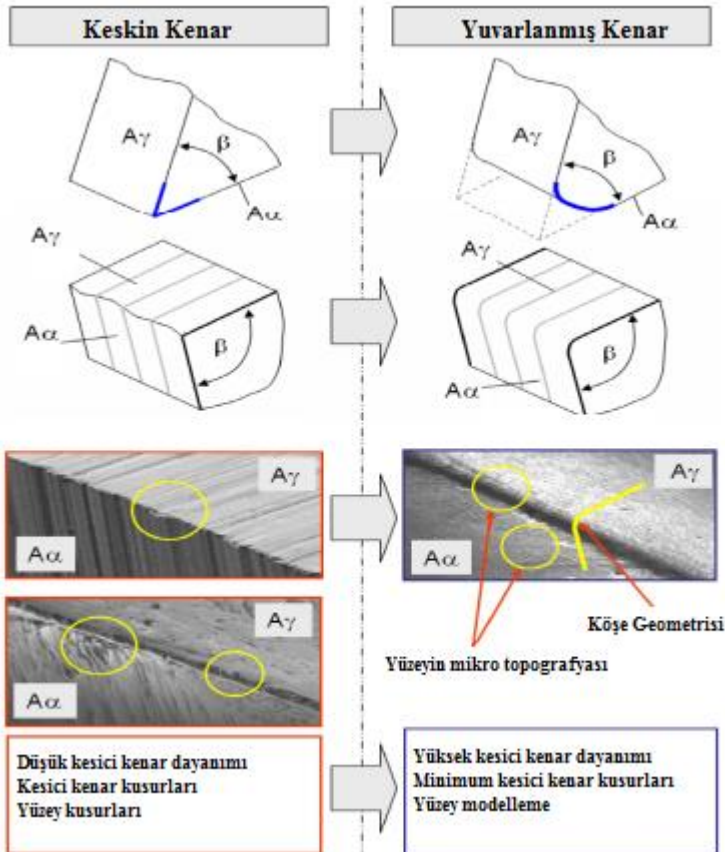
4.4.5. Kesici kenar yuvarlama

Takım kesici kenar yuvarlama işlemi, son yıllarda, başarılı bir takım tezgahı imalatında gereken dört ana bileşenden biri olarak evrensel olarak kabul edilmiştir. Kesici takım kenarı hazırlığının doğru seçimi ve uygulanması, başarılı bir şekilde üretilmiş ve optimum performans gösteren bir kesici takımın temel bileşenlerinden biridir. Günümüzün yüksek teknoloji üretim ortamında son teknoloji hazırlık, hızlı bir şekilde sement kardan imal edilmiş tüm kesici takımlarda bir zorunluluk haline gelmektedir.

Kesici kenar yuvarlama işlemi, uygun şekilde uygulandığında takım kesme kenarının kuvvetini artırır, kullanılabilir takım ömrünü uzatır, kenarın talaş eğilimini en aza indirir, parça kalitesini ve tutarlılığını artırır ve iş parçası yüzeyinin yüzeyini iyileştirir. Hali hazırda takım üreticisi tarafından kullanılan kenar hazırlığı seçeneklerinden bazıları keskindir (taşıma sonrası kenar hazırlığı yoktur), bazıları yarıçap veya şelale formuna sahiptir, bazılarında ise T-Land (veya K-Land) ve T-land + Çap formları bulunmaktadır. Günümüzde endüstride en yaygın kullanılan kenar hazırlığı işlemi yarıçapı formu ve şelale formudur.



Şekil 4.18. Köşe yuvarlama şekilleri



Şekil 4.19. Köşe yuvarlama

4.4.6. Son kalite kontrol

Üretimi biten kesici takımların kenar ve uç geometrilerini oluşturan açılar ve radyüslerin ölçümleri bilgisayar kontrollü ölçüm tezgâhlarında gerçekleştirilir. Kalite kontrol personeli ölçüm tezgâhından çıkan ölçüm raporları ile teknik resim gereksinimlerini karşılaştırarak üretimi biten kesici takımın sevk edilmesine onay veya ret verir.



Resim 4.7. Zoller ölçüm tezgahı

4.5. Deney Tasarımı

Deneyisel ve nümerik çalışmalar, TS ISO 8688-2 Parmak Frezeleme: Frezelemede Takım Ömrü Deneyi Standardına göre yapılmıştır. İş parçası olarak TS ISO 8688-2’de tavsiye edilen C45 (Europe) (US: AISI 1045) çelik ve GG25 dökme demir referans malzemeler kullanılmıştır. Malzemelerin kimyasal bileşimleri C45 için ISO/R 683-3’e uygun olarak ve GG25 için ise ISO/185 kalite standardında % 100 perlit matrisli pul grafitten oluşacak şekildedir (Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2). Standart ve dalga formulu kesici takımlar (Çizelge 4.3) KARCAN Kesici Takım firması tarafından üretilmiştir. Kesici takım malzemesi olarak Creatizit Grade P-Line karbür kullanılmıştır. Grade P karbür, geniş kullanım alanı sunan yüksek performanslı bir karbür türüdür. Karbür malzeme; K20-K40 (ISO) kalitesinde, % 10

bağlayıcı oranına sahip, 14,38 g/cm³ yoğunluğunda ve 4000 MPa enine kopma dayanımındadır.

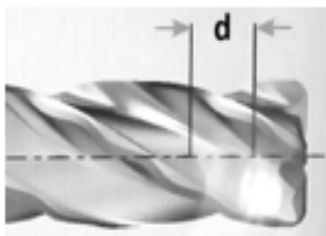
Çizelge 4.1. CK45 malzemenin kimyasal bileşimi, TS ISO 8688-2.

	% C	% Si	% Mn	% S	% P	% Fe
Min	0,42	0,15	0,50	0,02	-	Kalan
Maks	0,50	0,40	0,80	0,035	0,035	

Çizelge 4.2. GG25 malzemenin yapısı

İç yapı	Oran
Serbest demir karbür	% 0
Serbest ferrit	En fazla % 5
Stedit	En fazla % 5
Grafit	Sadece pul grafit
Perlit	Geri kalan

Çizelge 4.3. Dalga formlu parmak freze tasarım parametreleri

Parametre	Değer		
Dış çap	12 mm		
Kesici ağız boyu	28 mm		
Kesici ağız sayısı	4		
Radyal talaş açısı	5° -2° ila 10°		
Helis açısı	38° ÷ 40°		
Dalga boyu (eksenel); d	6 mm		
Dalga yüksekliği (genlik); g	0.450 mm		

Kesme şartları, TS ISO 8688-2'e göre aksel kesme derinliğinin radyal kesme derinliğinden büyük olduğu köşe ve aynı yönlü frezeleme olarak belirlenmiştir. İlerleme miktarları, standartta tavsiye edilen değerler içinden ve kesme hızları ise takım üretici firmanın, deneysel

çalışmalarda kullanılan iş parçası malzemeleri için önerdiği değerlere göre seçilmiştir. Her iki malzeme için de (C45 ve GG 25) deneyler aynı kesme parametreleri ile gerçekleştirilmiş olup bu parametreler Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Kesme şartları ve deney tasarımı

Deney no	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme Hızı (mm/diş)	Eksenel Derinlik (mm)	Radyal Derinlik (mm)
1	125	0,08	20	2,5
2		0,10		
3		0,125		
4	130	0,08		
5		0,10		
6		0,125		
7	140	0,08		
8		0,10		
9		0,125		

4.5.1. CNC takım tezgâhı

Testler Gazi Üniversitesi İmalat Atölyesinde bulunan Fanuc kontrol ünitesi kullanan, 7.5 kW güce sahip Johnford VMC-550 BSD dik işleme merkezinde gerçekleştirilecektir.

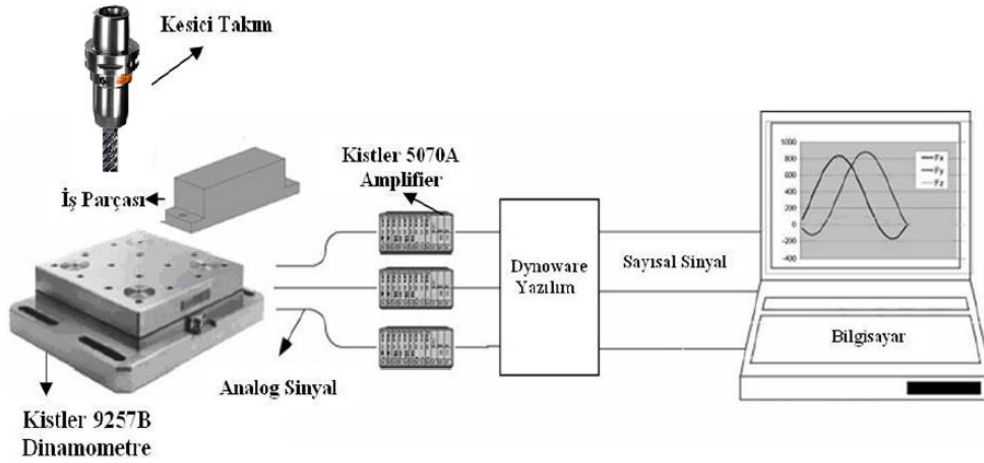
Çizelge 4.5. Kullanılan CNC dik işleme merkezinin özellikleri

Model	Johnford VMC-550 Dik İşleme Merkezi
Kontrol Tipi	Fanuc OM serisi
X eksen hareketi	500 mm
Y eksen hareketi	500 mm
Z eksen hareketi	450 mm
Devir Sayısı	60-6000 dev/dak
Motor gücü	10 HP (~7.5 kW)
X-Y-Z Hızlı İlerleme	15-15-12 m/dak

4.5.2. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi

Frezeleme operasyonu sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin sinyalleri dinamometre tarafından üretilir. Alınan bu sinyaller veri okuma kartları sayesinde bilgisayara aktarılır. Aktarılan sinyal verileri ise bir program vasıtası ile bilgisayarda kayıt edilerek veya kesme-grafikleri oluşturulmasında kullanılır. Kuvvet bilgileri Kistler masa tipi dinamometre ile elde

edilecektir. İsaletli ve güvenilir sonuçlar elde etmek için Kistler firmasının sinyal durumu modülü kullanılacaktır. 5000 Hz'e kadar olan sinyalleri toplamak için National Instruments firmasının Yüksek Hızlı Veri aktarım sistemi tercih edilmiştir. Deney düzeneği Şekil 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.20. Deney düzeneği şematik gösterimi

4.5.3. Takım aşınma ölçümü

Serbest yüzey aşınması iş parçası yüzeyinin işlenen kısmı ile takımın serbest yüzeyi arasında ki sürtünme nedeni ile oluşur ve kademeli olarak artar. Takımın serbest yüzeyi ile iş parçası temas yüzeyin de, adezif aşınma mekanizması kaynaklı aşınmalar oluşur. (Şekil 3.7) Serbest yüzey aşınması birinci boşaltama kenarı yüzeyinde ki aşınmanın kalınlığı ile ölçülür.



Resim 4.8. Serbest yüzey aşınma ölçümü

4.5.4. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü

Pürüzlülük, kesici takımın, yüzeyin bir ucundan diğer ucuna gitmesiyle oluşan pek çok çizikli, düzensiz kısa dalga boyu uzunluklarıdır. Özellikle Havacılık, Savunma ve Otomotiv sektöründe birbirleri ile çalışan makine parçalarında talaşlı imalat sonrası oluşan bu izlerin minimize edilerek kayıt altına alınması önemlidir.

Yüzey pürüzlülük değerleri Üniversite bünyesinde bulunan MAHR-Perthometer-M1 taşınabilir yüzey pürüzlülük cihazı kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülük cihazının özellikleri Çizelge 4.6'da verilmiştir. Değerlendirme uzunluğu 8 mm alınmıştır.

Çizelge 4.6. Yüzey pürüzlülük cihazının özellikleri

Model	Perthometer M1 (Mahr)
Ölçme hızı	150 $\mu\text{m/s}$
Ölçme Kuvveti	0,7 mN
Uç Malzemesi	Elmas
Numune uzunluğu	0,8 mm
Değerlendirme Uzunluğu	8 mm

5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan deneylerde kesme kuvvetleri, serbest kenar aşınma ve yüzey pürüzlülüğünü belirlemek için her bir deney şartında kuvvet, aşınma ve pürüzlülük değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. Kuvvet değerleri; frezeleme işlemlerinde F_x ve F_y değerlerinin bileşkesi alınarak esas kesme kuvvet, F_c değerleri elde edilmiş ve bu veriler ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Fz yönünde oluşan kesme kuvvetleri daha küçük olduğu için bu yöndeki kuvvetler değerlendirilmemiştir. Yüzey pürüzlülükleri değerlendirilmesinde ise her deney sonrasında işlenen yüzeyden beş ölçüm alınarak en düşük ve en yüksek değerler dikkate alınmadan üç ölçümün aritmetik ortalaması alınarak ortalama yüzey pürüzlülük (R_a) grafikleri oluşturulmuştur.

Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de CK45 malzemesinde ölçülen kuvvet değerleri, Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4’da GG25 malzemesinde ölçülen kuvvet değerleri gösterilmiştir. Çizelge 5.5’de CK45, Çizelge 5.6’de ise GG25 malzemesinde ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.1. CK45 malzemede standart takım kesme kuvveti değerleri

CK45 - Standart Takım							
Deney No	v	fz	S	f	F_x	F_y	F_c
	m/dk	mm/diş	dev/dk	mm/dk	N	N	N
1	125	0,08	3317	1061	600,1	1134,6	1283,5
2	125	0,10	3317	1327	708,5	1264,1	1449,1
3	125	0,125	3317	1659	858,5	1503,1	1730,9
4	130	0,08	3450	1104	603,4	1137,1	1287,2
5	130	0,10	3450	1380	714,4	1288,1	1472,9
6	130	0,125	3450	1725	862,4	1509,1	1738,1
7	140	0,08	3715	1189	606,8	1144,1	1295,0
8	140	0,10	3715	1486	715,3	1295,1	1479,5
9	140	0,125	3715	1858	863,8	1526,1	1753,6

Çizelge 5.2. CK45 malzemede dalga formlu takım kesme kuvveti değerleri

CK45 - Dalga Formlu Takım							
Deney No	v	fz	S	f	Fx	Fy	Fc
	m/dk	mm/dış	dev/dk	mm/dk	N	N	N
1	125	0,08	3317	1061	594,3	1135,1	1281,2
2	125	0,10	3317	1327	713,1	1268,1	1454,8
3	125	0,125	3317	1659	864,8	1484,1	1717,6
4	130	0,08	3450	1104	593,7	1135,1	1280,9
5	130	0,10	3450	1380	712,5	1255,1	1443,2
6	130	0,125	3450	1725	866,9	1482,1	1717,0
7	140	0,08	3715	1189	593,1	1129,1	1275,3
8	140	0,10	3715	1486	711,7	1251,1	1439,3
9	140	0,125	3715	1858	865,9	1468,1	1704,4

Çizelge 5.3. GG25 malzemede standart takım kesme kuvveti değerleri

GG25 - Standart Takım							
Deney No	v	fz	S	f	Fx	Fy	Fc
	m/dk	mm/dış	dev/dk	mm/dk	N	N	N
1	125	0,08	3317	1061	386,7	765,7	857,8
2	125	0,10	3317	1327	512,6	967,1	1094,5
3	125	0,125	3317	1659	657,7	1202,1	1370,2
4	130	0,08	3450	1104	486,2	967,9	1083,1
5	130	0,10	3450	1380	573,1	1065,1	1209,4
6	130	0,125	3450	1725	688,5	1279,1	1452,6
7	140	0,08	3715	1189	518,8	974,8	1104,2
8	140	0,10	3715	1486	597,1	1071,1	1226,2
9	140	0,125	3715	1858	694,8	1284,1	1460,0

Çizelge 5.4. GG25 malzemede dalga formlu takım kesme kuvveti değerleri

GG25 - Dalga Formlu Takım							
Deney No	v	fz	S	f	Fx	Fy	Fc
	m/dk	mm/dış	dev/dk	mm/dk	N	N	N
1	125	0,08	3317	1061	370,5	686,4	780,0
2	125	0,10	3317	1327	486,4	881,5	1006,7
3	125	0,125	3317	1659	632,7	1081,1	1252,6
4	130	0,08	3450	1104	453,1	865,4	976,8
5	130	0,10	3450	1380	566,2	978,8	1130,7
6	130	0,125	3450	1725	696,6	1161,1	1354,0
7	140	0,08	3715	1189	485,1	878,2	1003,2
8	140	0,10	3715	1486	586,8	978,7	1141,1
9	140	0,125	3715	1858	711,7	1159,1	1360,1

Çizelge 5.5. CK45 malzemede ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri

Malzeme: CK45					Standart Takım				Dalga Formlu Takım			
	v	fz	S	f	1	2	3	Ortalama	1	2	3	Ortalama
	m/ dk	mm/ diş	dev/ dk	mm/ dk	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm
1	125	0,08	3317	1061	0,38	0,45	0,42	0,418	0,42	0,54	0,40	0,453
2	125	0,10	3317	1327	0,42	0,52	0,46	0,466	0,43	0,50	0,45	0,459
3	125	0,125	3317	1659	0,48	0,59	0,50	0,522	0,55	0,51	0,59	0,551
4	130	0,08	3450	1104	0,46	0,53	0,39	0,458	0,46	0,44	0,57	0,489
5	130	0,10	3450	1380	0,54	0,49	0,45	0,495	0,53	0,61	0,56	0,568
6	130	0,125	3450	1725	0,53	0,51	0,70	0,581	0,62	0,62	0,72	0,651
7	140	0,08	3715	1189	0,65	0,49	0,40	0,515	0,54	0,69	0,51	0,580
8	140	0,10	3715	1486	0,42	0,77	0,58	0,590	0,64	0,61	0,70	0,652
9	140	0,125	3715	1858	0,59	0,61	0,65	0,616	0,77	0,84	0,70	0,770

Çizelge 5.6. GG25 Malzemede Ölçülen Yüzey Pürüzlülük Değerleri

Malzeme: GG25					Standart Takım				Dalga Formlu Takım			
	v	fz	S	f	1	2	3	Ortalama	1	2	3	Ortalama
	m/ dk	mm/ diş	dev/ dk	mm/ dk	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm
1	125	0,08	3317	1061	0,93	0,93	0,93	0,929	0,91	0,92	0,93	0,920
2	125	0,10	3317	1327	0,97	1,03	0,99	0,996	1,02	0,89	1,07	0,994
3	125	0,125	3317	1659	1,00	1,13	1,04	1,054	1,07	1,04	1,05	1,054
4	130	0,08	3450	1104	0,91	0,90	0,89	0,897	1,00	0,78	0,94	0,907
5	130	0,10	3450	1380	1,03	0,84	1,01	0,960	0,97	0,97	0,99	0,977
6	130	0,125	3450	1725	1,05	1,16	0,90	1,035	1,10	1,10	0,91	1,037
7	140	0,08	3715	1189	0,81	0,83	0,84	0,828	0,83	0,81	0,87	0,836
8	140	0,10	3715	1486	0,93	0,86	0,88	0,888	0,99	0,86	0,87	0,905
9	140	0,125	3715	1858	0,99	0,98	0,94	0,972	0,99	1,02	0,91	0,970

5.1. Karşılaştırmalı Değerlendirmeler

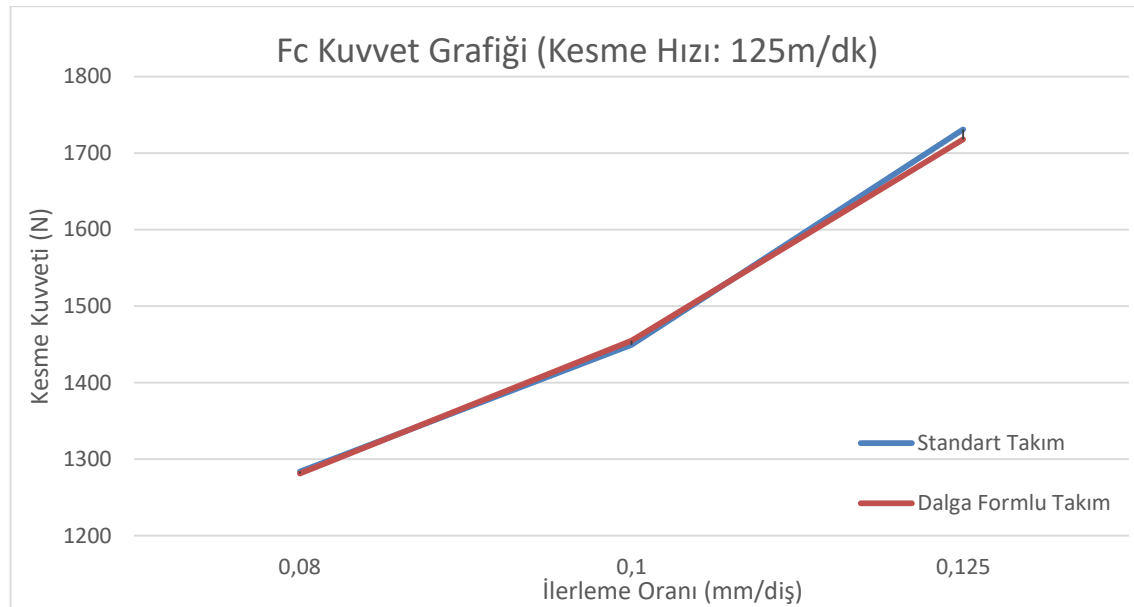
5.1.1 Kesme kuvveti açısından değerlendirme

Deneyler sonucunda ölçülen standart takım ile dalga formlu takımın bileşke kuvvetleri CK45 ve GG25 malzemeleri için karşılaştırmalı olarak aşağıdaki çizelgelerde gösterilmiştir.

CK45 malzemesi ile ölçülen kesme kuvveti değerleri

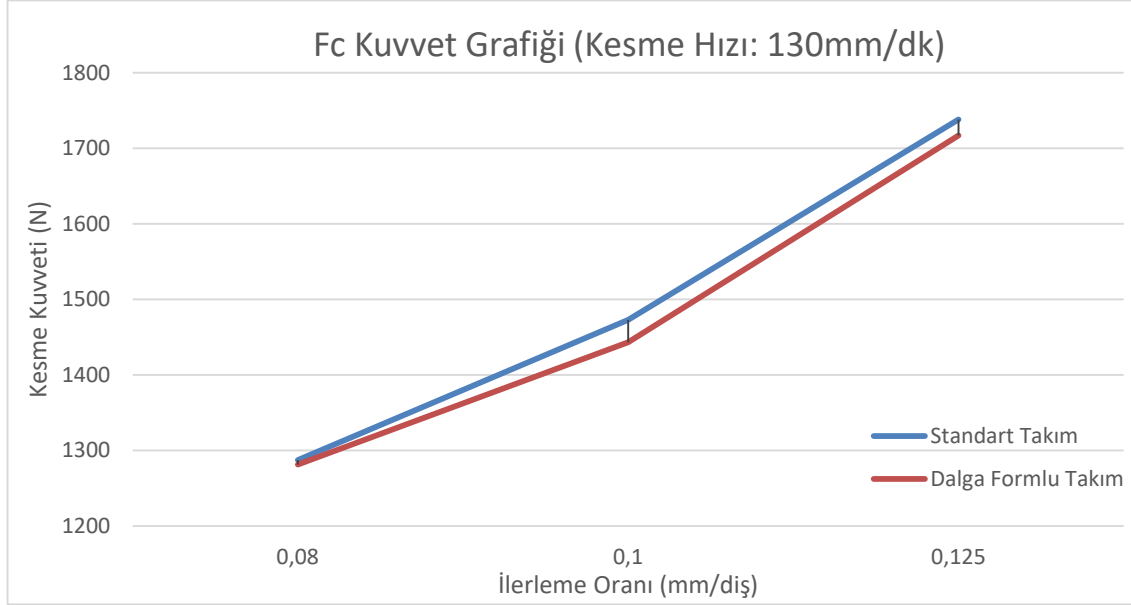
CK45 malzemesi ile yapılan deneyler sonucu elde edilen grafiklerden görüleceği üzere dalga forma ait kesici takım standart kesici takıma göre daha az kesme kuvveti oluşturmaktadır. Kesme hızı arttıkça dalga formlu takım ile standart takım kesme kuvveti değerleri arasında fark açılmakta ve dalga formlu takıma ait kesme kuvveti değerleri azalmaktadır.

Şekil 5.1’de sabit kesme hızı 125 m/dk koşulu altında standart ve dalga formlu takımlara ait ilerleme oranına bağlı olarak ölçülen bileşke kuvvetleri karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.



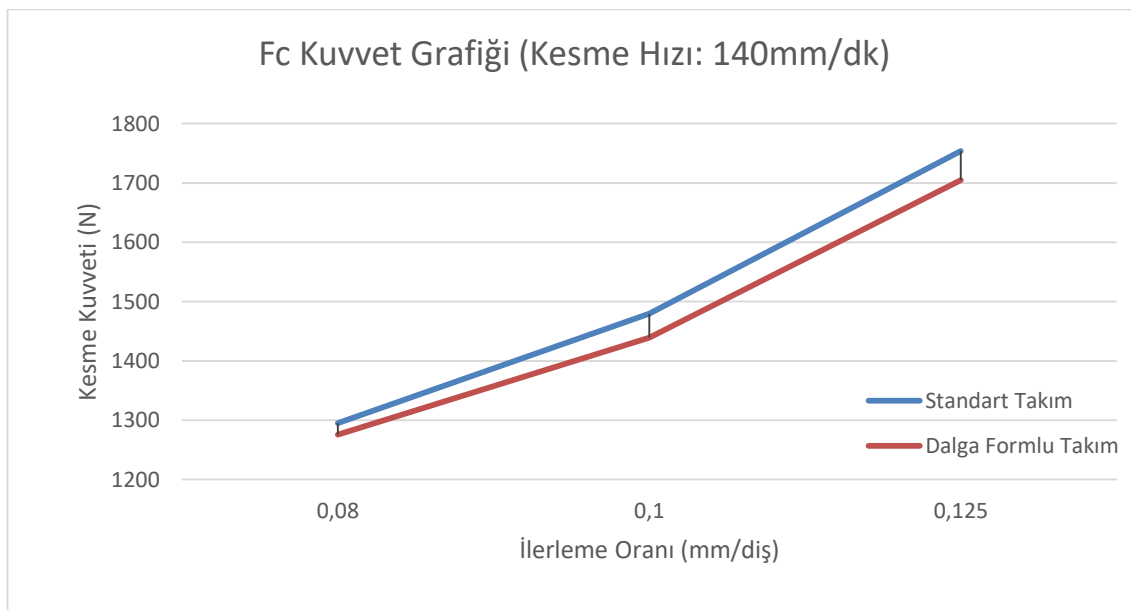
Şekil 5.1. İlerleme oranına bağlı bileşke kuvvetin değişimi (Kesme Hızı: 125 m/dk)

