

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI ADIMLI KESİCİ AĞIZLARA
SAHİP FREZE ÇAKILARININ TIRLAMA
TİTREŞİMLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

İsmail ARIK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Danışman
Doç. Dr. Hacı SAĞLAM

Konya, 2010

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI ADIMLI KESİCİ AĞIZLARA SAHİP FREZE ÇAKILARININ
TIRLAMA TİTREŞİMLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

İsmail ARIK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Bu tez... / 06/ 2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

(Jüri Başkanı)
Prof. Dr. Süleyman YALDIZ

(Üye)
Doç. Dr. Hacı SAĞLAM

(Üye)
Yrd. Doç. Dr. Recai KUŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI ADIMLI KESİCİ AĞIZLARA SAHİP FREZE ÇAKILARININ TIRLAMA TİTREŞİMLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

İsmail ARIK

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hacı SAĞLAM

2010, 108 Sayfa

Günümüzde imalat teknolojisi, maliyeti azaltma ve verimliliği artırma amacıyla, en iyi kesme koşullarının ve takım tutucuların tespitine yönelik çalışmaların ışığında son derece hızlı bir gelişim içerisinde. Bu amaçla geleneksel imalat işlemlerinin yerini yüksek hızlı imalat işlemleri almıştır. Ancak takım-iş parçası ara yüzünde meydana gelen şiddetli titreşimler (tırlama), yüksek hızlı imalatı sınırlayan bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Tırlama, bir önceki dişin kesme esnasında oluşturduğu fazın, bir sonraki dişin oluşturduğu fazdan farklı olması halinde gerçekleşen anlık talaş genişliği değişimi ile oluşur. Takım-iş parçası dinamiğini etkileyen bu olumsuzluğu bertaraf etmek için, kesici uçların takım tutuculara değişken aralıklı olarak yerleştirilmesi bir çözüm olarak düşünülebilir.

Bu çalışmada, kesici uçları değişken aralıklarla yerleştirilmiş takımlar kullanılarak tırlama titreşimini azaltmak ve bu sayede yüzey pürüzlülüğünün iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Tezgâh kararlılığının tespiti için tırlama titreşim verileri dikkate alınmış ve yapılan değerlendirmeler yüzey pürüzlülüğü ile ilişkilendirilmiştir. Sonuç olarak aynı kesme koşullarında standart (geleneksel) adımli takım tutucular ile değişken adımli takım tutucuların gerçekleştirdiği performanslar birbirlerinden önemli ölçüde farklılıklar göstermiştir. Yapılan kesme deneylerinin neticesinde (teorik olarak kararlı bölge diyagramları oluşturmadan) kararlı bölgede kesme yapan takımlar belirlenmeye çalışılmıştır. Böylece herhangi bir takım için kesme koşulları optimizasyonu gerçekleştirilebilir veya kesme koşullarına göre yeni bir takım geometrisi oluşturulabilir.

Anahtar Kelimeler: Alın Frezeleme, Yüzey Pürüzlülüğü, Tırlama Titreşimi, Değişken Adımlı Freze Takımı.

ABSTRACT**Master Thesis****THE EFFECT OF MILLING CUTTER HAVING DIFFERENTIAL
PITCHED CUTTING EDGES ON CHATTER VIBRATIONS****İsmail ARIK****Selcuk University****Graduate School of Natural and Applied Sciences****Department of Machine Education****Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hacı SAĞLAM****2010, 108 Pages**

Today, manufacturing technology is in the extremely rapid development in order to reduce production cost and increasing productivity with the goal of detection of the best cutting condition and tool holder. For this purpose, high-speed manufacturing process has taken the place of the traditional manufacturing process. However, severe vibration (chatter) occurring between tool-workpiece interfaces acts as a factor that limits high-speed manufacturing. Chatter is caused by variations in the instantaneous chip thickness caused when the vibration of the tooth currently engaged in the cut is out of phase with the vibration of the previous tooth. To eliminate the unfavorable state that affects tool-workpiece dynamics, the placement of cutting inserts as variable pitch on tool holders can be seen as a solution.

In this study, the aim is to reduce the chatter vibration by means of variable tooth pitch, and thus, to improve the surface roughness. For stability of machine, chatter vibration data has been taken into account and the assessment has been related with surface roughness. Consequently, in the same cutting conditions, tool performance of equal pitch tools and variable pitch tools has been significantly different. As a result of experimental study (without theoretical stability diagram), the tool cutting material in stability lobe has been determined. So, it can be found out that it is possible to form optimization of cutting tool conditions or new tool geometry can be formed.

Key words: Face Milling, Surface Roughness, Chatter Vibration, Variable Pitch Milling Tool.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca, derin bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren, hiçbir desteğini esirgemeyen Tez Danışmanım Doç. Dr. Hacı SAĞLAM'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca tezimin her aşamasında engin anlayışı ile sınırsız yardımlarını gördüğüm hocam Prof. Dr. Süleyman YALDIZ'a, deneysel çalışmalarına çok değerli katkılarından dolayı Öğr. Gör. Süleyman NEŞELİ'ye, Öğr. Gör. Gökhan YALÇIN'a, S.Ü. Teknik Bilimler M.Y.O. Makine atölyesi teknisyenlerine ve beni manevi olarak destekleyen sevgili eşime, Ayrıca deneylerimde kullandığım freze tarama başlıklarını özel olarak imal eden AKKO Mak. San. Tic. Ltd. Şti. firmasının sahibi Abdullah KARAKUŞ ve Oğlu Ömer KARAKUŞ beylere de değerli katkılarından dolayı en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Özet	i
Abstract	ii
Teşekkür	iii
İçindekiler	iv
Şekil Listesi	vii
Tablo Listesi	x
Semboller	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. TALAŞ KALDIRMA İŞLEMİNİN MEKANİĞİ	10
3.1. Dik (Ortogonal) Kesme Mekanîği.....	11
3.2. Meyilli (oblique) Kesme Mekanîği.....	15
4. TALAŞ BİÇİMLERİ	17
4.1. Talaş Biçimini Etkileyen Faktörler	17
4.2. Talaş Tipleri.....	18
4.2.1. Kesintili talaş.....	18
4.2.2. Sürekli talaş.....	19
4.2.3. Yığma ağızlı talaş (BUE).....	20
5. FREZELEMEDE TALAŞ GEOMETRİSİ	21
5.1. Çevresel Frezelemede Talaş geometrisi.....	21
5.2. Alın Frezelemede Talaş Geometrisi.....	22

6. TAKIM GEOMETRİSİ	25
6.1. Frezelemede Takım Geometrisi.....	28
7. TALAŞ KALDIRMA İŞLEMİNE TAKIM GEOMETRİSİNİN ETKİSİ	30
7.1. Talaş Kaldırma İşlemine Takım Açılarının etkisi.....	31
7.1.1. Radyal talaş Açısı.....	34
7.1.2. Eksenel talaş açısı.....	34
7.1.3. Giriş/yaklaşma açısı.....	35
7.1.4. Kesici takım uç radyüsü.....	36
7.1.5. Yan-kesme kenarı açısı.....	37
7.1.6. Yan-boşluk açısı.....	37
7.1.7. Ön-boşluk açısı.....	38
8. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ.....	39
8.1. Yüzey Kalitesini Etkileyen Faktörler.....	40
8.2. Yüzey Yapısının Özellikleri.....	41
8.3. Yüzey Hatalarının İncelenmesinde Genel Kurallar.....	42
8.4. Yüzey Kalitesini Belirlemede Esas Alınan Sayısal Değerler.....	43
8.5. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri.....	44
8.5.1. Ortalama eksen çizgi değeri (c_a , R_a).....	44
8.5.2. İşleme parametrelerinin R_a ile ilişkisi	45
8.5.3. Pürüzlülük izleme (cut-off) genişliği.....	45
8.6. Örnekleme uzunluğu.....	46
9. TIRLAMA TİTREŞİMİ.....	47
9.1. Zorlanmış Titreşimler.....	48
9.2. Kendiliğinden Oluşan Titreşimler.....	53
9.3. Yenilenebilen Tırlama.....	57
9.4. Mod Çiftlemesi.....	60

10. DENEYSEL ÇALIŞMA	64
10.1. Deneyin Yapısı.....	64
10.2. Deney Şeması.....	65
10.3. İvmelenme/Titreşim Ölçümü.....	66
10.4. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü.....	67
11. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER	69
11.1. 1 Numaralı Takımın (Kesici uç yerleşim aralıkları tamamen değişken) Sabit Kesme Hızı ve Değişken İlerleme Değerleri İçin Titreşim-Pürüzlülük İlişkisi.....	69
11.2. 2 Numaralı Takımın (Kesici uç yerleşim aralıkları 2° ardışık değişken) Sabit Kesme Hızı ve Değişken İlerleme Değerleri İçin Titreşim-Pürüzlülük İlişkisi.....	72
11.3. 3 Numaralı Takımın (Kesici uç yerleşim aralıkları eşit) Sabit Kesme Hızı ve Değişken İlerleme Değerleri İçin Titreşim-Pürüzlülük İlişkisi	75
11.4. 1,2 ve 3 Numaralı Takımların, Sabit Kesme ve Değişken İlerleme Hızlarında Oluşturdukları Titreşim ve Pürüzlülük Değerlerinin Kıyaslanması.....	77
11.5. Takımların, Sabit Kesme ve Değişken İlerleme Hızlarındaki Yüzey Pürüzlülük Değerlerinin Karşılaştırılması.....	84
11.6. Takımların, Sabit Kesme ve Değişken İlerleme Hızlarındaki titreşim Değerlerinin Karşılaştırılması.	85
14. SONUÇLAR	87
KAYNAKLAR	89
EKLER	95

ŞEKİL LİSTESİ		
Şekil No		Sayfa No
Şekil 3.1	Dik kesme operasyonunun şematik gösterilişi.....	12
Şekil 3.2	Dik (Orthogonal) kesme işleminin geometrisi.....	14
Şekil 3.3	Meyilli kesme işleminin geometrisi.....	16
Şekil 4.1	Kesintili talaş.....	18
Şekil 4.2	Sürekli (yığma ağızsız) talaş.....	19
Şekil 4.3	Yığma ağızlı talaş (BUE)	20
Şekil 4.4	Sıvanmanın (BUE) farklı oluşumları.....	20
Şekil 5.1	Çevresel frezeleme; (a) Zıt yönlü frezeleme, (b) Aynı yönlü frezeleme.....	21
Şekil 5.2	Alın frezelemede talaş boyutları.....	23
Şekil 6.1	Kesme açılarının temel geometrisi.....	26
Şekil 6.2	Kesici takım açıları normal talaş sistemi.....	27
Şekil 6.3	Bir karbür alın freze takım ucu geometrisi.....	28
Şekil 6.4	Pozitif ve negatif talaş açılı bir takım geometrisi.....	29
Şekil 7.1	İlerleme ve takım uç yarıçapının pürüzlülüğe etkisi.....	30
Şekil 7.2	Genelleştirilmiş tek ağızlı torna kalemi üzerindeki açılar.....	31
Şekil 7.3	Freze radyal talaş açıları.....	34
Şekil 7.4	Freze aksenal talaş açıları.....	35

Şekil 7.5	Freze yaklaşma açısı.....	36
Şeki7.6	Köşe kavisli ve düzlem yüzey yapılı bir takım ucu.....	36
Şekil 7.7	Profil derinliğinin uç radyüsü ve ilerleme ile değişimi.....	37
Şekil 8.1	Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler.....	41
Şekil 8.2	İşlenmiş bir yüzeyin yüzey karakteri.....	42
Şekil 8.3	Yüzey pürüzlülük profili.....	42
Şekil 8.4	Yüzey kalitesi için sayısal değerler.....	44
Şekil 9.1	Sönümlü tek serbestlik dereceli kütle-yay sistemi.....	50
Şekil 9.2	Tek serbestlik dereceli kütle-yay sisteminin cevap eğrisi.....	51
Şekil 9.3	Cevap eğrisinden sönümlenmiş sistem sabitinin tespiti.....	52
Şekil 9.4	Kendiliğinden oluşan titreşimlerin prensip diyagramı.....	54
Şekil 9.5	Talaş genişliğinin talaş derinliğine göre değişimi.....	55
Şekil 9.6	Deforme edilmemiş talaş kalınlığının değişimi.....	56
Şekil 9.7	Titreşim sisteminin modellenmesi.....	58
Şekil 9.8	Kesme işleminde dalgalanmış yüzey.....	59
Şekil 9.9	Tornalama için iki serbestlik dereceli tırlama modeli.....	60
Şekil9.10	İki serbestlik dereceli titreşim sisteminin modellenmesi.....	61
Şekil 9.11	Önceden deforme edilmemiş yüzeyin işlenmesi hali.....	61
Şekil 9.12	Konum çiftleme prensibine göre takımın aldığı eliptik yol.....	62
Şekil 10.1	Freze çakısının genel özellikleri.....	65