Şekil 5.2’de sabit kesme hızı 130 m/dk koşulu altında standart ve dalga formlu takımlara ait ilerleme oranına bağlı olarak ölçülen bileşke kuvvetleri karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.2. İlerleme oranına bağlı bileşke kuvvetin değişimi (Kesme Hızı: 130 m/dk)

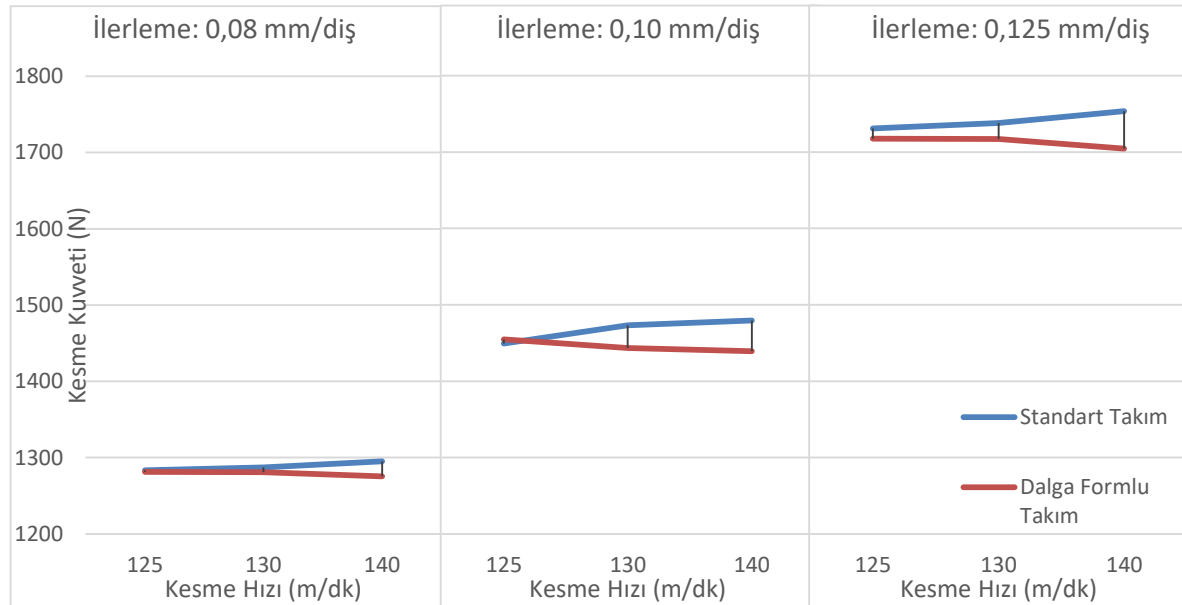
Şekil 5.3’te sabit kesme hızı 140 m/dk koşulu altında standart ve dalga formlu takımlara ait ilerleme oranına bağlı olarak ölçülen bileşke kuvvetleri karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.3. İlerleme oranına bağlı bileşke kuvvetin değişimi (Kesme Hızı: 140 m/dk)

Şekil 5.4'te sabit ilerleme koşulu altında standart ve dalga formlu takımlara ait kesme hızına bağlı olarak ölçülen bileşke kuvvetleri karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. İlerleme oranı olarak 0,08 mm/diş, 0,10 mm/diş, 0,125 mm/diş seçilmiş ve grafikler yan yana sunulularak ilerleme oranındaki artışın kesme kuvvetine etkisinin daha net bir şekilde gösterimi sağlanmıştır.

Grafiklerde görüldüğü üzere mavi çizgiler standart takıma ait verileri, kırmızı çizgiler ise dalga formlu takıma ait verileri göstermektedir. İlerleme oranının tüm değerleri için kesme hızı arttıkça standart takıma ait kesme kuvvetleri artmakta, dalga formlu takıma ait kesme kuvvetleri ise azalmaktadır.

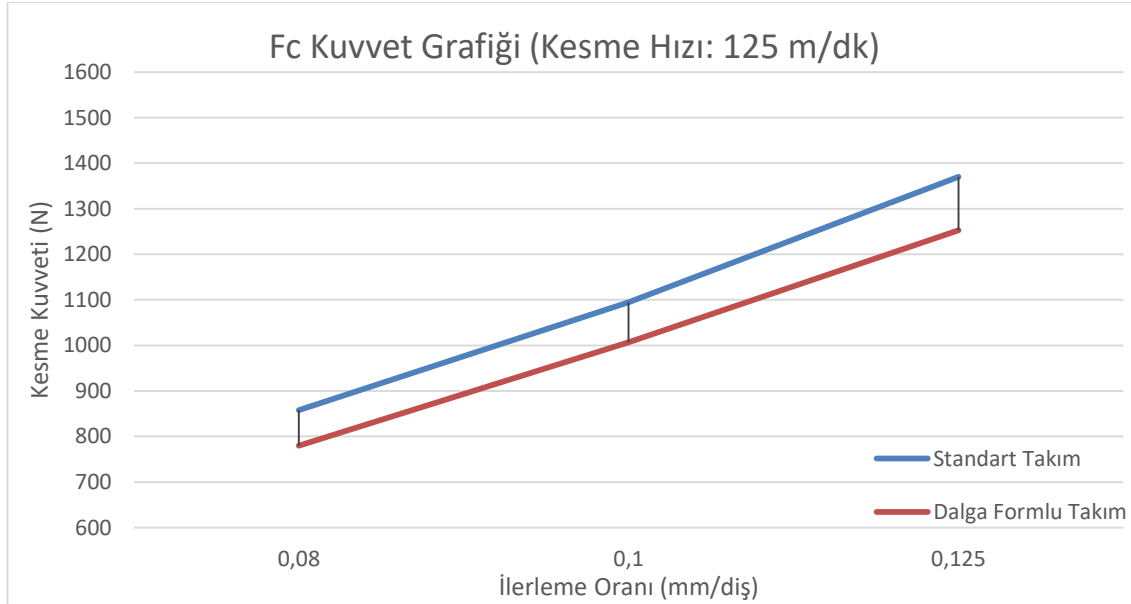


Şekil 5.4. Kesme hızına bağlı bileşke kuvvetin değişimi

GG25 malzemesi ile ölçülen kesme kuvveti değerleri

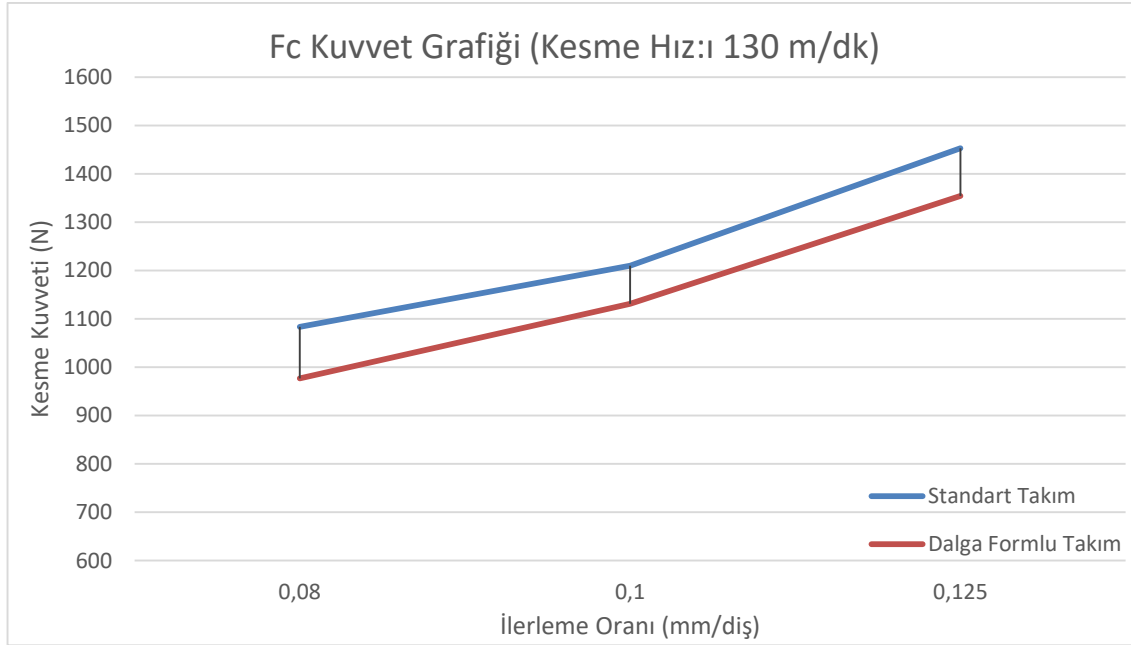
GG25 malzemesi ile yapılan deneyler sonucu elde edilen grafiklerden görüleceği üzere dalga forma ait kesici takım standart kesici takıma göre daha az kesme kuvveti oluşturmaktadır. Kesme hızı arttıkça hem dalga formlu takıma hem de standart takıma ait kesme kuvveti değerleri de artmaktadır.

Şekil 5.5'te sabit kesme hızı 125 m/dk koşulu altında standart ve dalga formlu takımlara ait ilerleme hızına bağlı olarak ölçülen bileşke kuvvetleri karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.



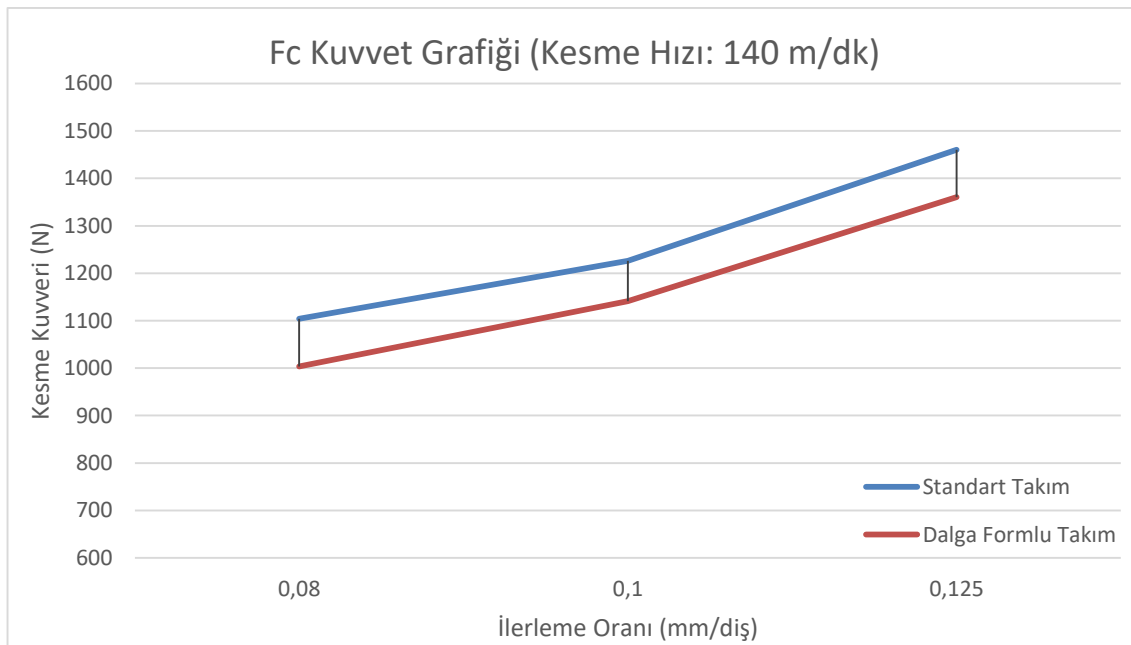
Şekil 5.5. İlerleme oranına bağlı bileşke kuvvetin değişimi (Kesme Hızı: 125 m/dk)

Şekil 5.6'da sabit kesme hızı 130 m/dk koşulu altında standart ve dalga formlu takımlara ait ilerleme hızına bağlı olarak ölçülen bileşke kuvvetleri karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.6. İlerleme oranına bağlı bileşke kuvvetin değişimi (Kesme Hızı: 130 m/dk)

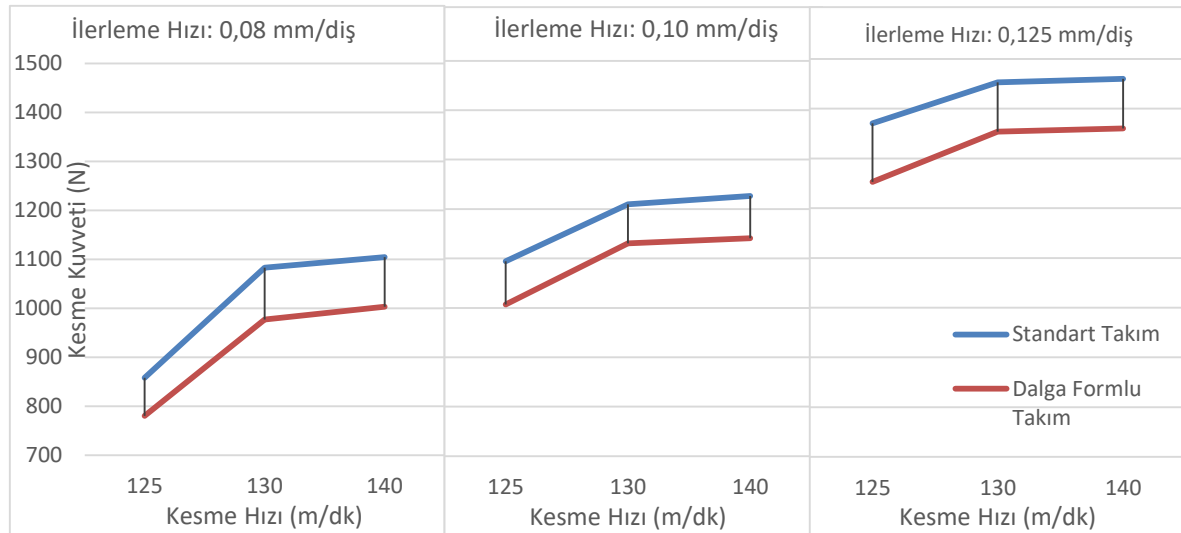
Şekil 5.7’de sabit kesme hızı 140 m/dk koşulu altında standart ve dalga formlu takımlara ait ilerleme hızına bağlı olarak ölçülen bileşke kuvvetleri karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.7. İlerleme oranına bağlı bileşke kuvvetin değişimi (Kesme Hızı: 140 m/dk)

Şekil 5.8’de sabit ilerleme koşulu altında standart ve dalga formlu takımlara ait kesme hızına bağlı olarak ölçülen bileşke kuvvetleri karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. İlerleme oranı olarak 0,08 mm/diş, 0,10 mm/diş, 0,125 mm/diş seçilmiş ve grafikler yan yana sunulurken ilerleme oranındaki artışın kesme kuvvetine etkisinin daha net bir şekilde gösterimi sağlanmıştır.

Grafiklerde görüldüğü üzere mavi çizgiler standart takıma ait verileri, kırmızı çizgiler ise dalga formlu takıma ait verileri göstermektedir. İlerleme oranının tüm değerleri için kesme hızı arttıkça hem standart takıma hem de dalga formlu takıma ait kesme kuvvetleri de artmaktadır



Şekil 5.8. Kesme hızına bağlı bileşke kuvvetin değişimi

Elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalarla benzerlik göstermektedir [18] [19]. M. Günay [18] 1040 malzemesi üzerinde -5, -2.5, 0, 2.5, 5, 7.5, 10, 12,5 derece talaş açılarına sahip fark kesici takımlar kullanarak farklı talaş açılarının kesme kuvveti üzerine etkilerini incelenmiş olup talaş açısı arttıkça kesme kuvvetinin azaldığını raporlamıştır. Bir diğer çalışmada M. Günay [19] aynı açılara sahip kesici takımları kullanarak farklı talaş açılarının ilerleme kuvveti üzerine etkilerini incelenmiş ve test sonuçları yine talaş açısı arttıkça ilerleme kuvvetinin de azaldığını göstermektedir.

Tasarlanan dalga formlu kesici takımın talaş açısı dalga formu boyunca -2° ila +10° arasında değişmekte ve her bir farklı talaş açısı değerinde talaş kaldırma doğrultusu da farklılık

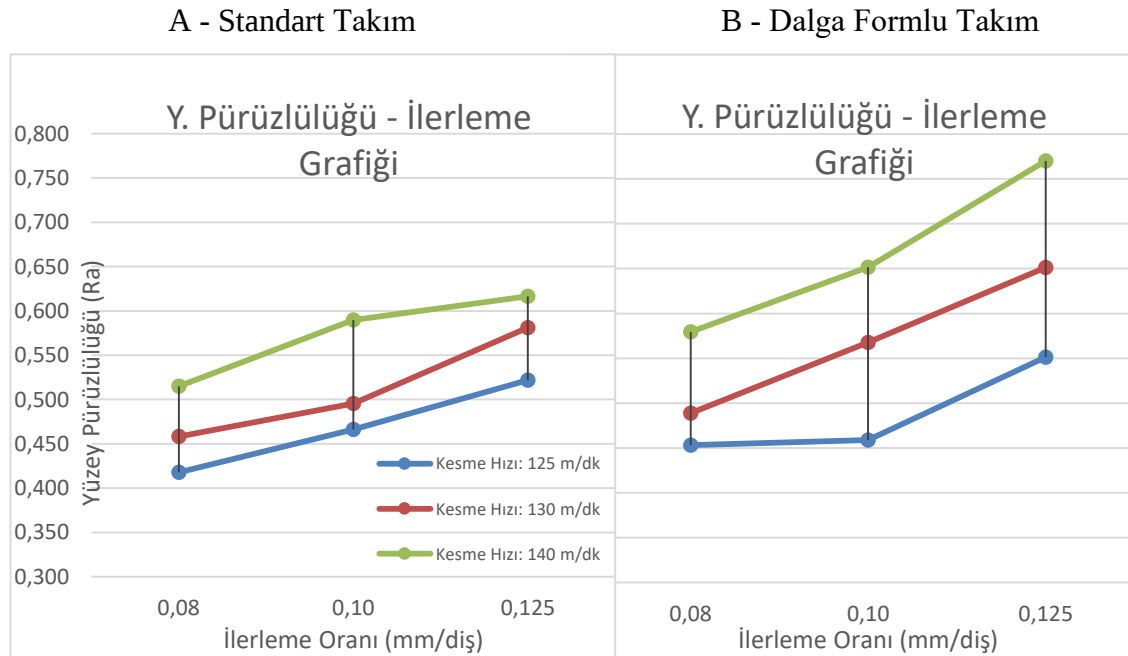
göstermektedir. Dalga formlu kesici takımın sahip olduğu bu özellik ona standart takımdan çok daha farklı bir kesme karakteristiği kazandırmış olup kesme kuvvetlerinin azalmasına olanak sağlamıştır.

5.1.2. Yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirme

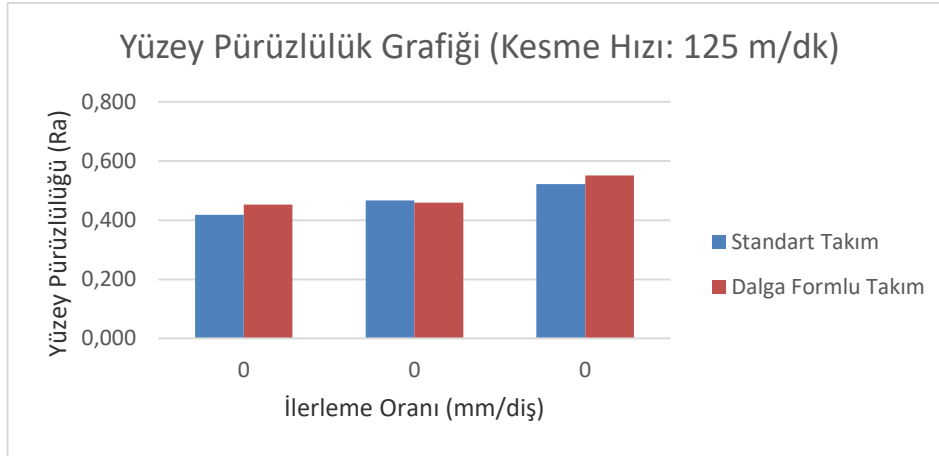
Yüzey pürüzlülük değerleri belirlenirken, her bir deney sonunda işlenen yüzeylerin beş farklı yerinde pürüzlülük ölçümü yapılmıştır. Ölçülen en yüksek ve en düşük değer dikkate alınmadan üç değer aritmetik ortalaması hesaba katılmıştır. Şekil 5.9, 5.10, 5.11 ve 5.12’te CK45 malzemesi ile elde edilen yüzey pürüzlülük grafikleri, Şekil 5.13, 5.14, 5.15 ve 5.16’de ise GG25 malzemesi ile elde edilen yüzey pürüzlülük grafikleri verilmiştir.

CK45 malzemesi ile ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri

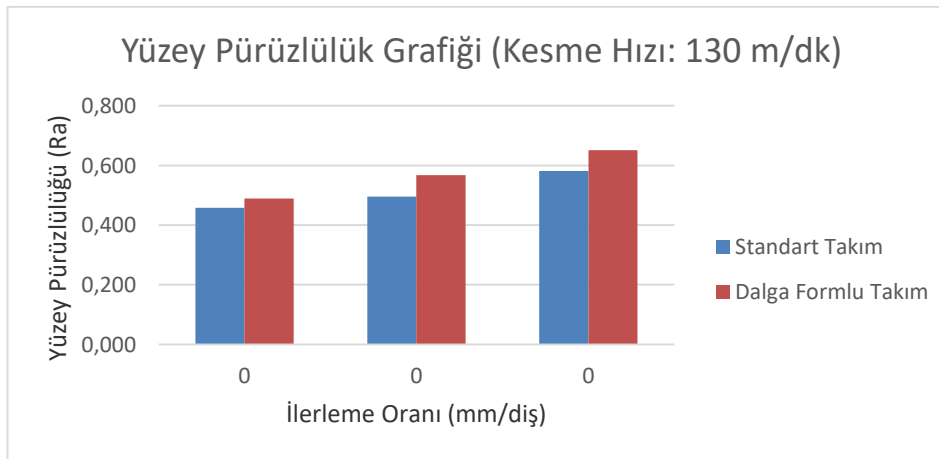
CK45 malzemesi ile yapılan deneylerde ilerleme oranı ve kesme hızı arttıkça her iki kesici takım için de yüzey pürüzlülük değerinin arttığı görülmüştür. CK45 malzemesi ile yapılan deneylerde Deney No 2 hariç diğer tüm deney şartlarında dalga formu takımın standart takıma göre yüzey pürüzlülük değerleri daha yüksektir. Şekil 5.9’da CK45 malzemesi ile gerçekleştirilen deney parametrelerinin çoğunluğunda yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerleme oranının etkisinin kesme hızının etkisinden daha belirgin olduğu gösterilmektedir.



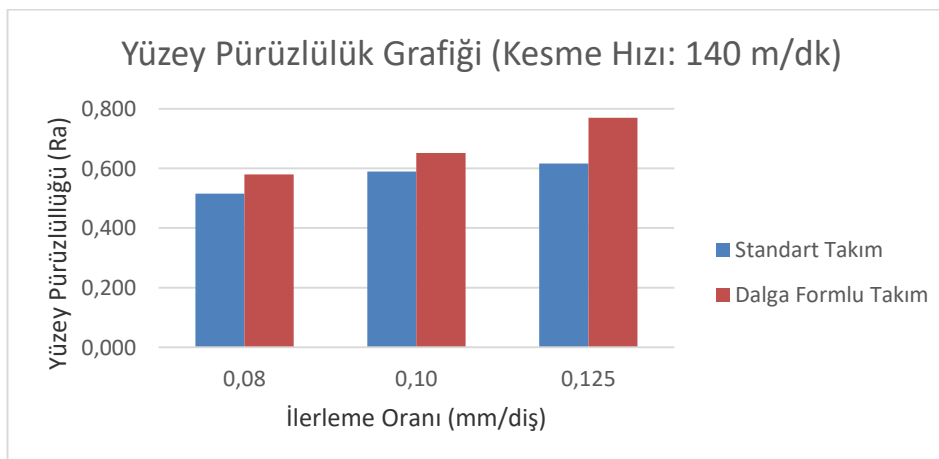
Şekil 5.9. İlerleme oranına bağlı yüzey pürüzlülük değişimi



Şekil 5.10. İlerleme oranına bağlı yüzey pürüzlülük değişimi (Kesme Hızı:125 m/dk)



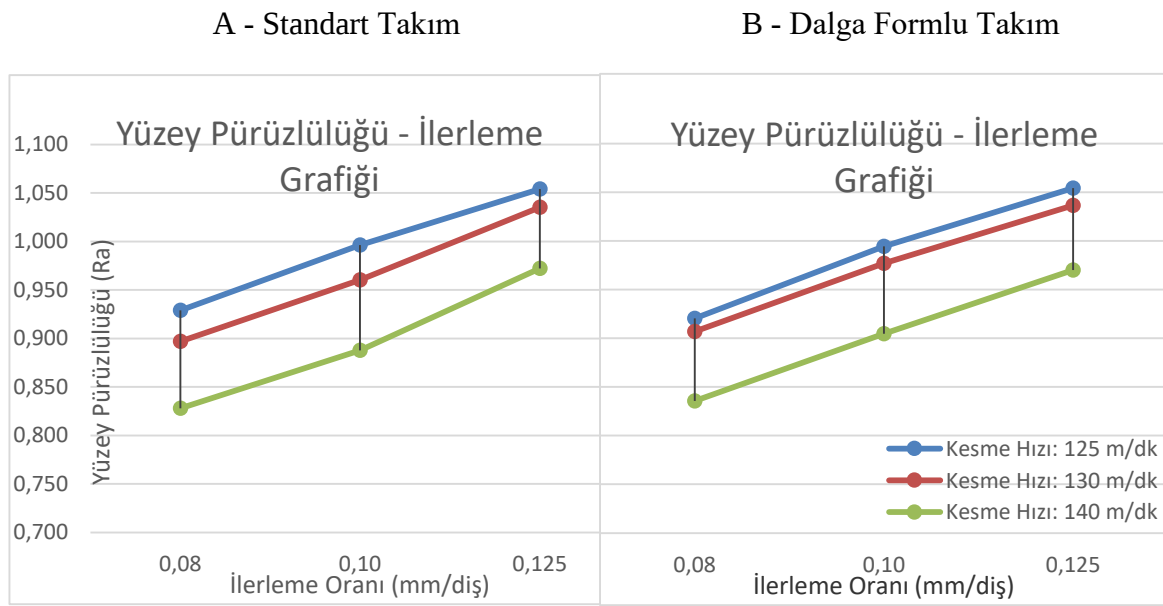
Şekil 5.11. İlerleme oranına bağlı yüzey pürüzlülük değişimi (Kesme Hızı: 130 m/dk)