Şekil 10.2	Freze çakılarında kesici uç yerleşim adımları.....	65
Şekil 10.3	Deney setinin şematik görünüşü.....	66
Şekil 10.4	Tek-eksenli piezo-elektrik ivme ölçer ve şarj yükseltici.....	67
Şekil 10.5	Mahr Perthometer M1 pürüzlülük ölçüm cihazı.....	67
Şekil 10.6	İvmeölçerin mihengire tespiti.....	68
Şekil 11.1	1 Numaralı Takımın Sabit kesme hızı ve değişken ilerleme değerlerinde oluşturduğu titreşimlerin pürüzlülüğe etkileri.....	69
Şekil 11.2	2 Numaralı Takımın Sabit kesme hızı ve değişken ilerleme değerlerinde oluşturduğu titreşimlerin pürüzlülüğe etkileri.....	72
Şekil 11.3	3 Numaralı Takımın Sabit kesme hızı ve değişken ilerleme değerlerinde oluşturduğu titreşimlerin pürüzlülüğe etkileri.....	75
Şekil 11.4	1,2 ve 3 (T1, T2, T3) Numaralı takımların sabit kesme hızı (V=178m/dak.) ve değişken ilerleme (f= 125,160,200mm/dak.) değerlerinde oluşturdukları titreşim ve pürüzlülük grafikleri.....	77
Şekil 11.55	1,2 ve 3 (T1, T2, T3) Numaralı takımların sabit kesme hızı (V=226m/dak.) ve değişken ilerleme (f= 125,160,200mm/dak.) değerlerinde oluşturdukları titreşim ve pürüzlülük grafikleri.....	79
Şekil 11.6	1,2 ve 3 (T1, T2, T3) Numaralı takımların sabit kesme hızı (V=281m/dak.) ve değişken ilerleme (f= 125,160,200mm/dak.) değerlerinde oluşturdukları titreşim ve pürüzlülük grafikleri.....	81
Şekil 11.7	1,2 ve 3 (T1, T2, T3) Numaralı takımların sabit kesme hızı (V=364m/dak.) ve değişken ilerleme (f= 125,160,200mm/dak.) değerlerinde oluşturdukları titreşim ve pürüzlülük grafikleri.....	82
Şekil 11.8	1,2 ve 3 (T1, T2, T3) Numaralı takımların sabit kesme ve değişken ilerleme hızlarında oluşturdukları pürüzlülük grafikleri	84
Şekil 11.9	1,2 ve 3 (T1, T2, T3) Numaralı takımların sabit kesme ve değişken ilerleme hızlarında oluşturdukları titreşim grafikleri....	85

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo No		Sayfa No
Tablo 10.1	Deney numunesinin kimyasal yapısı	64
Tablo 10.2	Kesme parametreleri ve işleme şartları	64
Tablo 10.3	1 Numaralı takımın sabit kesme hızı ve değişken ilerleme değerlerine bağlı olarak oluşturduğu titreşim ve pürüzlülük verileri	70
Tablo 10.4	2 Numaralı takımın sabit kesme hızı ve değişken ilerleme değerlerine bağlı olarak oluşturduğu titreşim ve pürüzlülük verileri	73
Tablo 10.5	3 Numaralı takımın sabit kesme hızı ve değişken ilerleme değerlerine bağlı olarak oluşturduğu titreşim ve pürüzlülük verileri	76
Tablo 10.6	Takımların sabit kesme hızı (178m/dak.) ve değişken ilerleme değerlerine bağlı olarak oluşturduğu titreşim ve pürüzlülük verileri	78
Tablo 10.7	Takımların sabit kesme hızı (226m/dak.) ve değişken ilerleme değerlerine bağlı olarak oluşturduğu titreşim ve pürüzlülük verileri	79
Tablo 10.8	Takımların sabit kesme hızı (281m/dak.) ve değişken ilerleme değerlerine bağlı olarak oluşturduğu titreşim ve pürüzlülük verileri	81
Tablo 10.9	Takımların sabit kesme hızı (364m/dak.) ve değişken ilerleme değerlerine bağlı olarak oluşturduğu titreşim ve pürüzlülük verileri	82

SEMBOLLER

- α : Boşluk açısı
 β : Kama açısı
 γ : Talaş açısı
 θ : Giriş (Yaklaşma) açısı
 φ : Kayma açısı
 γ_{ne} : Efektif talaş açısı
 α_{ne} : Efektif boşluk açısı
 α_f : Yan-kenar talaş açısı
 α_p : Arka/sırt talaş açısı
 F_t : Esas kesme kuvveti (Teğetsel kuvvet)
 F_f : İlerleme kuvveti
 F_r : Radyal kuvvet
 F_n : Normal kuvvet
 V : Kesme hızı
 V_c : Talaş hızı
 R : Bileşke takım kuvveti
 R_I : Bileşke talaş kuvveti
 r : Takım uç yarıçapı
 h : Talaş kalınlığı
 h_m : Ortalama talaş kalınlığı
 t_c : Talaş derinliği
 t : Deforme olmamış talaş kalınlığı
 b : Talaş genişliği
 k_c : Özgül kesme kuvveti
 τ_k : Kopma mukavemeti
 δ_c : İş-yüzey eğimi

- τ_s : Kayma gerilmesi
- l_{kt} : Yapışma-sürtünme bölgesinin uzunluğu
- τ_f : Yapışma-sürtünme bölgesi sürtünme gerilmesi
- L : Örnekleme uzunluğu
- R_a : Ortalama pürüzlülük
- $R_{\max} (R_y)$: En büyük pürüzlülük
- R_q : Orta eksenin altında ve üstündeki sapmaların geometrik ortalama değeri
- R_z : Değerlendirme aralığındaki en yüksek beş çıkıntı ile en derin beş girintinin mutlak değerlerinin ortalaması
- R_t : Filtre edilmiş pürüzlülüğün en yüksek tepesi ile en derin girintisi arasındaki mesafe
- K_f : Talaş kalınlığı yönündeki kesme kuvveti katsayısı
- b_{\lim} : Kritik kesme derinliği
- F_m : Harmonik kuvvetin max. Değeri
- ΔF : Değişken kuvvet bileşkesi
- ω : Açısal frekansı
- ω_n : Tabii açısal frekans
- δ : Sönümlenme katsayısı
- a : Titreşim genliği
- μ : Üst üste binme faktörü
- T : Periyot
- f : Titreşim frekansı
- m : Eşdeğer titreşim ağırlığı
- C_x ve C_y : Sönümlenme viskozite sabiti
- k_x ve k_y : Makine yapısı rijitlik sabiti
- Y_0 : Kesici takımın iş parçası yüzeyinden önceki geçişi sırasında oluşan yüzeydeki dalgalanmalar arasındaki fark
- Y : En son geçişteki titreşimler

KISALTMALAR

BUE : Yığıma talaş (build-up-edge)

ZYF : Zıt yönlü frezeleme

AYF : Aynı yönlü frezeleme

YKKA: Yan kenar kesme açısı

YBA : Yan boşluk açısı

T1: 1 Numaralı Takım

T2: 2 Numaralı Takım

T3: 3 Numaralı Takım

1. GİRİŞ

Frezeleme işlemi; çevresinde kesici ağızları bulunan kesici takımın, kendi eksenini etrafında dönme hareketine karşılık, freze tezgâhının tablasına bağlanmış olan iş parçasının belirli eksenlerde ilerleme hareketi yapmasıyla meydana gelen Talaş kaldırma işlemidir (Akkurt 2004).

Frezeleme işlemi esnasında takım tezgâhı, iş ve takım bağlama, işleme parametreleri ve takım tasarımından kaynaklanan titreşimler söz konusudur. Genelde bu tip titreşimler belirli bir seviyede tutulabildikleri müddetçe ciddi bir problem oluşturmazlar ve genel olarak yüksek rijitliğe sahip tezgâhlarda uygun takım ve işleme parametreleri ile yapılan frezeleme işlemlerinde yüzey kalitesi üzerinde kayda değer etkileri yoktur. Eğer bu titreşimler belirlenen sınırları aşarsa yüzey pürüzlülüğü üzerinde artışın yanı sıra takım ömrü ve tezgâhın ekonomik kullanım süresi üzerinde olumsuz etkilere sebep olmaktadır.

Kesici ucun iş parçasına temas frekansı bazen tezgâhın ve muhtemelen iş parçasının doğal frekansı ile çakışabilir. Bu titreşimler çok zararlıdır, dolayısıyla bu durumun önüne geçilmelidir. Bu durum frezelemede çok yaygındır ve iş mili hızının frekanslarının çakışmasına engel olacak şekilde ayarlanmasıyla önlenir. Ancak bu metodun da kendine göre sınırları vardır. Hızın ayarlanması, işlemeye en uygun kesme hızı aralığı dışına çıkılmasına yol açabilir.

Titreşim ile kesme kuvvetinin büyüklüğü arasında bir ilişki vardır. Kesme kuvvetleri pozitif talaş açılı takımlar seçilerek azaltılabilir. Bu kesme kuvvetleri herhangi bir anda iş parçasına temas eden kesici kenar sayısının azaltılmasıyla daha da azaltılabilir. Bu durumda kesme kuvveti; devir başına ilerleme aynı kalsa bile azalır.

Yüzey kalitesi ile şekil ve konum toleransları kesme parametrelerine, takım geometrisine takım ve tezgâhın rijitliğine, tırlama titreşimlerine ve iş parçasının bağlama durumuna göre değişmektedir. Bu yüzden istenen yüzey kalitesini kontrol etmek için optimum işleme parametrelerinin seçimi çok önemlidir. Uygun seçilmeyen işleme parametreleri kesici takımların kırılması, hızlı aşınması, yanması gibi zararların yanı sıra iş parçasının veya yüzey kalitesinin bozulması gibi ekonomik kayıplara da neden olmaktadır.

Bu çalışmada “kesici ağızları değişken aralıklarla yerleştirilmiş freze takımları” kullanarak değişik kesme parametreleri ile yapılan talaş kaldırma işlemleri sonucu kesme esnasında meydana gelen tırlama titreşimleri ve bunun yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin deneysel araştırması yapılmıştır. Yüzey yapısındaki değişimlerin dolaylı olarak ölçülebilmesi için kesme işlemi sırasında titreşim sensörü kullanılarak ivmelenme sinyalleri kaydedilmiş ve sensör verileri entegre edilerek, işlenmek ve değerlendirilmek üzere bilgisayar ortamında kaydedilmiştir. Talaş kaldırılan metal malzemenin yüzey yapısı pürüzlülük ölçüm cihazı yardımıyla Ra pürüzlülük değerleri ölçülerek, ölçüm öncesi yapılan deneylerden elde edilen verilerin işlenmesi ve değerlendirilmesi sonucunda, frezede talaş kaldırma esnasında değişik kesme parametreleri kullanılarak alınan verilerle, pürüzlülük ve titreşim arasındaki etkileşim yorumlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Hahn (1953) tarafından yapılan çalışmada metal kesme işleminde kendiliğinden doğan titreşim ve onun yok edilmesi konusu işlenmiştir. Kendiliğinden-doğan titreşim probleminin çözümü için titreşim modlarının incelenip sönümleyici uygulanması gerektiğini açıklamaktadır. Kendiliğinden oluşan titreşimlerin sebeplerini üç kısımda inceleyen araştırmacıya göre ilk titreşimin (primary chatter) sebebi sıcaklık gecikmesi ve kayma düzlemi civarındaki gerilme durumudur. Kendiliğinden oluşan titreşimin nedenlerinden ikincisi, geçiş kararsızlığıdır. Bu kararsızlık iş parçasının homojen olmayan yapısından kaynaklanmaktadır. Yüzeyi sertleştirilmiş bir iş parçasının işlenmesi esnasında bu titreşimlerle karşılaşılabilir. Üçüncü neden, dalgalı olan bir iş parçası üzerinden talaş kaldırma esnasında oluşabilecek ve periyodik bir alternatif oluşturabilecek geri besleme etkisidir. Hahn ayrıca metal kesme işleminde meydana gelen zorlanmış titreşimlerde periyodik dalgalanmaların frekansının iş mili hızıyla orantılı olduğunu, fakat kendiliğinden-doğan titreşimlerde periyodik dalgalanmaların iş mili hızından bağımsız ve tabii frekansla orantılı olduğunu açıklamıştır. Temel teoriyi Den Hartog (1947)'dan alan araştırmacı neticede kendiliğinden-doğan titreşim için yeni bir teori geliştirmiştir.

Akün (1956) tarafından yapılan araştırmada, tezgâh titreşimlerinin önemi, titreşim probleminin çok karışık olduğu ve bu titreşimlerin analizi için gerekli aletlerin mevcut olduğu belirtilmiştir. Araştırmada üç eksen boyunca, kalem ve parça eksenli titreşimleri ve parçanın dönme titreşimleri incelenmiş; talaş kesiti, kesme hızları, kesici takım açıları, kesici uç yarıçapı, takım malzemesi, işlenen parçanın malzemesi hususlarının bu titreşimler üzerine olan etkileri gösterilmiştir. İki ayrı torna üzerine yapılan araştırmada prensip olarak takım ve parçanın titreşimlerinin her doğrultu için ölçülen değerlerin toplamının yüzey pürüzlülüğü bakımından yeter bir kriter olacağı hususu ele alınmış ve yapılan deneyler bu kabulün doğru olduğunu göstermiştir.

Tobias ve Fischwick (1958) tarafından yapılan araştırmada takım tezgâhının kısıt şartlarındaki herhangi bir değişimin, sönüm, eşdeğer rijitlik ve sapma eğrisi ile ilgili tabii frekanslara etkisi gösterilmiş ve titreşim izolatörlerinin sönüm ve rijitlik

üzerindeki etkileri belirtilmiştir. Buna bağlı olarak yapının iç ikaz kuvvetlerine karşı olan durumu ile titreşim karakterlerinin tesiri incelenmiştir.

Albrecht (1962) yaptığı çalışmada dinamik şartlar altında talaş kalınlığı değişimi nedeniyle kuvvet dalgalanmaları yanında, kesme işlemindeki kayma açısının periyodik değişiminin sonucunda ilave kuvvet dalgalanmalarının da meydana geldiğini bulmuştur. Bu çalışmada kesme işleminin içerisinde oluşan kararsızlığın, kayma açısının periyodik değişimine bağlı olduğu ve kararsızlığın sistemin dinamik şartlarına değil kesme şartlarına bağlı olduğu ifade edilmiştir. Periyodik talaş teşekkülünün frekans ve genliği için analitik ifadeler çıkartılarak ölçümleri yapılmıştır. Sonuçta kesme işlemindeki kendiliğinden oluşan titreşimin, kesme işlemine bağlılığı incelenmiştir.

Thusty ve Polacek (1963) yaptıkları çalışmada, minimum ağırlıkta tezgâhın yüksek kararlılığına sahip olması için kendiliğinden-doğan titreşimin, tezgâhın karakteristiklerine etkisini incelemişlerdir. Sunulan teoride, tezgâhtaki değişmelerin titreşim üzerindeki değişmelere nasıl etki ettiği belirlenmiştir. Bu çalışmada tezgâh n-serbestlik dereceli bir titreşim sistemi olarak düşünülmüş, kararlılık sınırlarının hesaplanması için basit bir grafik metot verilmiştir.

Sweeney ve Tobias (1963) ortaklaşa çalışmalarında, metal kesme işleminde dinamik kararsızlığa sebep olan titreşim prensiplerinden en çok yenilenebilir tırlama ve mod çiftleme prensibinin etkili olduğunu kabul etmişlerdir.

Peters (1963) tarafından yapılan araştırmada, takım tezgâhlarının incelenmesi ve tasarımının yapılmasında, dinamik analizin büyük bir öneme haiz olduğu belirtilmektedir. Tezgâh üzerinde bir takım karakteristiklerin belirlenmesinde dinamik ölçmelerin yanında statik birtakım ölçümlerin yapılması gerektiği anlatılmaktadır. Tezgâhların geliştirilmesi için statik yapı kuvvetleri kullanılarak yapı düzeltilmesi ve dinamik sönümleyicilerin kullanılması gerekmektedir. Ayrıca dinamik analizle, kesme işlemi sırasında meydana gelen titreşimlerin kaynakları belirlenmiştir. Yapılan çalışmada iş parçasının yüzey düzgünlüğü ile tezgâhın dinamik karakteristikleri arasındaki ilişki ve tezgâhın hassasiyetinin kendiliğinden-doğan titreşime etkisi incelenmiştir.

Merrit (1965) tarafından yapılan çalışmada, takım tezgâhlarının temel performans sınırı olan kendiliğinden-doğan titreşimin aynı zamanda takım tezgâhı ile

kesme işleminin birleştirilmesiyle oluşan sistemin kararsızlık bölgesi olduğu kabul edilmiştir. Bu çalışmada takım tezgâhın-serbestlik dereceli bir yapı kabul edilerek, kararlılık sınırları tespiti için bir titreşim teorisi geliştirilmiştir. Zira kararlılık kartlarının oluşturulması için sınırların belirlenmesi gerekmektedir. Geliştirilen kendiliğinden-doğan titreşim teorisi deneysel olarak ölçülen dinamik kompliyanslarla açıklanmış bu işlemler yapılırken, kesme işleminin dinamiği ihmal edilmiştir. Burada kararlılık sınır çizgilerinin belirlenmesi için sistem karakteristik denkleminin harmonik çözümlerinin elde edilmesi gerekir. Karmaşık olan kararlılık kartları, tezgâhın normal çalışma bölgelerini belirler.

Das ve Tobias (1967) tarafından yapılan ortak çalışmada kendiliğinden-doğan titreşimin, statik ve dinamik kesme katsayıları arasındaki bağıntıyı içeren bir matematiksel teori verilmiştir. Bu araştırmada dinamik kesmenin üç durumu incelenmiştir. Bu durumlar;

- a) Dalga oluşturmali kesme,
- b) Dalgayı ortadan kaldırma kesmesi,
- c) Dalga üzerinde dalgalı kesmedir.

Kesme işleminde kendiliğinden oluşan titreşimin analizi için kesme parametrelerinin (talaş kalınlığı, ilerleme, kesme hızı vs.) harmonik değişimiyle meydana gelen kuvvet artımlarının tayin edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, kesme parametrelerinin her birinin birim değişimi neticesindeki kuvvet artımlarının bilinmesi, kesme parametrelerinin her birinin katsayısını verir. Dinamik kesme katsayıları, kendiliğinden-doğan titreşimin matematiksel teorisine fiziksel gerçeği vermektedir. Dinamik kesme katsayıları, parametrelerden birinin sürekli değiştiği durumlardaki deneylerden elde edilmesine karşılık, statik kesme katsayıları ise parametrelerden birinin kademeli değiştiği durumdaki deneylerden elde edilmektedir. Dinamik ve statik kesme katsayıları arasındaki nedensel ilişkinin mevcudiyeti bilinmesine rağmen henüz belirlenememiştir. Bu çalışmada, araştırmacılar kuvvet genliği için bir teorik ifadeyi, deneysel sonuçlarla karşılaştırmış ve sonuçların uygunluğunu gözlemlemişlerdir.

Thompson (1969) çalışmasında, kendiliğinden-doğan titreşim tabiatıyla ilgili çeşitli deneysel incelemelerin sonuçlarını yorumlamıştır. Yapılan çalışmalardan

kapalı bir çevrim olan titreşimin, genlik ayarlı olduğu sonucuna varmıştır. Bu araştırmacının çalışması, Doi ve Kato'nun (1956) elde ettikleri teoriyi esas almıştır. Kendiliğinden oluşan titreşimin matematik analizi için Doi ve Kato'nun hareket denklemleri kullanılmış ve sonuçta titreşimin frekans ifadesi elde edilmiştir.

Hana ve Tobias (1974) tarafından yapılan çalışmada takım tezgâhı yapılarının non-linear dinamik davranışı incelenmiştir. Bu çalışma universal bir freze tezgâhı üzerinde dinamik davranışın incelenmesiyle yapılmıştır. Önceden tespit edilmiş titreşim verilerinden faydalanılarak, titreştirici kullanılması sonucundaki verilerle ilgili olduğu bulunmuştur. Titreştiriciden üretilen kuvvet-genlik değerinin tezgâh yapısının dinamik cevabının non-linear olmasına neden olduğu bulunmuştur. Bu araştırma ve çalışma sonucunda teori ile deneysel sonuçların uyumları göze çarpmaktadır.

Weck (1985) tarafından kararlılık problemi için tek serbestlik dereceli bir yapı özetlenmiştir. Bu çalışmanın paralelinde en son Yuan ve Cai (1986) çalışmış, bu çalışmaya kesme işleminin sönümlenmesi de dâhil edilmiştir, fakat kesme modeli gereğinden çok basitleştirilmiştir. Doğrusal turlama teorisi günümüzdeki araştırmalarda genelleştirilmekte ve herhangi bir torna konfigürasyonuna (yapılandırma) uygulanabilmektedir. Bu genel teori hem kesme şartlarının hem de kararlılık üzerindeki takım uyumunun işleme sistemine bağlı etkilerini açık bir biçimde gösterir. Ayrıca bu teori frezeleme gibi diğer işleme operasyonlarına kolayca uygulanabilir.

Zharkov (1985) tarafından yapılan araştırmalarda, benzerlik analizinin hakiki ölçüde ve model halindeki bir takım tezgâhı yapı elemanına nasıl tatbik edileceği belirtilmiştir. Sonuçta, tam ölçüdeki elemanın dinamik karakterlerinin model kullanılarak incelenebileceğini, birçok hallerde önemli tabii frekansların teorik ölçek faktörü ile uyduğunu ve titreşim şeklinin tabii frekanslarda iyi bir benzerlik gösterdiğini ortaya koymuştur.

Wu ve Liu (1985), metal kesme dinamiğinin analitik modellenmesi üzerine yaptıkları çalışmada kesme işlemi esnasında oluşan kesme kuvvetlerinin belirlenmesi için bir analitik yaklaşımla, kendiliğinden-doğan titreşimin matematik modeli geliştirilmiştir.

Beauchamp ve ark. (1995), tornalamada orta karbonlu çelik numuneler üzerinde değişik hız, ilerleme, kesme derinliği, takım uç yarıçapı ve iş parçası boylarında, kuru şartlarda tornada oluşan yüzey pürüzlülüğü ve tezgâh titreşimini derleyerek analiz etmişlerdir. Titreşim analizleri, dinamik kuvvetin (takımı etkileyen talaş kalınlığı ile ilgili değişim) kesme esnasında rezonanstaki takım titreşiminin genliği ve takımın tabii frekansının değişimi ile ilgili olduğunu göstermiştir.

Jang ve ark. (1996), esnek bir imalat sisteminde bir tezgâhı kontrol etmek için gerçek zamanlı bir izleme algoritması geliştirmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü ile tirlama titreşimi arasındaki korelasyonla ilgili olan bu algoritma, takımla iş parçası arasında bağıl kesme titreşimlerinin olduğunu ortaya koymuştur.