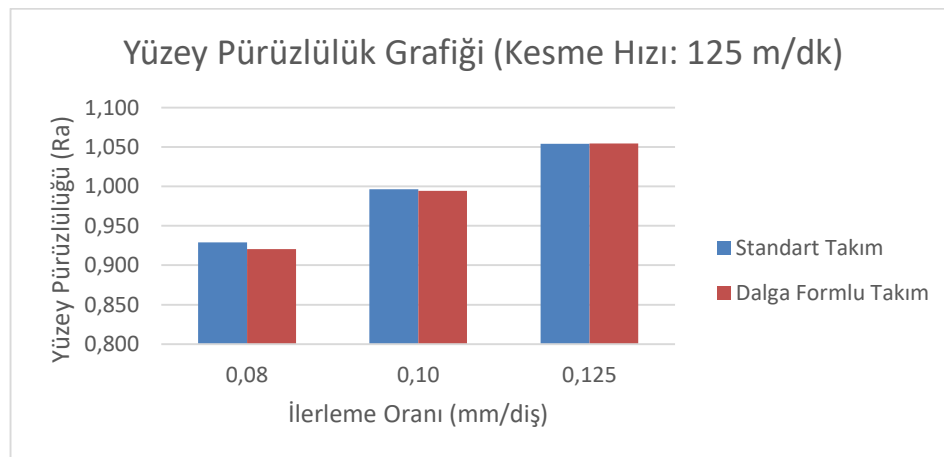
Şekil 5.12. İlerleme oranına bağlı yüzey pürüzlülük değişimi (Kesme Hızı: 140 m/dk)

GG45 malzemesi ile ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri

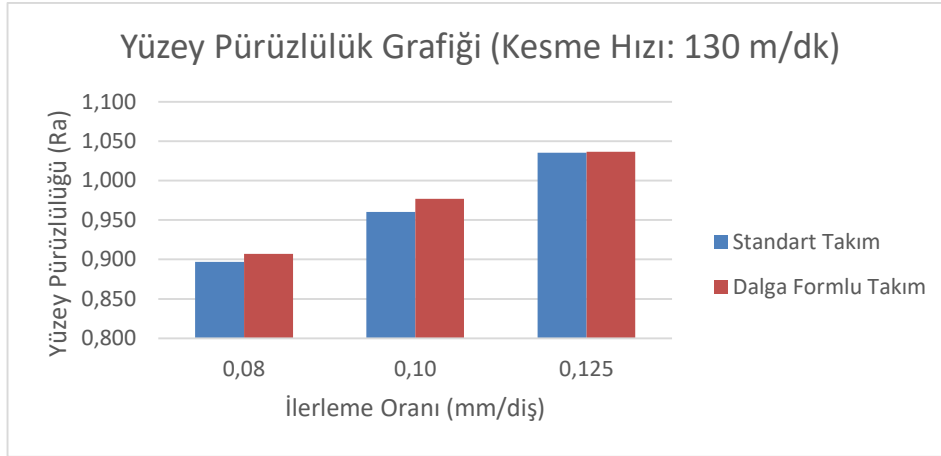
GG25 malzemesi ile yapılan deneylerde ilerleme oranı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin arttığı fakat kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı görülmüştür. GG25 malzemesi ile yapılan deneylerde Deney No 1, 2 ve 9 hariç diğer tüm deney şartlarında dalga formu takımının standart takıma göre yüzey pürüzlülük değerleri daha yüksektir. Şekil 5.13'te GG25 malzemesi ile gerçekleştirilen deney parametrelerinin çoğunluğunda yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerleme oranının etkisinin kesme hızının etkisinden daha belirgin olduğu görülmüştür.



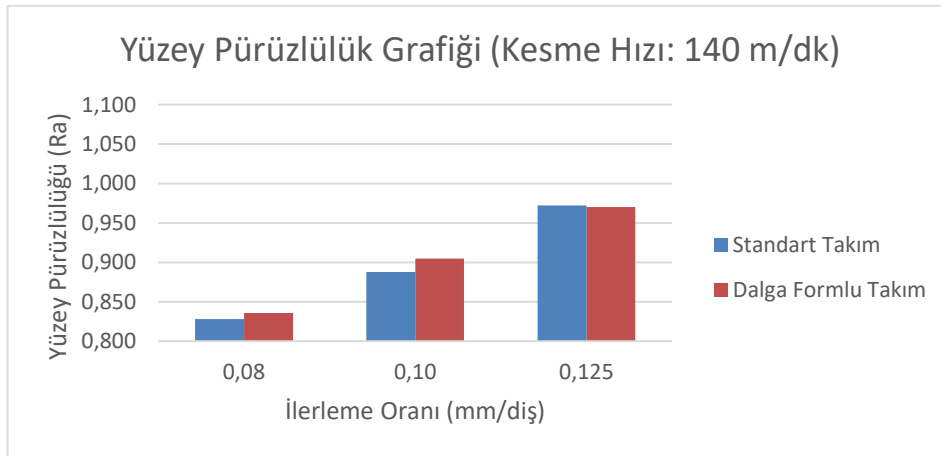
Şekil 5.13. İlerleme oranına bağlı yüzey pürüzlülük değişimi



Şekil 5.14 İlerleme oranına bağlı yüzey pürüzlülük değişimi (Kesme Hızı: 125 m/dk)



Şekil 5.15 İlerleme oranına bağlı yüzey pürüzlülük değişimi (Kesme Hızı: 130 m/dk)



Şekil 5.16 İlerleme oranına bağlı yüzey pürüzlülük değişimi (Kesme Hızı: 140 m/dk)

Elde edilen bulgular literatür ile paralellik göstermektedir. N. Özsoy [20] Ø12 standart kesici takım ile farklı kesme parametreleri altında 7075-T6 Alüminyum alaşımı işleyerek yüzey pürüzlülük üzerine yaptığı araştırmada, ilerleme oranının artması ile yüzey pürüzlülük değerinin arttığı ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerleme oranının etkisinin %66,56 iken kesme hızının etkisinin %13,29 olduğunu raporlamıştır. Bir başka çalışmada J.Z. Zhang [21] benzer bir şekilde ilerleme oranı arttıkça yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığını ortaya koymuştur.

5.1.3. Takım aşınmasının değerlendirilmesi

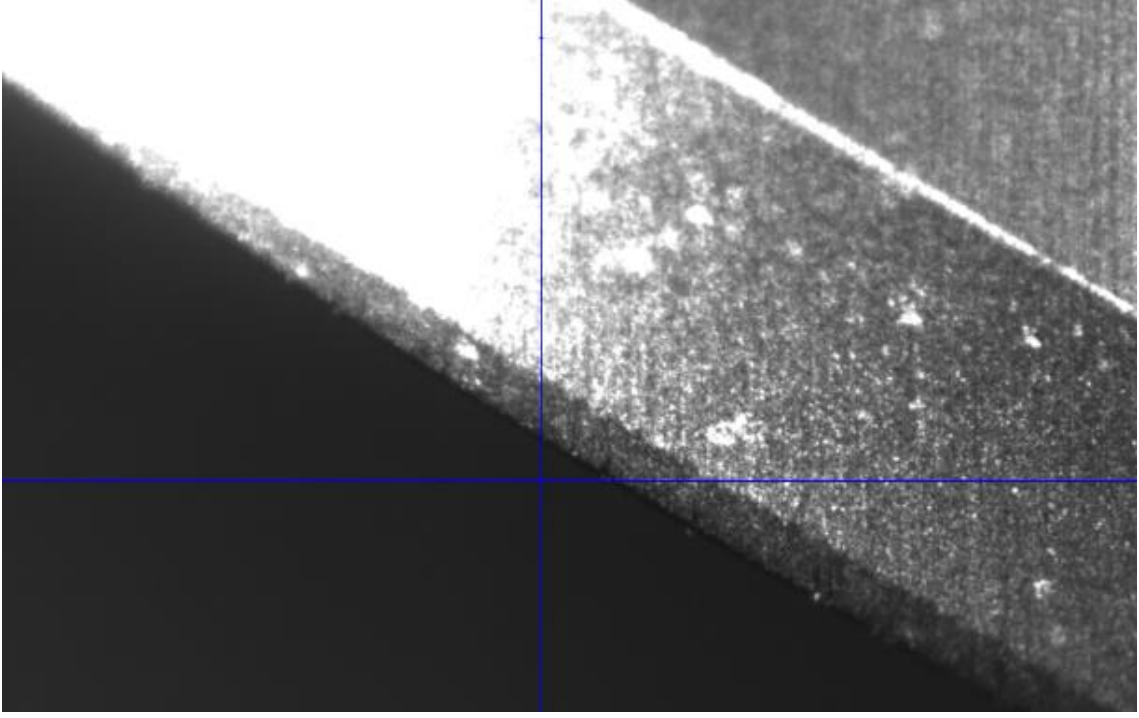
Aşınma deneyleri, standart ve dalgalı kesici takım ile her iki malzeme için TS ISO 8688-2 standardına bağlı olarak, C45'te soğutucu akışkan kullanılarak ve GG25'te ise kuru olarak gerçekleştirilmiştir. Her iki kesici takım kullanılarak iki farklı malzeme üzerinden aynı miktarda talaş kaldırılmıştır. Takım yolu olarak ise yine ilgili standartta yer alan aşağı frezeleme yöntemi kullanılmıştır.

CK45 malzemesi ile ölçülen değerler

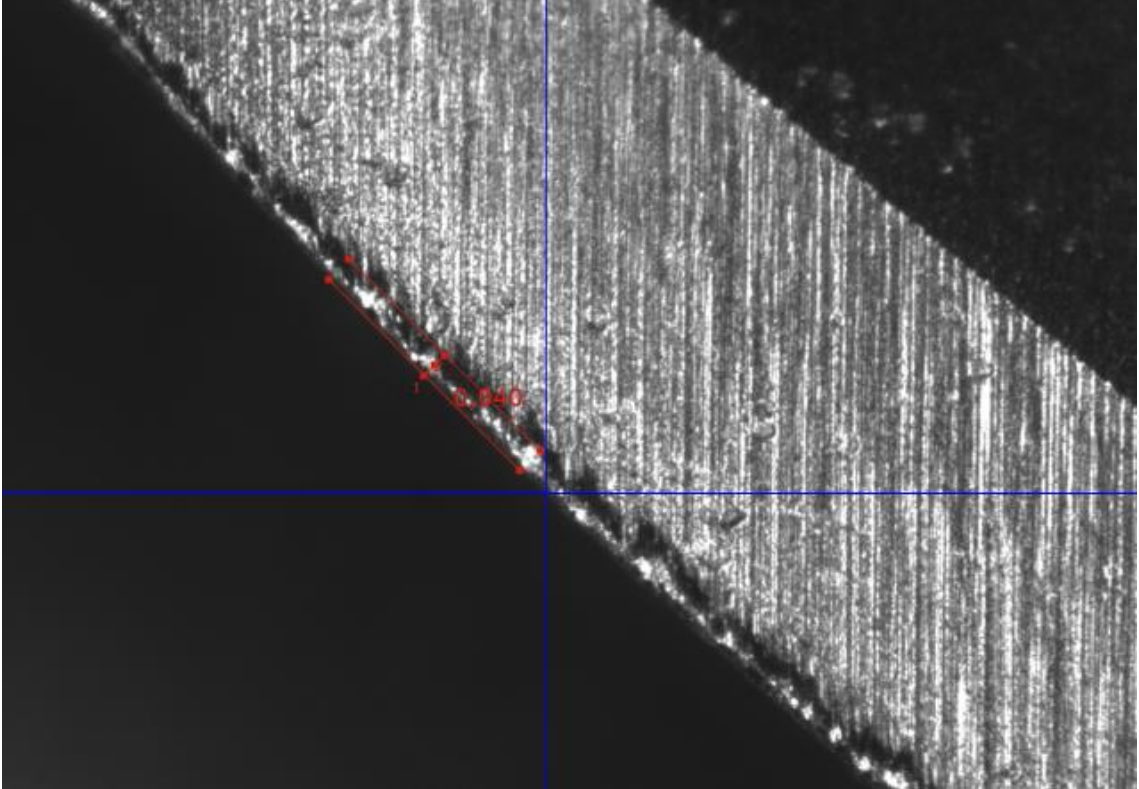
İş parçası olarak 80mm x 80mm x 50mm boyutlarında CK45 kütük kullanılmıştır. Deneylerde toplamda 50 metre uzunluğunda CK 45 işlenmiş ve belirli aralıklarda aşınma ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümler kesici takıma ait dört adet kesici kenardan da gerçekleştirilmiş ve en büyük aşınma miktarı dikkate alınmıştır. Deneylerin sonucunda ölçülen maksimum aşınma miktarları Çizelge 5.7'de verilmiştir. Deneyler sonucunda, her iki takımın kesici kenar yüzeyinde serbest kenar aşınma mekanizması gözlenmiş olup standart takımın dalga formu takımından daha fazla aşındığı ölçülmüştür.