Özçatalbaş'ın (2000) yaptığı deneysel çalışmalarda, artan kesme hızı ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığını tespit etmiştir. Ancak kesme hızı artışının düşük ilerleme miktarlarında etkisinin fazla olduğu gözlemlenmiş iken artan ilerleme miktarında ise kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisi azalmıştır. Benzer şekilde, değişik ısıl işlemler uygulanmış Ç4140 çeliğinde, düşük kesme hızlarında yüzey pürüzlülük değerleri yüksek iken, artan kesme hızlarıyla numunelerin yüzey pürüzlülüğü iyileşmiştir.

Lee ve arkadaşları (2001) yüksek hızla frezeleme sırasında oluşan kesme kuvvetleri ve bu esnada oluşan titreşimleri incelemişlerdir. Araştırmacılar, normal kesme hızlarında yapılan işleme şartlarında oluşan kuvvetlerin ve işleme parametrelerinin tespit edilmesinin kesme parametrelerinin incelenmesinde yeterli olacağını belirtmişlerdir. Ancak, yüksek hızla işlemede yeterli olmadığını bildirmişlerdir. Yüksek hızla işleme şartlarında işlenen parçaların geometrik tamlığı ve yüzey kalitesi kesme sırasında oluşan titreşimlerin etkisinin büyük olduğu ve bu şartlarda yapılan işlemin gerçek anlamda incelenip irdelenerek benzetim edilebilmesi için titreşimlerinde dikkate alınmasının gerekli olduğu vurgulanmaktadır. Kesme sırasında oluşan titreşimlerin en büyük sebeplerinden birinin kesici ekseninin sapması olduğu belirtilmiştir. Elde edilen deneysel veriler hazırlanan bir program ile irdelenmiştir. Buna göre, işlenen yüzeyin pürüzlülük değerleri ile deneysel verileri işleyip benzetim eden algoritmanın sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu bağlamda deneysel veriler ile simülasyon sonuçlarının yaklaşık aynı olduğu ve kesme sırasında oluşan titreşimlerin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkin

bir parametre olduğu tespit edilmiştir.

Özses (2002), AISI 5140, AISI 4140, St37 malzemeleri üzerinde yaptığı deneysel çalışmalarda, malzemenin karbon miktarına bağlı olarak değişen sertlik ve mekanik özelliklerin yüzey pürüzlülüğünü etkilediği görülmüştür. İşleme parametreleri olarak kesme hızının artırılması ile yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği fakat kesme hızının artırılması durumunda takım aşınmasının hızlandığı dolayısı ile takım ömrünün azaldığı anlaşılmıştır. İlerleme miktarındaki artış ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğüne en çok etki eden bir parametre olduğu tespit edilmiştir. Kesici uç yarıçapının da yüzey pürüzlülüğünü etkilediği, uç yarıçapının büyümesi ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığı gözlenmiştir.

Ghani ve Choudhury (2002) tarafından yapılan çalışmalarda, kesme parametrelerinin ve takım üzerindeki titreşimin, yüzey pürüzlülüğüne ve serbest yüzey aşınması üzerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliğinin artırılmasıyla serbest yüzey aşınması hızlanmıştır. Serbest yüzey aşınmasının artışıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı tespit edilmiştir. Diğer taraftan, serbest yüzey aşınmasının artışıyla takım üzerinde oluşan titreşim genliği ve ivmesinin arttığını ortaya koymuştur.

Frezelemede verimlilik, kesme kuvvetleri ve kararlık gibi sınırlayıcı unsurlarla kısıtlanır. Bunun yanı sıra takım geometrisinin kararlılık üzerinde önemli ölçüde etkisinin olduğu birçok araştırmada ifade edilmiştir (Budak (2003), Altıntaş ve ark. (1999)

Kararlılık diyagramlarının talaş kaldırma işlemleri üzerindeki verimlilik etkisinin artırılması, yüksek hız ve talaş derinliği bölgelerinde çalışmayı zorunlu kılar. Fakat bu, çalışılacak tezgâhın ne kadar yüksek hızlarda çalışabildiği ile bağlantılıdır. Bu durumda daha düşük devirlerde de kararlı kesme yapabilmeyi sağlamak için değişken aralıklı kesicilerin kullanılması gerektiği ilk defa Slavicek (1965) tarafından açıklanmıştır.

Diğer bir çalışmada doğrusal hareket ettiği varsayılan değişken aralıklı çakıların performansı denenmiştir (Vanherck (1967)).

Davies ve ark. (2000) ve Insperger ve ark. (2003), kararlılık bölgelerinin kesici uç aralıklarına bağlı olarak değişebildiğini göstererek, kesme dinamiğinin kararlı bölgede kalmasını sağlamışlardır.

Thusty ve ark (1983) özel geometrili (değişken adımlı veya testere dişi benzeri bir yapıya sahip) takımalar için matematiksel modeller geliştirmişlerdir.

Altıntaş ve ark. (1999) kararlılık limitinin tahmininde kullanılabilir bir frezeleme kararlılık modeli geliştirmişlerdir.

Budak (2003) freze tırlama frekansı ve devir sayısı için maksimum kararlılık sınırının tespitinde takım tutucusu üzerindeki en uygun kesici açılarının tasarımını gerçekleştirmiştir.

Sonuç olarak standart kesici aralıklarının değiştirilmesi, hız limitleri ve tırlama frekans aralıklarına ait kararlılıkların iyileşmesini sağlayabilir.

3. TALAŞ KALDIRMA İŞLEMİNİN MEKANİĞİ

Karmaşık bir yapıya sahip talaş kaldırma işlemini bilimsel bir temele oturtmak için yapılan çalışmalar devam etmektedir. Başlangıçta anlaşılması zor olan bu işlem birtakım teorik ve deneye dayalı (ampirik) yaklaşımlarla anlatılmaya çalışılmıştır. Ölçüm ve izleme teknolojilerinin gelişmesi ve buna bağlı olarak türetilen teorik modellemeler ile metal kesme işlemi genel anlamda kabul edilebilir bilimsel esaslara bağlanmıştır. Bu işlem bir malzeme birleşimi (takım-malzeme çifti), yüksek kesme hızı, sıcaklık ve basınç ihtiva eder.

Metal kesme bir talaş şekillendirme işlemidir. Bu işlem, istenilen boyutta şekillendirme için kesici takımın malzemeye yönlendirilmesi sonucu talaşların oluşumuyla yerine getirilir. Artık metal kesme bir talaş üretme ve gereğinde talaş kırma işlemi olmaya başlamıştır. Kaldırılan talaş kesme bölgesinden uzaktan kontrol edilebilmekte ve işlem sırasında doğan ısının önemli bir miktarı çıkan talaşlar tarafından uzaklaştırılmaktadır. Metal kesmede talaş teşekkülünün kontrolü herhangi bir operasyon için öncelik arz eder. Şekillendirme sırasında oluşan talaş şekilleri işlenen malzemenin davranışlarını yansıtır ve talaş kaldırma işleminin anlaşılmasını sağlar.

İşlem kalitesi üzerinde deformasyonun tahmini, sıcaklık ve kesme kuvvetleri önemli rol oynar. Sıcaklık işlemin kendisini ve kesici takım malzemesini negatif olarak etkilerken kesme kuvvetleri işlem için gerekli güç ve mukavemeti etkiler. Kesme kenarının tasarımı, belirli işleme şartları altında sıcaklık, kesme kuvvetleri ve talaş teşekkülünün kontrol altında tutulmasını gerektirir. Takım ömrü üzerinde işlemin etkisi ve kesme kenarının güvenliği, takım geometrisi tasarımında önemli faktörlerdir. Malzemenin kesilmesi sırasında bir takım kesme kenarı iş malzemesinin bir kısmını deforme eder ve bilahare talaşı ayırır. Bu esnada katman şeklinde büyük gerilmeler oluşur, talaş oluşmaya başlar ve gerilmeler kesme kenarına yaklaşır. Bu gerilmeler malzemenin akma gerilmesine ulaştığı zaman elastik/plastik deformasyon başlar. İş malzemesinin tipine bağlı olarak değişik talaş tipleri (sürekli, kesintili, kırılğan) meydana gelir. Eğer malzeme yeterince sert/dayanıklı ise, işlem ardışık olarak kesilmiş plakalar şeklinde sürekli bir akışı andırır.

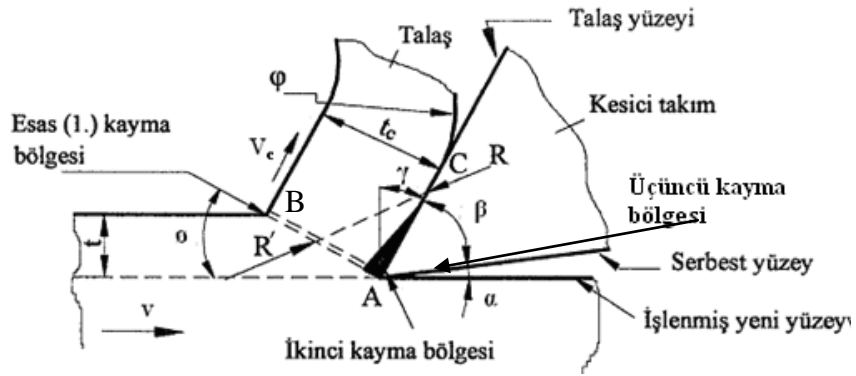
Talaş kaldırma işlemi için gerekli enerjinin büyük bir kısmı kayma düzlemi civarında harcanır. Oluşan talaşın takım yüzeyi boyunca akışını sağlamak amacıyla kesici kenar iş parçasına doğru bastırılır ve bunun sonucunda kayma meydana gelir. Metalin kayma düzlemi boyunca olan plastik davranışı, talaşın ve talaş kaldırılan yüzeyin şekil değiştirme (deformasyon) sertleşmesi/zorlaşması üzerine etkiye bulunur. Deformasyon sertleşmesi/zorlaşması kesme kuvvetini artırır, kayma açısını azaltarak daha kalın bir talaşın, kesici ucun talaş yüzeyi üzerinde akmasına neden olur. Deformasyon miktarı takımın talaş açısının büyüklüğüne bağlıdır.

Kayma düzlemi iş parçasından kaldırılacak malzemenin talaşa dönüştüğü düzlemdir. Ancak bu düzlemde ortaya çıkan kayma gerilmesinin takım yüzeyi boyunca etkilerinin analiz edilmesi gerekir. Talaş kaldırma sırasında takım/talaş arayüzeyinde bir etkileşim mevcuttur. Talaş oluşumu, temas uzunluğu üzerine etkiye bulunan kayma açısından etkilenir. Talaşın temas uzunluğu boyunca takım yüzeyindeki hareketinin niteliği, talaş kaldırma işleminde dikkate alınması gereken bir diğer önemli faktördür.

3.1. Dik (Orthogonal) Kesme Mekanikliği

Metal kesmenin basitleştirilmiş bir versiyonu olan dik kesme, iş yüzeyine paralel ve kesme hızı doğrultusuna dik bir tek kesme kenarı ile karakterize edilir. Bu operasyon iki boyutludur ve düzlem gerinme şartları altında oluştuğu kabul edilir. Kâğıt düzlemine dik enine doğrultudaki talaş deformasyonu ihmal edilir. Bu şartlar, kâğıt düzlemine dik olarak ölçülen talaşın genişliği kesilmemiş talaş kalınlığı (t) ile karşılaştırıldığı zaman büyükse yaklaşık olarak tahmin edilir. Eğer talaşın genişliği $20t$ 'den büyükse talaş şekillendirmenin düzlem gerinme şartlarında oluştuğu kabul edilir. Kesme sırasında kesilmemiş malzemeyi ayıran talaş-ış parçası arasındaki sınır çizgisi kayma düzlemi (shear plane) AB, bu düzlem ile kesme hızı doğrultusu arasındaki açı da kayma açısı (ϕ_c) olarak adlandırılır (Şekil 3,1). Takım kesme hızı (V) ile iş parçasına doğru hareket ettiğinde iş malzemesinin AB düzlemi boyunca kaymasına (kesilmesine) sebep olur. Düzlemin sağ tarafındaki malzeme kesilmiş talaş (h_c), sol tarafındaki ise kesilmemiş talaştır (h). Talaş deformasyonu, esas itibariyle kesilmemiş talaş kalınlığı, talaş açısı (α_r) ve iş malzemesinin mekanik

özelliklerine bağlıdır. Bu faktörler ayrıca kayma açısını ve kesme kuvvetlerini etkiler. Metal kayma düzlemine yaklaşırken, kayma düzlemine erişene kadar deforme olmaz. Takiben, ince bir kayma bölgesini geçerken önemli bir basit kesmeye maruz kalır Metal kesme işlemi üzerine yapılmış birçok analizler kesme işleminin AB kayma düzlemi boyunca yoğunlaştığını göstermesine rağmen, aslında kayma deformasyonu AB etrafında odaklanmış sonlu kalınlıkta bir bölgede (1. kayma düzlemi) yer alır. Takım talaş yüzeyinde kayarken ileri seviye bir akış yoktur. Takım talaş yüzeyi boyunca ikinci kaymanın küçük bir miktarı, kesme operasyonunun ilk işleminde genellikle ihmal edilir ve takım yüzeyi boyunca talaşın hareketi A'dan C'ye sabit sürtünme katsayısı ile kayan bir kayıcının hareketine benzer addedilir.



Şekil 3.1. Dik kesme operasyonunun şematik gösterilişi

R = Bileşke Takım Kuvveti,	θ = Talaş Kıvrılma Yarıçapı
R_1 = Bileşke Talaş Kuvveti,	ϕ = Kayma Açısı,
V_c = Talaş Hızı,	β = Kama Açısı,
v = Kesme Hızı,	γ = Talaş Açısı,
t_c = Talaş Kalınlığı,	α = Boşluk Açısı,
t = Deforme Olmamış Talaş Kalınlığı	

Kesme esnasında takım/talaş ara yüzünde üç bölge mevcuttur:

1. Bölge: Kesilmiş ve kesilmemiş malzemeyi, talaş ve iş parçasını ayıran kısım.

2. Bölge: Takım-talaş arasındaki aşınma ve sürtünme karakteristiklerini belirleyen kısım.
3. Bölge: Takım tabanı ile parçanın işlenmiş yüzeyi arasındaki yüzey tamliğini sağlayan kısım.

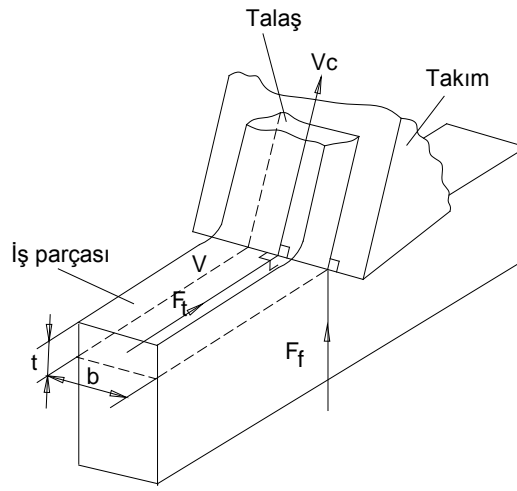
Metal kesme, takımla iş parçası arasındaki bağıl hareketin bir sonucu olarak, sınırlı bir alanda iş malzemesinin deformasyonuna dayalı karmaşık bir işlemdir. Bu sınırlandırılmış alan, geniş bir elastik-plastik bölge tarafından kuşatılmış yoğun bir deformasyon bölgesinde odaklanır. Bu alan dâhilindeki deformasyon durumu onun sınır kinematik şartlarına bağlı olup, aşağıdakileri ihtiva eder:

1. Deformasyon bölgesine akan iş malzemesi miktarını kontrol eden parametreler; kesme hızı, kesilmemiş talaş kalınlığı gibi.
2. Takım-talaş ara yüzünde sürtünme şartlarını etkileyen parametreler; talaş akış hızı, yapışma sürtünme bölgesinin uzunluğu gibi.
3. İş malzemesi ve takım arasındaki temas şartlarını etkileyen parametreler; takım burun bölgesi etrafında takım nüfuziyet derinliği gibi.

Homojen olmayan gerilmeler yüzünden talaşın arka yüzeyi pürüzlüdür. Buna sebep, kesilen malzemedeki zayıflık noktaları veya gerilme yoğunluğudur. Bir gerilme yoğunluk noktasından geçen bir kayma düzlemi, bir gerilim yığılma noktası ihtiva etmekten ziyade düşük bir gerilme değerinde deforme olacaktır. İlk deformasyon verilen bir kayma düzleminde başlar, malzeme negatif gerilme sertleşmesi gösterdiği sürece devam etmeye meyleder. Böylece talaştaki bazı metaller diğer metallerden daha fazla gerinerek, talaşın arka yüzeyinde dalgalı bir yapı oluştururlar. Bu dalgalar, buna rağmen talaşın arkasında enine doğrultuda belirgin olarak sürekli değildir, fakat genişlik doğrultusunda sınırlı büyüklüktedir (Şekil 3,1).

Birçok metal kesme operasyonları üç boyutlu ve geometrik olarak karmaşık olmasına rağmen, iki boyutlu dik kesmenin basit bir hali genel talaş kaldırma mekaniğini açıklamak için kullanılır. Dik kesmede kesme kenarı ile kaldırılan talaş-takım-iş rölatif hareket doğrultusuna diktir. Daha karmaşık olan üç boyutlu meyilli kesme operasyonları genellikle dik kesme işlemlerine uygulanmış geometrik ve kinematik şekil değiştirme modelleri ile değerlendirilirler. Dik kesmenin şematik

gösterilişi Şekil 3,2’de görülmektedir. Dik kesmede kesme kenarı kesme hızı doğrultusuna diktir. Genişliği (b) ve kesme derinliği (t) olan metal talaşı iş parçasından kesilerek uzaklaştırılır. Kesme kenarı boyunca kesme derinliği değişmez (üniform) kabul edilir. Bu durum malzeme sıvanması olmaksızın, iki boyutlu bir düzlem gerinme deformasyonudur. Böylece kesme kuvvetleri, sadece kesme hızı ve kesilmemiş talaş derinliği doğrultusunda oluşturulur ve teğet kuvvet (F_t) ile ilerleme kuvveti (F_f) meydana gelir. Buna rağmen meyilli kesmede kesme kenarı bir eğim açısı (i) ile yönlendirilir ve radyal doğrultuda üçüncü bir kuvvet (F_r) doğar.



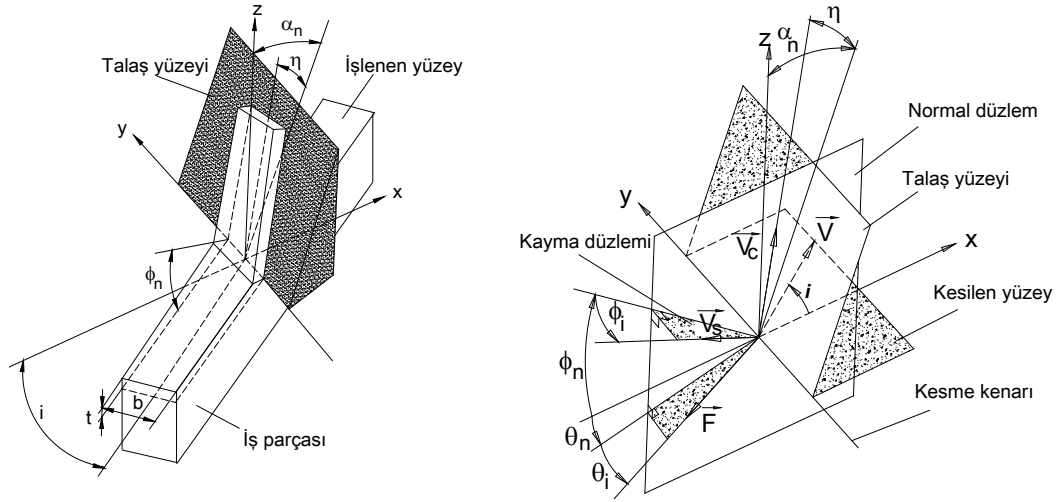
Şekil 3.2. Dik kesme işleminin geometrisi

Dik kesme işleminde üç deformasyon bölgesi vardır. Takım kesme kenarı iş parçasına nüfuz ederken, takımın önündeki malzeme bir talaş şekillendirmek için birincil kayma bölgesi üzerinde kayar. Kaydırılan malzeme, kısmen deforme olur ve ikincil deformasyon bölgesi olarak adlandırılan takım talaş yüzeyi boyunca hareket eder. Takımın serbest yüzeyinin sürttüğü yeni işlenmiş yüzey, sürtünme alanı, üçüncül deformasyon bölgesidir. Talaş başlangıçta yapışma bölgesi diye adlandırılan takımın talaş yüzeyine yapışır. Sürtünme gerilmesi yapışma bölgesinde akma kayma gerilmesine yaklaşık eşit olup talaş, takım talaş yüzeyindeki yapışmış malzeme üzerinden akar. Talaş, yapışmayı durdurur ve talaş yüzeyi üzerinden, sabit bir kayma sürtünmesi katsayısı ile kaymaya başlar. Talaş takımı terk eder. Temas bölgesinin uzunluğu kesme hızına, takım geometrisine ve malzeme özelliklerine bağlıdır.

Birincil kayma bölgesinin analizinde temel olarak iki tip kabul vardır. Merchant, (1945) kayma bölgesini ince bir düzlem olarak kabul eden bir dik kesme modeli geliştirmiştir. Lee ve Shaffer, (1951), Palmer ve Oxley, (1959) analizlerinde plastisite kuralları gereği kayma açısı tahmin modellerini ileri süren kalın kayma deformasyon bölgesini esas almışlardır. Yapılan bu çalışmada birincil kayma deformasyon bölgesi, basitleştirme için ince bir bölge olarak kabul edilmiştir.

3.2. Meyilli (Oblique) Kesme Mekanığı

Meyilli kesme dik kesmenin düzenlenmiş bir halidir. Kesme kenarına dik ve kesme hızına paralel düzleme normal düzlem (P_n) olarak adlandırılır. Kayma deformasyonunda kenara yayılma olmaksızın düzlem gerinmesi olduğundan, kayma ve talaş hareketi kesme hızına paralel ve kesme kenarına dik olan bütün normal düzlemlerde benzerdir. Böylece, kesme (V), kayma (V_s) ve talaş hızları (V_c) kesme kenarına diktirler ve normal düzleme (P_n) paralel veya bu düzleme çakışık olarak hız düzleminde (P_v) yayılırlar. Dik kesmede ayrıca bileşke kesme kuvveti (F) talaş-talaş yüzeyi temas bölgesine etki eden diğer kuvvetler ile beraber aynı düzlemde (P_n) yayılırlar. Üçüncü doğrultuda kesme kuvveti yoktur (yani, normal düzleme dik). Buna rağmen, kesme hızı meyilli kesme operasyonlarında bir eğim veya meyil açısına sahiptir ve böylece kayma, sürtünme, talaş akış ve bileşke kesme kuvveti vektörlerinin doğrultuları üç kartezyen koordinatlarında x , y , z bileşenlerine sahiptirler (Şekil 3.3). Bu şekilde x eksenini kesme kenarına diktir fakat kesme yüzeyinde uzanır. y , kesme kenarı ile aynı hizadadır ve z , xy düzlemine diktir.



Şekil 3.3. Meyilli kesme işleminin geometrisi

Meyilli kesmede kuvvetler üç doğrultuda da mevcuttur. Meyilli kesmede en önemli düzlemler kayma düzlemi, talaş yüzeyi, xy kesme düzlemi, xz normal düzlemi (P_n) ve hız düzlemi (P_v)'dir. Birçok analiz, normal düzlemde meyilli kesmenin mekaniğini dik kesme mekaniğine eşdeğer olarak kabul eder. Böylece bütün hız ve kuvvet vektörleri normal düzlemde tasarlanırlar.