Çizelge 5.7 Kesme uzunluğuna bağlı aşınma miktarı

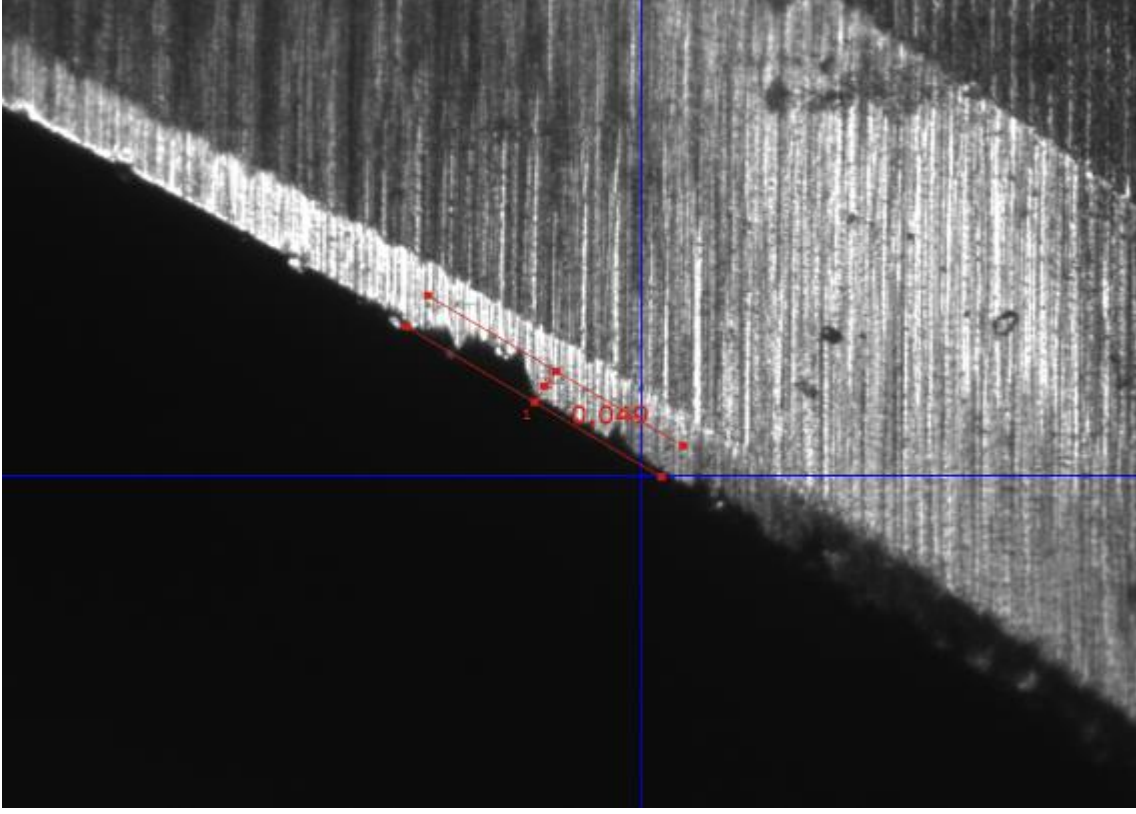
Kesme Uzunluğu [m]	Standart Freze Aşınma Miktarı [µm]	Dalga Formlu Freze Aşınma Miktarı [µm]
10	-	-
30	47	40
50	63	49



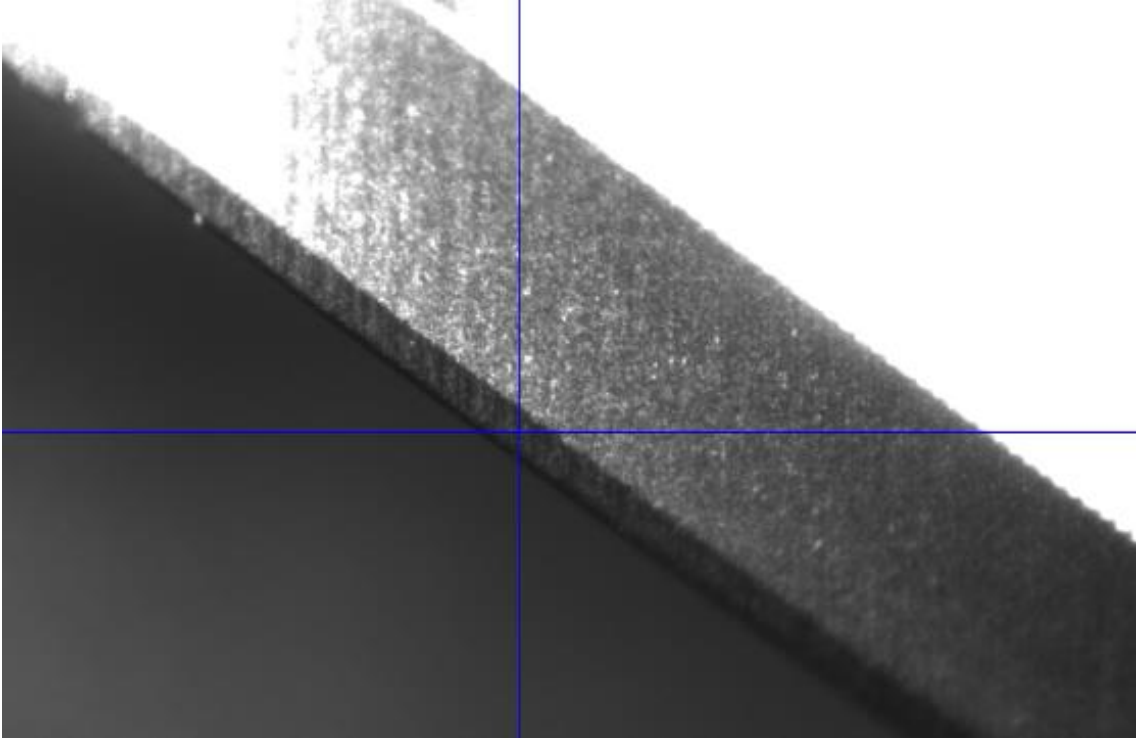
Resim 5.1. Dalga formu freze serbest yüzey aşınma miktarı – 10 metre



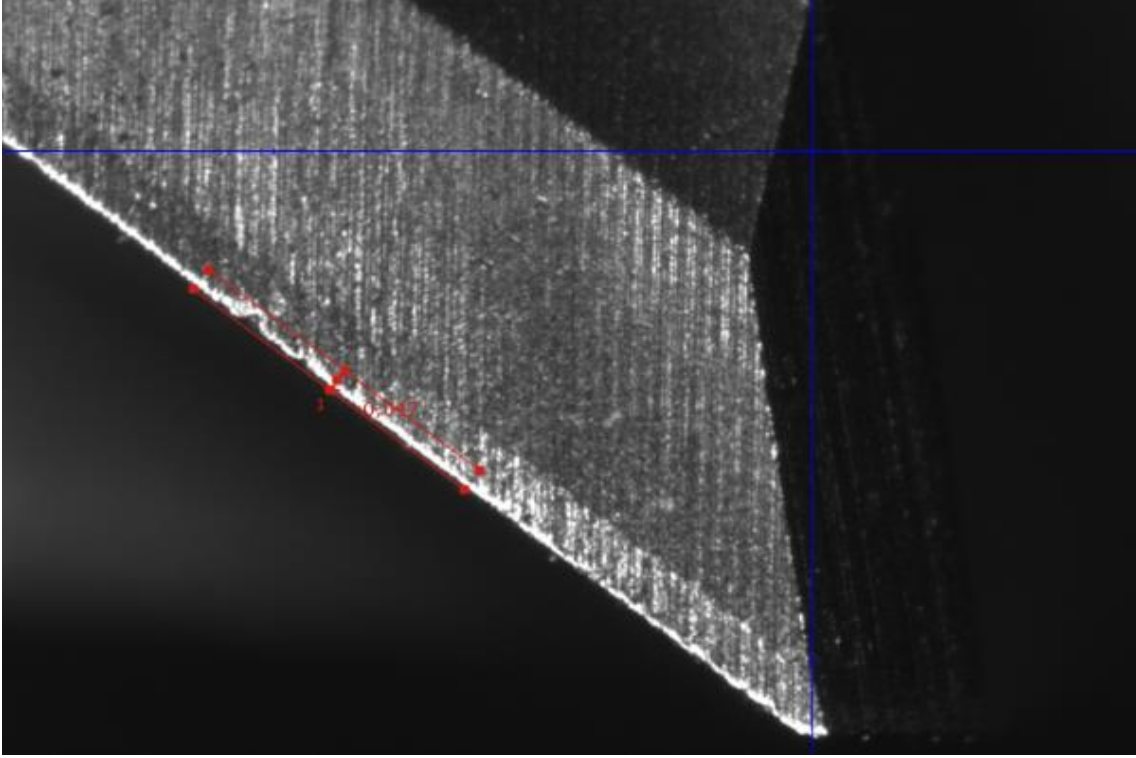
Resim 5.2. Dalga formu freze serbest yüzey aşınma miktarı – 30 metre



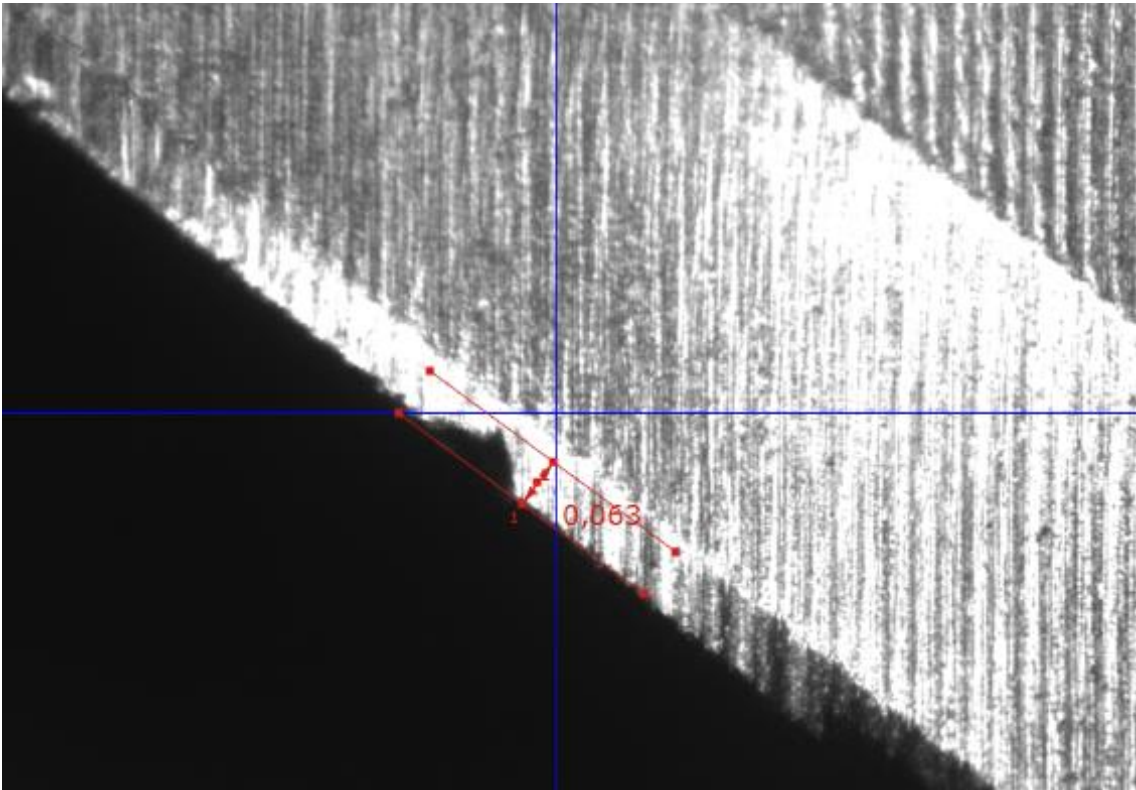
Resim 5.3. Dalga formlu freze serbest yüzey aşınma miktarı – 50 metre



Resim 5.4. Standart freze serbest yüzey aşınma miktarı – 10 metre



Resim 5.5. Standart freze serbest yüzey aşınma miktarı – 30 metre



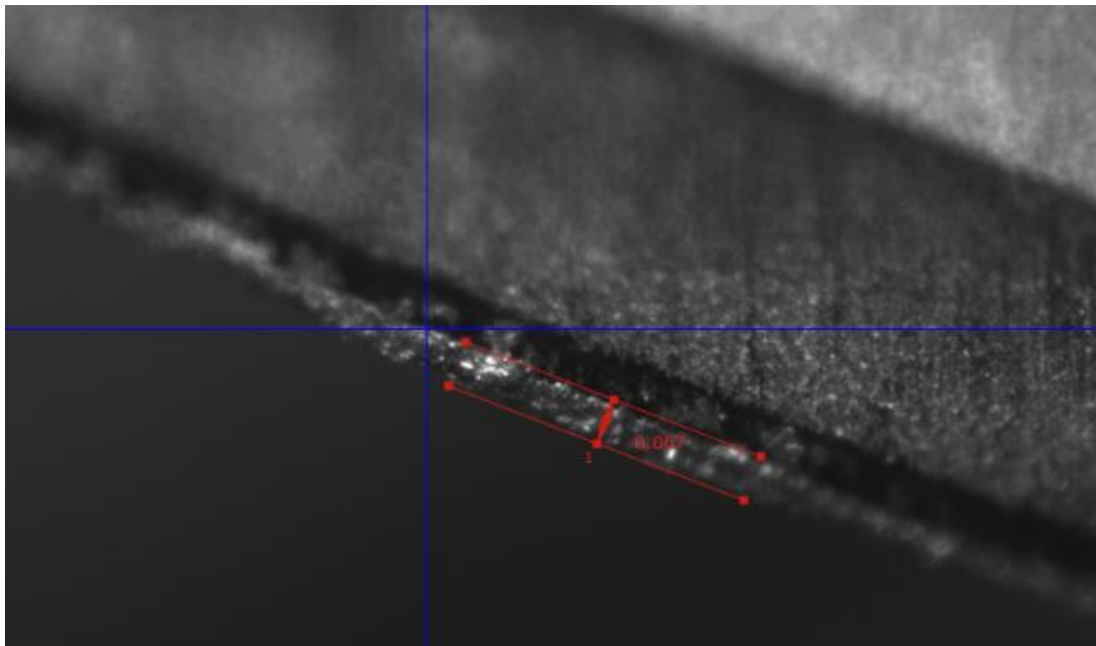
Resim 5.6. Standart freze serbest yüzey aşınma miktarı – 50 metre

GG25 malzemesi ile ölçülen değerler

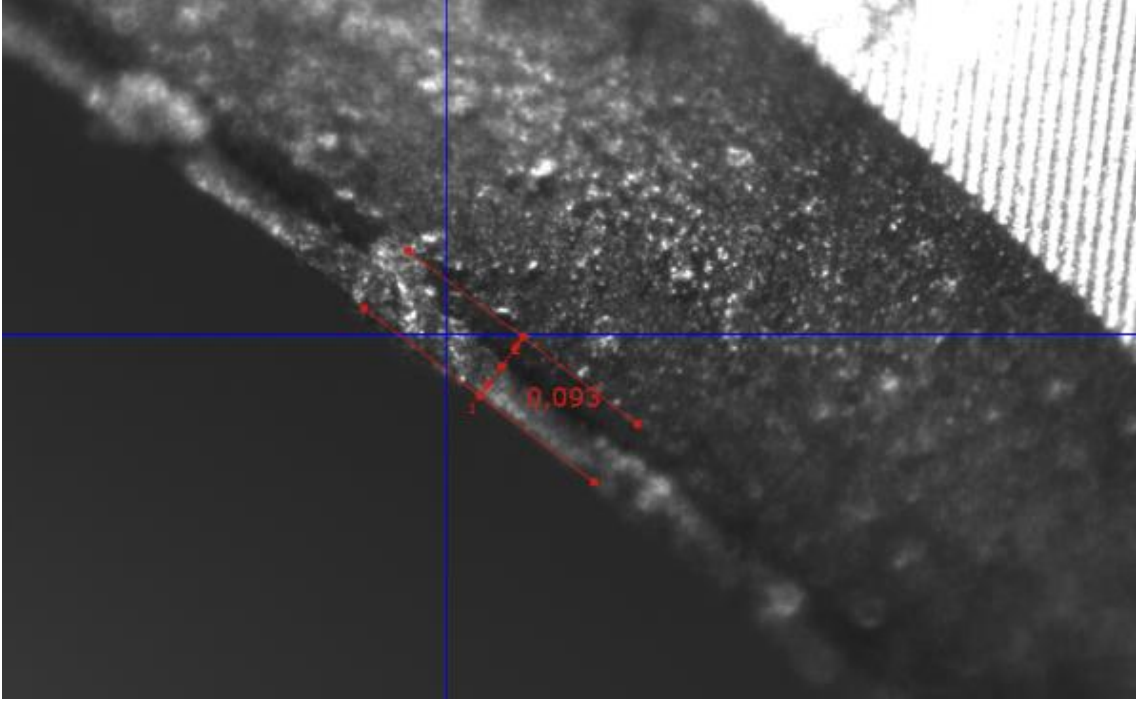
İş parçası olarak 80mm x 80mm x 50mm boyutlarında GG25 kütük kullanılmıştır. Deneylerde standart freze için 30 metre, dalga formu freze için 50 metre uzunluğunda GG25 malzemesi işlenmiş ve belirli aralıklarda aşınma ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümler kesici takıma ait dört adet kesici kenardan da gerçekleştirilmiş ve en büyük aşınma miktarı dikkate alınmıştır. Takım ömür kriteri için 0,100 μm serbest yüzey aşınma miktarı maksimum limit olarak belirlenmiştir. Gerçekleştirilen deneylerde, standart takım kesici kenar yüzeyinde ve dalga formu takım kesici kenar yüzeyinde talaş yığılması mekanizmasına bağlı aşınmalar gözlenmiştir. Standart takımın dalga formlu takımdan daha fazla aşındığı ölçülmüştür. Deneylerin sonucunda ölçülen maksimum aşınma miktarları Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.8 Kesme uzunluğuna bağlı aşınma miktarı

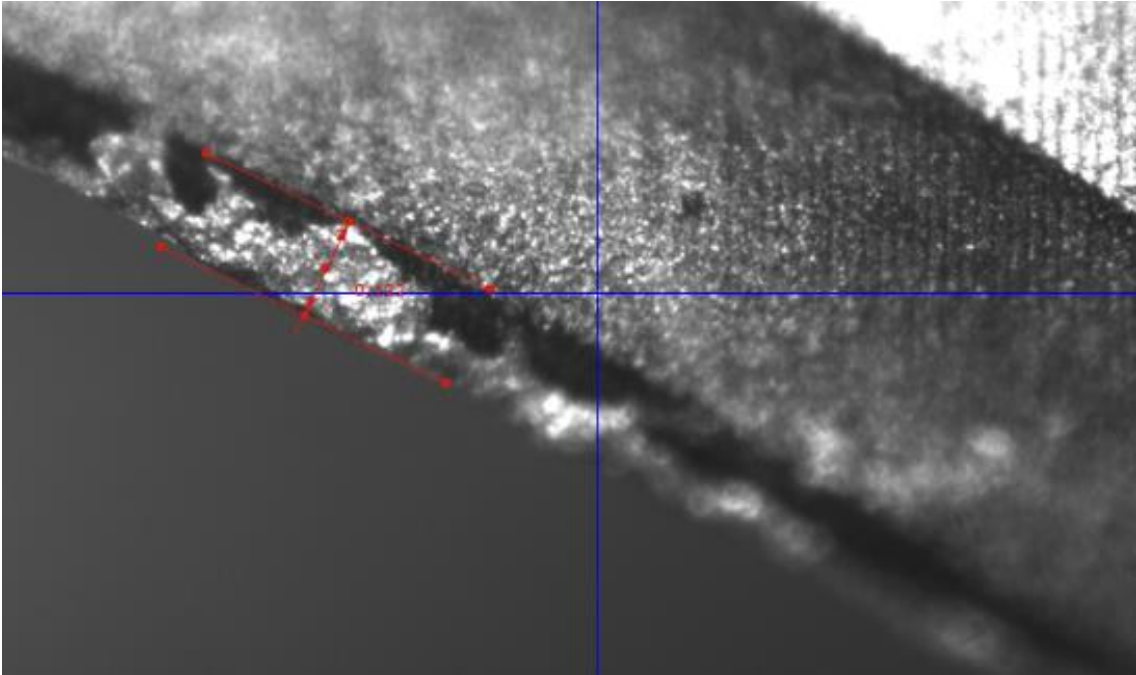
Kesme Uzunluğu [m]	Standart Freze Aşınma Miktarı [μm]	Dalga Formlu Freze Aşınma Miktarı [μm]
10	108	67
30	141	93
50	-	122



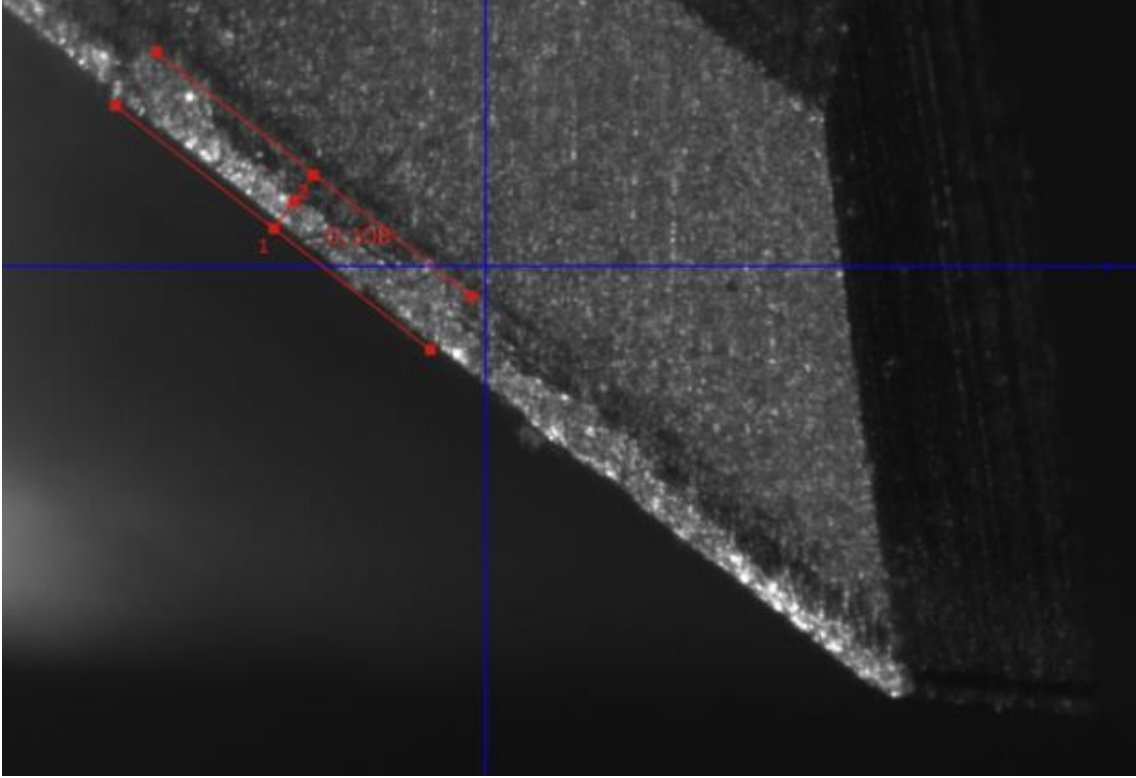
Resim 5.7. Dalga formu freze serbest yüzey aşınma miktarı – 10 metre



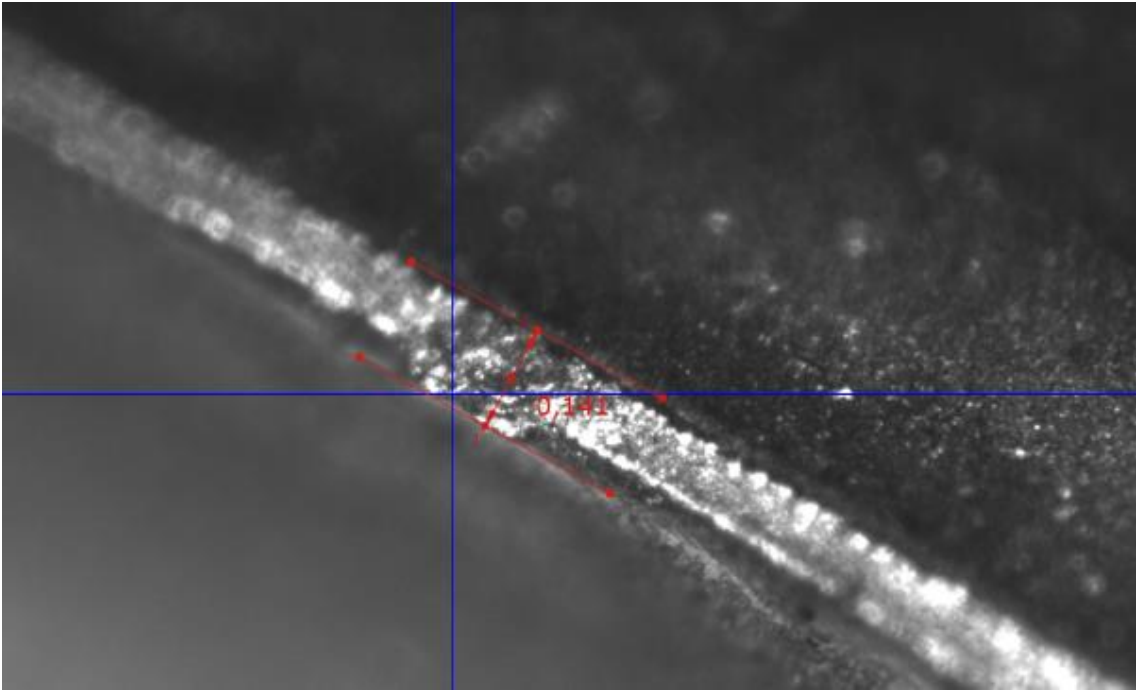
Resim 5.8. Dalga formu freze serbest yüzey aşınma miktarı – 30 metre



Resim 5.9. Dalga formu freze serbest yüzey aşınma miktarı – 50 metre



Resim 5.10. Standart freze serbest yüzey aşınma miktarı – 10 metre



Resim 5.11. Standart freze serbest yüzey aşınma miktarı – 30 metre

G.I.Korovin [7] Titanyum alaşımlarının frezeleme operasyonları üzerine çalışmalar yapmış ve bu çalışmalarda her biri Ø20mm olan standart ve dalga formlu takımlar kullanılarak farklı kesme hızları altında takım ömürleri kıyaslanmıştır. Deney sonuçlarına göre tüm kesme hızlarında dalga formlu takımın standart takıma göre takım ömrü daha yüksek ölçülmüştür.