4. TALAŞ BİÇİMLERİ

4.1 Talaş Biçimini Etkileyen Faktörler

Günümüzde metal kesme bir talaş şekillendirme işlemidir. Metal kesme sadece işlem sırasında kaldırılan talaşın işleme tarzını ele almak olmayıp, aynı zamanda kesme alanından uzaklaşan talaşların ve bu talaşlarla taşınan üretilen ısının kontrol edilmesidir. Modern metal kesme birçok tipte talaş üretir ve kontrollü talaş teşekkülü herhangi bir talaş kaldırma operasyonu için ön-şarttır. Metal kesme işleminin anlaşılması daha ziyade talaşa dönüştürülen değişik tipte malzemelerin davranışlarıdır. Sıcaklık ve kesme kuvvetleri işlemin kalitesi üzerinde önemli rol oynarlar; yüksek sıcaklık takım malzemesini olumsuz yönde etkilerken, kesme kuvvetleri harcanan güç ve işlemi yerine getirmek için gerekli mukavemeti etkiler. Kesme kenarının tasarımı demek, belli işleme şartları esnasında sıcaklık, kesme kuvvetleri ve talaş teşekkülünü kontrol etmek demektir. Kesme kenarının emniyeti ve takım ömrü üzerine işlemin etkisi kesme geometrisi tasarımında önemli faktörlerdir.

Ham malzemelerin işlenmesinde değişik talaş tipleri üretmede etkili olan parametreler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Kesilen malzemenin mekanik özellikleri,
- Talaş açısı (γ),
- Kesme hızı (v),
- Talaş derinliği (h),
- İlerleme (f),
- Kullanılan kesme sıvısının cinsi ve miktarı.

İlaveten, takım yüzeylerinin yüzey tamlığı, takım-talaş arasındaki sürtünme katsayısı ve kesme bölgesinde erişilen sıcaklık ta talaş teşekkülü üzerinde etkilidir.

Bir kesme kenarı ile malzemenin kesilmesinde, takım bir kısım iş malzemesini deforme eder ve o zaman talaşı ayırır. Talaşa dönüşen iş malzemesi katmanında, kesme kenarına yaklaşırken yüksek gerilmeler oluşturulur. Malzeme akma

gerilmesine eriştiği zaman elastik ve plastik deformasyon yer alır. Talaşlar iş malzemesi ile kayda değer değişir, fakat eğer malzeme yeterince dayanıklı ise, işlem ardışık kesilmiş elemanlar gibi sürekli bir akış plakasını andırır. Deforme edilmemiş talaş (h) deforme olurken (h_c) talaşın iş malzemesinden ayrıldığı sınır çizgisi *kayma düzlemi* diye adlandırılır. Bu düzlem kesme doğrultusu ile *kayma açısı* yapar.

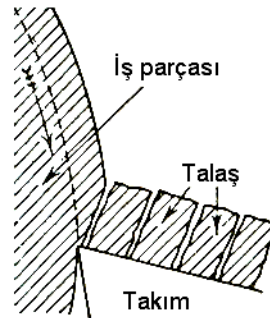
Pratikte farklı bir tipten diğer farklı bir tipe yavaş bir değişim mevcut olup, talaş şekillerinin sınıflandırması hatasız olarak temsil edilemez. Değişik faktörlerin sonucu olarak üç tip talaştan söz edilebilir:

- Kırık (kesintili) talaş,
- Yığılma talaş (*build-up-edge-BUE*),
- Akma (sürekli) talaş

4.2 Talaş Tipleri

4.2.1 Kesintili talaş

Kesintili talaş (kesme kenarına talaş yığılması olmaksızın), farklı gerilmelere sahip ve gevrek malzemelerden talaş kaldırılması sırasında talaş sadece kısmen biçimlendirilebildiğinden, ilk bozulma bölgesinde kırılma olur ve bu bölgede talaş parçalara ayrılır. Dökme demir, pirinç, çinko, porselen ve sert plastik gibi kırılğan malzemelerin işlenmesi sırasında ortaya çıkar. Kesintili talaş ayrıca, dövülebilir malzemelerin düşük kesme hızı ve yüksek ilerleme ile işlenmesinde, sürtünme katsayısının yüksek, talaş açısının küçük, aşırı talaş derinliği ve kesme sıvısının kullanılmadığı hallerde görülür.

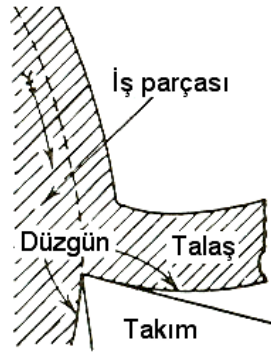


Şekil 4.1. Kesintili talaş

Bu talaşlar üretilirken, kesme kenarı iş parçası üzerindeki düzensizlikleri düzeltir ve oldukça iyi bir yüzey elde edilir. Buna rağmen yumuşak malzemeden kesintili talaş oluşması, kötü kesme şartlarının bir göstergesidir.

4.2.2 Sürekli talaş

Sürekli/akma talaş, takım ömrü ve yüzey tamlığı açısından ideal (yığılma ağızsız) bir talaş tipidir. Sürekli talaş düşük sürtünme katsayısına sahip iş malzemelerinin orta seviyede yumuşak, talaş açısının büyük, yüksek kesme hızı, düşük talaş derinliği ve ilerleme, verimli kesme sıvısı kullanımı, takım kesme yüzeylerinde iyi bir yüzey tamlığı ve iş malzemesi ile basınç kaynağına meyilli olmayan takım malzemesi kullanımı hallerinde elde edilir. Orta sertlikte çeliklerin özellikle bitirme pasoları sırasında bu tip talaş oluşur.

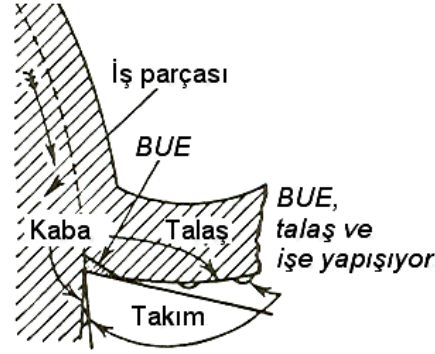


Şekil 4.2. Sürekli talaş (yığılma ağızsız)

Kesme esnasında kesme kuvvetleri sabitliğinin oldukça kararlı olması deneysel işlemleri basitleştirdiğinden, üzerinde çalışılması en basit talaş tipi olup, Merchant'ın metal kesme mekaniğinin teorisi isimli çalışmasında referans alınmıştır. Bu şartlar altında kesme etkisinin sabit kaldığı söylenebilir. İşleme süresinde harcanan güç takım ömrü ve elde edilen yüzey kalitesi yönünden tercih edilen talaş tipidir. Ancak, işçi güvenliği, otomatik çalışmada kontrol problemleri ve çıkan talaşın işlenen yüzeyi çizmesi açısından olumsuz tesirleri söz konusudur.

4.2.3 Yığılma ağızlı talaş (BUE)

Yığılma talaş, oldukça yüksek sürtünme katsayısına sahip yumuşak ve sünek malzemelerin düşük/orta kesme hızlarında işlenmesi sırasında veya takım kesici kenarının aşınma sürecine girdiği durumlarda oluşur.



Şekil 4.3. Yığılma ağızlı talaş (BUE)

Yüksek sıcaklıklarla yapışma aşınması ve difüzyon etkisi artar. Takım kesmeye başladığı zaman, yüksek sürtünme katsayısı yüzünden çıkan bir kısım talaş, takımın kesme kenarına, talaş yüzeyine ve serbest yüzeye doğru tam anlamıyla yığılır. Belli şartlarda akma bölgesi üzerindeki malzemenin ilerleyen katmanları takım yüzeyinde birikir ve sertleşir. Akma bölgesi, şekillendirilen katmanın üst yüzeyi ile birlikte hareket eder ve bu şekilde kesme kenarında talaş yığılması (*build-up-edge-BUE*) oluşur. Sürekli olarak takım üzerindeki metal meydana gelen basınçla takım yüzeyine kaynaklanır. Bu yapı takımın talaş açısını değiştirir ve muhtemelen karasız bir yapı oluşmasına sebep olur. Bu yığılma, işleme sırasında yeni bir katmanın oluşmaya başladığı belli bir noktada kırılır. İşleme sırasında çeşitli biçim ve durumlarda oluşan kenarda birikme (yığılma-sıvanma) olumsuz bir faktördür (Şekil 4.4).

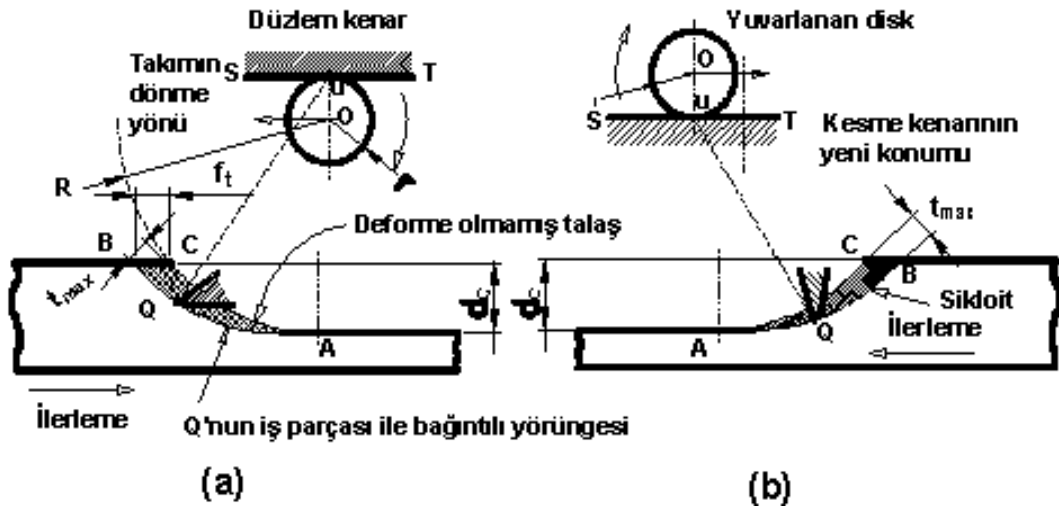


Şekil 4.4. Sıvanmanın (BUE) farklı oluşumları

5. FREZELEMEDE TALAŞ GEOMETRİSİ

5.1. Çevresel Frezelemede Talaş Geometrisi

Takım, sabit bir ekseninde sabit bir açısal hızla dönerken, iş parçası takıma karşı sabit bir hızla ilerler. Bu dönme ve ilerleme hareketleri sonucu takım ucu (Q) bir sikloid eğrisi çizer. Talaş iki ardışık kesici diş tarafından çizilen AC ve AB yayı arasında meydana gelir. Çevresel frezeleme, takım dönme yönünün, iş parçası ilerleme yönüne göre, Zıt Yönlü Frezeleme (ZYF) ve Aynı Yönlü Frezeleme (AYF) olarak incelenebilir. ZYF’de talaş A ’dan B ’ye kesilirken, deforme olmamış talaş kalınlığı, sıfırdan $\cong t_{max}$ ’a değişir (Şekil 5.1.a), AYF’de ise talaş B ’den A ’ya doğru kesilir ve talaş kalınlığı $\cong t_{max}$ ’tan sıfıra düşer (Şekil 5.1.b).



Şekil 5.1. Çevresel frezeleme; (a) Zıt yönlü frezeleme, (b) Aynı yönlü frezeleme

Talaş uzunluğu ZYF ve AYF için sırasıyla;

$$AB \cong R\theta_B + \frac{f_n}{2\pi R} (2Rd_c - d_c^2)^{1/2} \quad (5.1)$$

$$BA \cong R\theta_B - \frac{f_n}{2\pi R} (2Rd_c - d_c^2)^{1/2} \quad (5.2)$$

denklemleri ile hesaplanabilir. Burada $f_n=2\pi r$ (ilerleme/devir)'dir. Denklemlerden de anlaşılacağı gibi, U noktası dairenin altında olduğundan, AYZ'de talaş uzunluğu aynı şartlarda ZYZ'den daha kısa ve aradaki fark ise ilerleme (f) ile orantılı olarak artmaktadır. ZYZ'de kesici kenarın kesme yapmaksızın kayması ile meydana gelen sürtünme, yüzeyde sıcaklık artışına ve yüzey sertleşmesine sebep olur. Bu da takım aşınmasına, dolayısıyla takım ömrüne etki eder. Frezelemede talaş derinliği (d_c) yaklaşık olarak ZYZ'nin sonunda ve AYZ'nin başlangıcında maksimum değere (t_{max}) ulaşır. ZYZ ve AYZ için t_{max} ;

$$t_{max} = f_t \left[\frac{2Rd_c}{R^2} \right]^{1/2} = 2f_t \sqrt{\frac{d_c}{D}} \quad (5.3)$$

Denklemi ile elde edilir. Schlesinger (1970) ise ortalama talaş kalınlığının (t_m ; $t_m=t_{max}/2$), $2/\theta$ açısına (θ -ani konum açısı) tekabül eden talaş kalınlığı olduğunu aşağıdaki denklemle ifade etmiştir. Burada f_t diş başına ilerleme, D takım çapıdır.

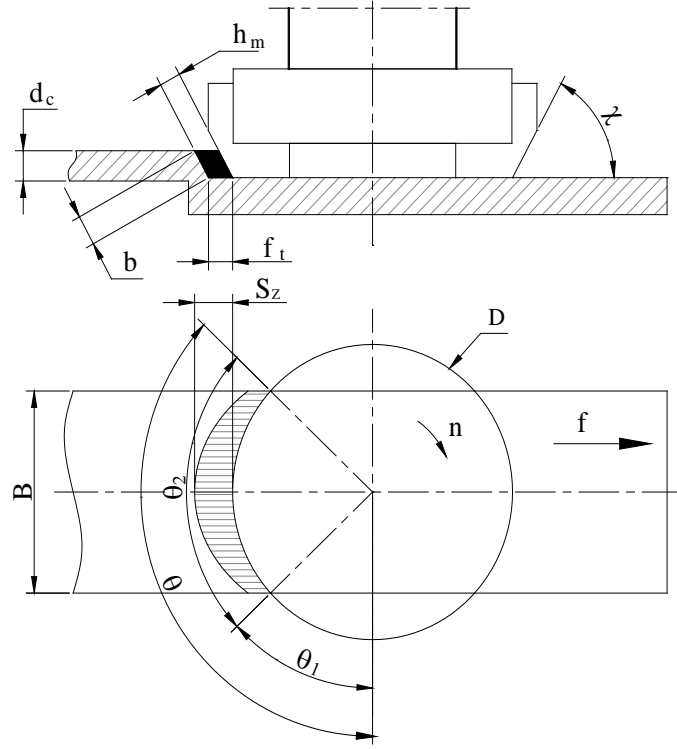
$$t_m = f_t \sqrt{\frac{d_c}{D}} \quad (5.4)$$

5.2 Alın Frezelemede Talaş Geometrisi

Alın frezelemede takım eksenine işlenen yüzeye dik olduğundan talaş, ardışık iki sikloit eğrisi ile kuşatılmış bir hilal şeklini alır. Deforme olmamış talaş uzunluğu, takımın parçaya göre konumuna bağlı olarak değişir. Alın frezelemede de ZYZ ve AYZ geçerlidir. Şekil 5.2'den simetrik frezelemede kavrama açısı (θ),

$$\sin(\theta/2) = \frac{B/2}{D/2} = \frac{B}{D} \quad (5.5)$$

denkleminde elde edilir.



Şekil 5.2. Alın frezelemede talaş boyutları [Akkurt,1992]

Kısmi kavramalı asimetrik frezelemede ise takım girişi (θ_1) ve çıkış kavrama açısı (θ_2) sırasıyla;

$$\cos \theta_1 = \frac{(D/2) - B_1}{D/2} = 1 - \frac{2B_1}{D} \quad (5.6)$$

$$\cos \theta_2 = \frac{(D/2) - B_2}{D/2} = 1 - \frac{2B_2}{D} \quad (5.7)$$

denklemleri ile hesaplanır. Buna bağlı olarak asimetrik ve simetrik frezeleme için talaş uzunluğu (l_c);

$$l_c = \frac{\pi D \theta}{360} \quad (5.8)$$

denklemleri ile hesaplanır. Alın frezelemede genellikle kısmi kavramalı simetrik frezeleme tercih edilir ve takım çapı, parça genişliğinin 1,3–1,6 katı alınır. Ortalama

talaş kalınlığı (t_m), kesme kuvvetlerinin ve kesme gücünün hesaplanmasında önemli bir ölçüt olup;

$$t_m = \frac{\sin \alpha \cdot 180 B f_t}{\pi D \arcsin \frac{B}{D}} \quad (5.9)$$

denklemleri ile hesaplanabilir. Alın frezelemede takımın kesme kenarları ile, işlenen yüzey arasındaki temas uzunluğu az olduğundan, çevresel frezelemeye göre sürtünme kuvveti daha azdır ve bu %30 güç kazancı sağlar. Bu yüzden alın frezeleme genellikle dökme demir ve dövme çeliklerin işlenmesinde tercih sebebidir. Uzun, deforme olmamış talaş boyu, malafanın kısa olması ve kesicinin doğrudan alın yüzeyine bağlanması sebebiyle, mildeki tork daha dengelidir. Böylece işlenen yüzeydeki düzensizlikler daha az ve geometrik olarak yüksek bir düzlemselliğe sahiptir.

6. TAKIM GEOMETRİSİ

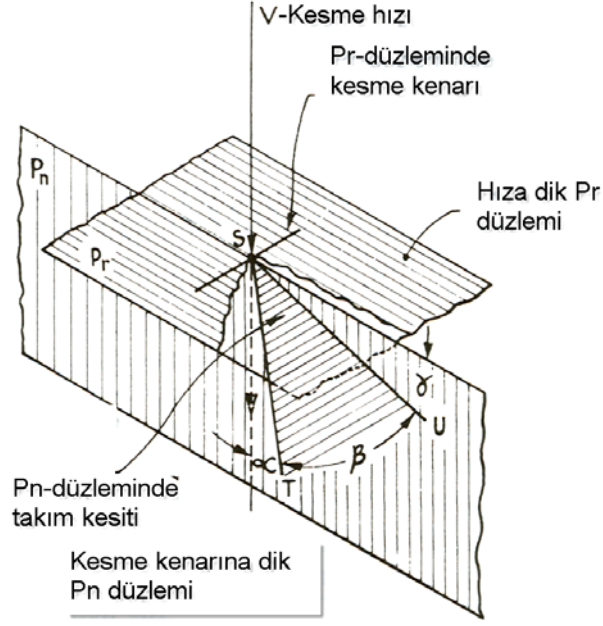
Bir iş parçası, onun yüzeyine nüfuz etmek üzere konumlandırılmış bir kesme kenarı ile bağıl hareket ettiğinde talaş teşekkülü ile metal kesme işlemi gerçekleşir. Kesme kenarı takımın bilenmesi ile tayin edilen tam bir geometrik forma sahiptir, üretilen talaş kesici takımın şekline ve kesme kuvvetleri ve kesilen malzemenin etkisi altındaki davranışına bağlı bir forma bağlı olarak üretilir.

Takımı bir kama olarak ele alırsak, onun kesme kenarı iki düzlem yüzeyin arakesiti olur. Kesme takım ve iş parçası (ele alınan noktada kesme kenarında toplanan doğru bir çizgi ile -yani hız vektörü- temsil edilebilir) arasında bağıl bir hız gerektirir. Prensip olarak, kesici takım açılarının geometrisi bu vektör, takım kenarı ve kenar oluşturmak için arakesit yapan iki yüzey arasındaki uzaysal (spatial) ilişkiden doğar. Takım kenarı hız vektörüne dik olduğu zaman (Şekil 6.1) kesme kenarına dik olan P_n düzlemi vektör ihtiva edecektir. Bu düzlemde kamanın bir kesiti kesme işlemleri için en büyük fiziksel öneme sahip açılara sahip olacaktır.

- a) Kesilen yüzey ST ile temsil edilen (P_n düzleminde uzanan) takımın boşluk yüzeyini kayıp geçer. V -vektörü ve ST yüzeyi arasında P_n düzlemindeki açı boşluk açısıdır (α).
- b) Kesilen talaş SU (P_n düzleminde uzanan) ile temsil edilen takımın talaş yüzeyinden aşağı kayar. P_r düzlemi SU yüzü arasında P_n düzlemindeki açı talaş açısıdır (γ).
- c) P_n düzlemindeki β açısı kama açısıdır ve onu aşağıdaki açısal bağıntı takip eder.

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ \quad (6.1)$$

Bu şartlar kesme için en basit geometrilerden biridir ve genellikle dik kesme olarak bakılır, aslında genel bir durumun özel bir halini temsil ederler.



Şekil 6.1. Kesme açılarının temel geometrisi (Stabler,(1951))

Kesme kenarının hızla bağıntılı olarak (P_r düzleminde daha fazla uzanmıyor) az bir açıda meyillendirildiğini farz edelim. Başlıca etki, takım talaş yüzeyinden aşağı kayan talaşın yönündeki değişim olacaktır. Takım açılarının ölçüldüğü P_n düzlemi P_r düzlemine daha dikey olmayacak, hız vektörü de ihtiva etmeyecektir. Bunlar, kesme kenarının eğiminin önemli bir büyüklük olduğu kesme için genel şartlar olup, onlar meyilli kesme olarak gösterilirler.

Takım açılarının belirlenmesindeki pratik bir problem şu iki farklı gerçekten kaynaklanır: kama meydana getirmek için takımda bilenerек oluşturulan açılar ve tezgâhın hareketi ile bağıntılı kamanın pozisyonu. Tek ağızlı Kesici Takımlar Terminolojisine göre takım açıları teorik ve çalışma sırasında farklılıklar gösterir. Buna göre:

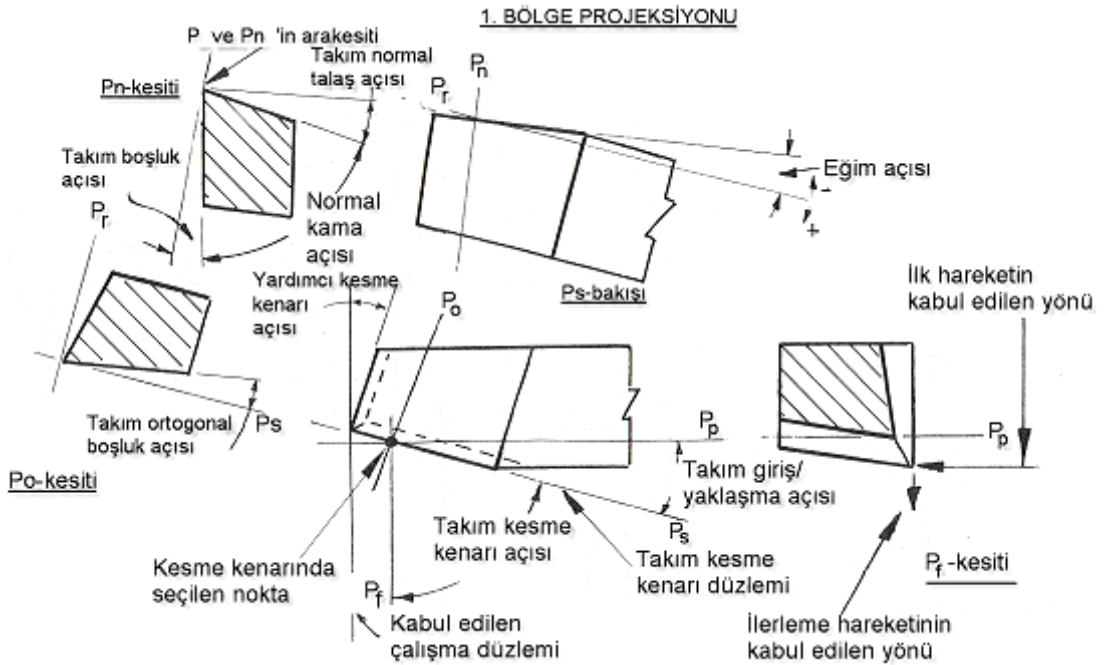
- 1) “Takım elde” sistemi; sözde takım açıları
- 2) “Takım kullanımda” sistemi; sözde çalışma açıları

Şekil 6.2 (BS 1296’den uyarlanmış) bu ayrıntılı açıklama için temel alınarak normal talaş sisteminin esas özelliklerini gösterir. Burada takım kesme kenarı meyil açısına (λ) açısına sahiptir (meyilli kesme) ancak λ oldukça küçük olduğundan,

takım talaş yüzeyinden akan talaşın yönü üzerinde küçük bir etkiye sahiptir. Kesme kenarına dik bir düzlem üzerinde (P_n düzlemi) bulunan normal boşluk açısı (α_n) ve normal talaş açısı (γ_n) takımın kesme hareketi ile bağıntılı önemli açılardır.

$$\alpha_n + \beta_n + \gamma_n = 90^\circ \quad (6.2)$$

Kesme için takım kesme kenarı serbest yüzeyi ve işlenmiş yüzey arasında pozitif bir açıya-yan boşluk açısı ($\alpha_0 = 3-5^\circ$) ihtiyaç vardır. Bu kesme kenarından aşağı bir aşınma şeridi gelişir, böylece takım ömrü bu açıya bağlıdır.