Dalga formlu kesici takım farklı talaş açlarına sahip olması ve her bir farklı talaş açısı değerinde talaş kaldırma doğrultusunun da farklılık göstermesi sebebi ile standart takıma göre daha küçük talaş kaldırmaktadır. Dalga formlu takımın bu özelliği ona düşük kesme kuvvetlerine ve daha yüksek takım ömrüne sahip olmasını sağlamaktadır.



Resim 5.12. CK45 Talaş formu



Resim 5.13. GG25 Talaş formu

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, helisel kesici takım üzerinde değişken helis ve talaş açılı olarak tasarlanmış dalga formlu parmak freze ile standart bir parmak frezenin işleme performansları deneysel olarak değerlendirilmiştir. Bulgular incelendiğinde şu sonuçlara ulaşılmıştır.

CK45 Malzemesi ile elde edilen sonuçlar

- CK45 malzemesi ile yapılan deneylerde ilerleme hızı arttıkça hem dalga formlu takım için hem de standart takım için F_c kesme kuvvetinin arttığı görülmüştür.
- CK45 malzemesi ile yapılan deneylerde kesme hızı arttıkça standart takıma ait F_c kesme kuvveti artarken, dalga formlu takıma ait F_c kesme kuvveti azalmıştır. Dolayısı ile kesme hızı arttıkça dalga formlu takım ile standart takım arasındaki kuvvet farklı büyümüştür.
- CK45 malzemesi ile yapılan deneylerde Deney No 2 hariç diğer tüm deney şartlarında dalga formlu takım standart takıma göre daha az F_c kesme kuvveti oluşturmuştur.
- CK45 malzemesi ile yapılan deneylerde, F_c kesme kuvveti dikkate alındığında dalga formlu takım için en iyi kesme şartı $V=140$ m/dk ve $f=0,125$ mm/diş'tir
- CK45 malzemesi ile yapılan deneylerde, F_c kesme kuvveti dikkate alındığında dalga formlu takım için en kötü kesme şartı $V=125$ m/dk ve $f=0,10$ mm/diş'tir.
- CK45 malzemesi ile yapılan deneylerde ilerleme hızı ve kesme hızı arttıkça her iki kesici takım için de yüzey pürüzlülük değerinin arttığı görülmüştür.
- CK45 malzemesi ile yapılan deneylerde Deney No 2 hariç diğer tüm deney şartlarında dalga formlu takımın standart takıma göre yüzey pürüzlülük değerleri daha yüksektir.
- CK45 malzemesi ile yapılan deneylerde, yüzey pürüzlülüğü dikkate alındığında dalga formlu takım için en iyi kesme şartı $V=125$ m/dk ve $f=0,10$ mm/diş'tir
- CK45 malzemesi ile yapılan deneylerde, yüzey pürüzlülüğü dikkate alındığında dalga formlu takım için en kötü kesme şartı $V=140$ m/dk ve $f=0,125$ mm/diş'tir.
- CK45 malzemesi ile yapılan deneylerde, her iki takım kesici kenar yüzeyinde serbest kenar aşınma mekanizması gözlenmiş olup standart takım dalga formlu takımdan yaklaşık %22 daha fazla aşınmıştır.

GG25 Malzemesi ile elde edilen sonuçlar

- GG25 malzemesi ile yapılan deneylerde ilerleme hızı arttıkça hem dalga formlu takım için hem de standart takım için Fc kesme kuvvetinin arttığı görülmüştür.
- GG25 malzemesi ile yapılan deneylerde kesme hızı arttıkça hem dalga formlu takım için hem de standart takım için Fc kesme kuvveti de artmaktadır.
- Tüm deney koşullarında dalga formlu takım standart takıma göre daha az Fc kesme kuvveti oluşturmuştur.
- GG25 malzemesi ile yapılan deneylerde dalga formlu takım için en iyi kesme şartı $V=125$ m/dk ve $f=0,125$ mm/diş'tir
- GG25 malzemesi ile yapılan deneylerde dalga formlu takım için en kötü kesme şartı $V=130$ m/dk ve $f=0,10$ mm/diş'tir.
- GG25 malzemesi ile yapılan deneylerde her iki kesici takımın içinde geçerli olmak üzere ilerleme oranı arttıkça yüzey pürüzlülük değerleri artmakta, kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır.
- GG25 malzemesi ile yapılan deneylerde Deney No 1, 2 ve 9 hariç diğer tüm deney şartlarında dalga formlu takımın standart takıma göre yüzey pürüzlülük değerleri daha yüksektir.
- GG25 malzemesi ile yapılan deneylerde, yüzey pürüzlülüğü dikkate alındığında dalga formlu takım için en iyi kesme şartı $V=125$ m/dk ve $f=0,08$ mm/diş'tir
- GG25 malzemesi ile yapılan deneylerde, yüzey pürüzlülüğü dikkate alındığında dalga formlu takım için en kötü kesme şartı $V=140$ m/dk ve $f=0,10$ mm/diş'tir.
- GG25 malzemesi ile yapılan deneylerde, standart takım kesici kenar yüzeyinde serbest kenar aşınma mekanizması, dalga formlu takım kesici kenar yüzeyinde talaş yığılması mekanizmasına bağlı aşınmalar gözlenmiştir. Ölçülen değerlere göre standart takım dalga formlu takımdan yaklaşık %34 daha fazla aşınmıştır.

Yapılan deneyler sonucu bundan sonraki çalışmalara ışık tutması açısından şu önerilerde bulunulabilir;

- Tasarlanan dalga formlu kesici takıma ait dalga geometrisi değiştirilerek her bir değişkenin işlenebilirlik üzerindeki etkileri araştırılabilir
- Dalga formlu takım yüksek kesme hızlarında daha iyi performans göstermesine karşın iş parçası üzerinde daha pürüzlü bir yüzey oluşturduğu görülmüştür. Dalga

geometrisinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini daha net açıklayabilmek için araştırma derinleştirilebilir.

- Talaş kaldırma esnasında meydana gelen titreşimler, kesme kuvvetleri ile beraber ölçülebilir ve dalga formunun titreşimi azaltma eğilimi araştırılabilir.
- Deneysel kesme kuvveti ölçümlerinde dalgalı takım performans artışı her işleme şartı için görülememiştir. Ancak talaş kaldırma şartları ağırlaştıkça ve daha zor işlenebilir malzemeler için dalgalı kesici takımın daha iyi sonuçlar sergileyeceği düşünülmektedir. Buradan yola çıkarak gelecek çalışmalarda işlenebilirliği daha zor olan AISI 304, 316L, Titanyum Grade 5 ve Inconel 718 gibi malzemeler üzerinde bu araştırmalar ortaya konulabilir.

KAYNAKLAR

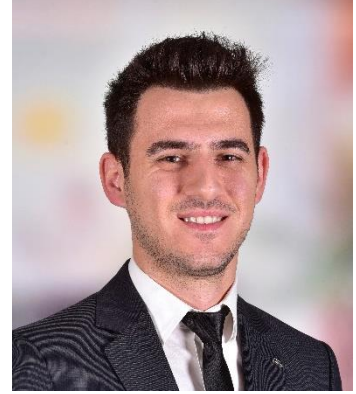
1. Şeker, U., (2019). *Helisel Kesici Kenar Üzerinde Değişken Talaş Açılı Dalgalı Forma Sahip Parmak Frezelerin Tasarımı Ve Farklı Malzemeler Üzerindeki İşleme Performansının DeneySEL Ve Nümerik Olarak İncelenmesi*, Teydep 1002 Projesi, Gazi Üniversitesi.
2. Aydın, K., Akgün, A., Yılmaz, B., Yavaş, Ç., ve Şeker, U., (2019, Kasım). *Helisel Kesici Kenar Üzerinde Değişken Talaş Açısına Sahip Dalga Formlu Parmak Frezenin İşleme Performansının Araştırılması*. Uluslararası Talaşlı İmalat Sempozyumunda, Antalya.
3. Okafor, A.C., and Sultan A.A., (2016). Development of a mechanistic cutting force model for wavy-edge bull-nose helical end-milling of inconel 718 under emulsion cooling strategy, *Applied Mathematical Modelling*, 40 (4), 2637-2660.
4. Okafor, A.C., and Sultan A.A., (2016). Effects of geometric parameters of wavy-edge bull-nose helical end-mill on cutting force prediction in end-milling of Inconel 718 under MQL cooling strategy, *Journal of Manufacturing Processes*, 23, 102-114.
5. Dombovari, Z., and Stepan, G., (2011). The effect of harmonic helix angle variation on milling stability, *ASME 2011 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering*, 4, 467-473.
6. Dombovari, Z., and Stepan, G., (2012). The effect of helix angle variation on milling stability, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 134(5), 1015-1021.
7. Korovin, G., Petrushin, S., and Gubaidulina, R., (2018). Machining of Titanium Alloys with Wave Milling Cutters, *Materials Science Forum*, 927, 79-85.
8. Song, Q., Ai, X., and Zhao, J., (2011). Design for variable pitch end mills with high milling stability, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 55 (9), 891-903.
9. Wan, M., Feng, J., Zhang, W.-H., Yang, Y., and Ma, Y.C., (2017). Working mechanism of helix angle on peak cutting forces together with its design theory for peripheral milling tools, *Journal of Materials Processing Technology*, 249, 570-580.
10. Tangjitsitharoen, S., and Moriwaki, T., (2008). Intelligent monitoring and identification of cutting states of chips and chatter on CNC turning machine, *Journal of Manufacturing Processes*, 48, 1486-1494.
11. Cerit, A.M., (1994). *Makine Mühendisliği El Kitabı-Üretim ve Tasarım*, Ankara: TMMOB makina mühendisleri odası yayınevi, 223-270.
12. Çoğun, C., ve Özses, B., (2002). Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgâhlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(1), 59 - 75

13. Korucu, S., (1996). *Hidrolik Kopya Aparatı Yardımı ile Elde Edilen Parçalarda Yüzey Pürüzlülüğünün Deneyisel İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 23.
14. Kocagöbek, M. A., (2001). *Frezelemede Kesme Parametrelerinin Yüzey Kalitesi ve Mikro Yapıya Etkilerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 34.
15. Anonymous (1997). *Mechanical Vibration and Shock-Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration*, International Organization for Standardization, Geneva-Switzerland, ISO 2631-1, 31.
16. Hannah, J. and Stephens, R.C., (Editörler), (1956). *Examples in Mechanical Vibrations*, London: Edward Arnold Ltd, 152.
17. Sabancı, A., (1981). *Tarım Traktörlerinin Ergonomik Nitelikleri Üzerinde Bir Araştırma*, Türkiye Ziraat Kurumu Tarım Makineleri Araştırma Enstitüsü, Ankara.
18. Günay, M., Aslan, E., Korkut, İ. ve Şeker, U., (2004). Investigation of The Effect of Rake Angle On Main Cutting Force, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 44, 953–959.
19. Günay, M., ve Şeker, U., (2005). Investigation of the Effect of Cutting Tool Rake Angle on Feed Force, *Journal of Polytechnic*, 8(4), 323-328.
20. Özsoy, N., (2019). Experimental Investigation of Surface Roughness of Cutting Parameters in T6 Aluminum Alloy Milling Process, *International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering*, 5(3), 105-111.
21. Julie Z., Joseph C., and Daniel K., (2006). Surface roughness optimization in an end-milling operation using the Taguchi design method, *Journal of Materials Processing Technology* 184, 233–239.
22. İnternet: Harvard University (2019). Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler, URL: http://cfaww.harvard.edu/cfa/oir/MMT/mmt/foltz/mmt_conv5/node33.html, Son Erişim Tarihi: 24.09.2019.
23. İnternet: ISO Standartları (2019). Milli Standartlar, URL: <http://www.iso.com>, Son Erişim Tarihi: 10.11.2019.
24. İnternet: Sandvik (2019). Kesici Takım Malzemesi, URL: <https://www.sandvik.coromant.com/tr-tr/pages/default.aspx>, Son Erişim Tarihi: 20.12.2019.
25. İnternet: Oerlikon Coating (2019). Kesici Takım Kaplamaları, URL: <https://www.oerlikon.com/balzers.com/en/applications/tools/cutting/>, Son Erişim Tarihi: 15.11.2019. |

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AKGÜN, Ali
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 05.03.1991, Bursa
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (546) 203 16 22
 e-mail : ali.akgun@windowlive.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / İmalat Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi / Makine Müh.	2015
Lise	Öğretmen Eyüp Topçu Anadolu Lisesi	2009

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2018-Halen	Türk DemirDöküm Fab. A.Ş.	Ar-Ge Mühendisi
2015-2018	Karcan Kesici Takım San. ve Tic. A.Ş.	Ar-Ge Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Aydın, K., Akgün, A., Yılmaz, B., Yavaş, Ç. ve Şeker, U., (2019, Kasım). *Helisel Kesici Kenar Üzerinde Değişken Talaş Açısına Sahip Dalga Formlu Parmak Frezenin İşleme Performansının Araştırılması*. Uluslararası Talaşlı İmalat Sempozyumunda sunuldu, Antalya.

Hobiler

Yüzme, Gitar, Dans



GAZİ GELECEKTİR..