Şekil 6.2. Kesici takım açıları normal talaş sistemi

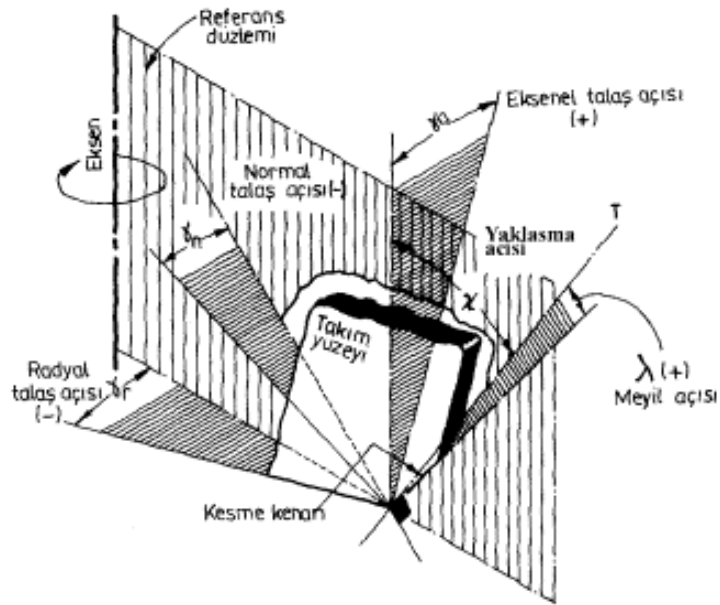
Kesme hızı yönü: Kesme kenarında gösterilen noktada takım sapı tabanına dik.

Kesme kenarındaki seçilen noktadan geçen düzlemler:

- P_n : Kesme kenarına dik,
- P_o : Takım tabanına ve P_s düzlemine dik
- P_r : Takım tabanına paralel
- P_s : Takım tabanına dik ve kesme kenarını ihtiva eder.

6.1. Frezelemede Takım Geometrisi

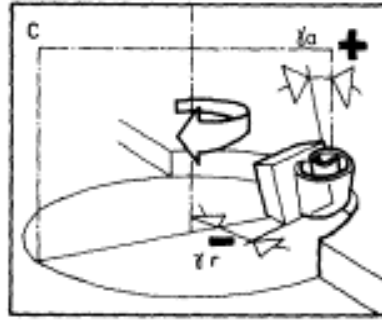
Frezeleme, takım ekseninin parça düzlemindeki konumuna bağlı olarak çevresel ve alın frezeleme olarak adlandırılır. Kullanılan kesici takımlar genellikle birden fazla kesici ağza sahip olduklarından, tek-ağzılı kesici takımlara göre talaş kaldırma kapasiteleri ve takım ömürleri daha fazla, talaş geometrileri ise daha karmaşıktır. Bir takımın kesme ucu geometrisi, üç boyutlu düzlemde, birçok açı tanımlamayı gerektirir. Freze çakıları gerek yekpare, gerekse takma uçlu olsun; kesici takım açıları, uçların takıma bağlı haldeki konumuna göre değer alır. Bir freze çakısının takım açıları Şekil 6.3'te gösterilmiştir. (Sağlam 2000)



Şekil 6.3. Bir karbür alın freze takım ucu geometrisi

Takımın performansını takım malzemesi ile birlikte sahip olduğu açı değerleri tayin eder. Yaklaşma (giriş) açısı (γ) kesme kuvvetini, talaş akışını, talaş kalınlığını, takım ömrünü ve işlenen yüzey kalitesini önemli ölçüde etkiler. Açı değeri 90^0 den saptıkça talaş kalınlığı ve titreşim azalır. Eğim açısı (λ) esas kesme kenarının parçaya yaklaşımını etkiler, talaş akışını yönlendirir ve daha az giriş darbesi sağlar. Kesme kenarı referans düzleminde yer almadığından, bu şartlarda eğimli kesme meydana gelir. Talaş açısı (γ) takımın malzemeye dalmasını kolaylaştırır, pozitif ve negatif

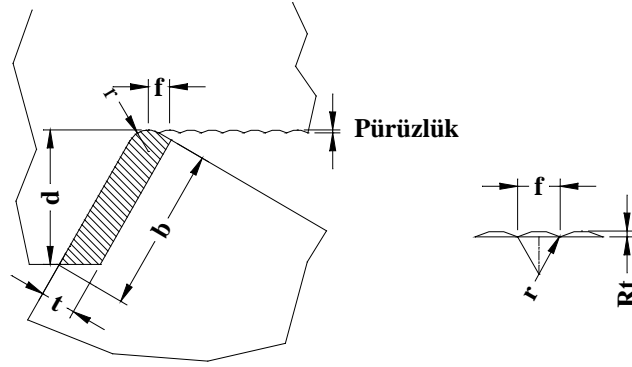
değer alabilir. Pozitif talaş açısı kesme kuvvetini, dolayısıyla kesme gücünü azaltır. Bu açı kesici ağzın güçlendirilmesi gereken sert malzemelerin işlenmesinde negatif değerler alabilir. Çift negatif geometrili takımlar, sert çeliklerin ve dökme demirlerin darbeli talaş kaldırma şartlarında, çift pozitif geometrili takımlar ise, genellikle akma tipi talaş veren yumuşak çelik ve alüminyum gibi malzemeler ile kırılğan, dengesiz ve gerinme sertleşmesine meyilli malzemelerin işlenmesinde tercih edilir. Şekil 6.4'te pozitif aksenal talaş açılı (γ_a) ve negatif radyal talaş açılı (γ_r) bir takım geometrisi görülmektedir (Boothroyd,(1963)).



Şekil 6.4. Pozitif ve negatif talaş açılı bir takım geometrisi.

7. TALAŞ KALDIRMA İŞLEMİNE TAKIM GEOMETRİSİNİN ETKİSİ

Takım ucu, istenilen kalitede (pürüzlülük değerinde) yüzey işleyemediği noktada değiştirilmelidir. Pürüzlülük, işlenen yüzeyde örnek uzunluk boyunca ölçülen, küçük alanlı mikro düzensizliklerdir. Yüzey kalite standartlarının tespit edilmesinde, yüzey kalitesi referans alınmalıdır. Bu, özellikle ince talaşta (son pasoda) büyük önem taşır. Metal kesmede yüzey yapısını, işleme operasyonu esnasında malzemenin plastik akışından doğan düzensizlikler tayin eder. Yüzey yapısı, esas itibariyle işleme metoduna, titreşimlere, tezgâh kızıklarındaki hatalara, takımın tip ve durumuna, kesme parametrelerine, iş malzemesine ve toplam kararlılığa bağlı olarak değişir. Takım ucunun yuvarlatılması, talaş kesitinin bombeli teşekkülüne sebep olur. Bu durumda gerçek talaş kesiti, teorik talaş kesitinden ($A_r = f \cdot d$) daha küçük olur ve aradaki fark, parça üzerinde artık talaş olarak kalır. Bu kaldırılmamış talaş kesiti, yüzey pürüzlülüğünü meydana getirir (Şekil 7.1) (Akkurt (2000))

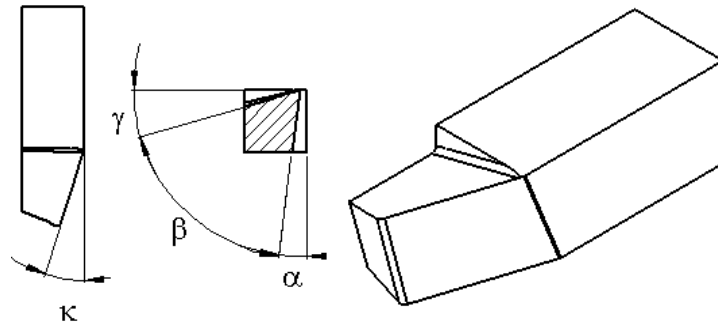


Şekil 7.1. İlerleme ve takım uç yarıçapının pürüzlülüğe etkisi

İşlenmiş yüzeydeki keskin ilerleme izlerini minimize etmek için takımlar burunlarında küçük bir kavise sahip olurlar. Büyük takım uç radyüsü, işleme sırasında kendiliğinden doğan titreşimlere veya tırlamaya daha duyarlı olduğundan tavsiye edilmez.

7.1. Talaş Kaldırma İşlemine Takım Açılarının Etkisi

Kesici takımlar, takım-iş parçası arasında sürtünen temas alanını en aza indirmek için keskin uçlu olarak tasarlanırlar. Bununla beraber bu açıların kesme kuvveti ve tezgâh gücü, aşınma, takım ömrü ve tezgâhın dinamik davranışlarına büyük etkisi vardır. Bir takım üzerinde oluşturulan değişik açılar, takım geometrisi olarak adlandırılır. Değişik türde ve şekilde imal edilmiş farklı geometride takım uçları ve bağlama konumlarına göre farklı takım tutucular mevcuttur. Takım geometrisini oluşturacak olan bu açıların değeri, kesici ucun dayanımı ve kesme yeteneği arasındaki ilişkiye göre belirlenir. Aynı durum takım yüzeyinde meydana getirilen talaş açısı içinde geçerlidir (Şekil 7.2) (Güden 2005).



Şekil 7.2 Genelleştirilmiş tek ağızlı torna kalemideki açıları

Pratikte kaleme verilmesi gereken α, β, γ açıları ile normal kesme yapılabilmesi için takım ucunun punta ekseninde bağlanmış olması gerekir. Aksi halde kesme üzerinde etkili olan bu açıları değişir. Bu değişim kalemin punta ekseninde ve altında olmasına bağlıdır. Kesici takım parça ekseninde ise, dış çaplı yüzeylerin işlenmesi durumunda, ön boşluk açısı artarken talaş açısı azalır ve $\alpha + \beta$ büyür. Kesici takım köreldiği zaman parçayı kaldırmaya veya parça altında kesici takımı çekmeğe zorlayacağından, iş parçası esnemesi ve kesici takım titreşimi meydana gelebilir. Bunun aksi durumu oluşursa, yani; kesici takım punta ekseninde bağlanmışsa boşluk açısı küçülür.

Talaş açısı büyüdüğünde $\alpha + \beta$ küçülür. Ancak iç çaplar işlenirken ön boşluk açısı büyürken talaş açısı küçülür. Bu durumda ise talaş iyi kırılmaz ve kaba

işlemlerde uygulanabilir. İş parçasında sert kısımlara rastlanırsa fazla zorlanmadan dolaylı kalem esner ve parçaya dalabilir.

Dik kesme işleminde, kayma açısı (ϕ), boşluk açısı (α), kama açısı (β) ve talaş açısı (γ) gibi açılar kesici takım geometrisini oluşturan açılardır. Bunların en önemlisi kayma açısı olup, kayma düzlemi ile takımın hareket yönü arasındaki açıdır. Kayma açısının değişimi, talaş kalınlığını da değiştirdiğinden, önemlidir. Bu açılarının değişmesi, kesme kuvvetleri ve takım ömrü üzerine ve tırlama titreşimine yol açar. Bu nedenle kesme işlemi esnasında etkili talaş kaldırma işlemi elde etmek için kesici takımın uç noktası iş parçası veya fener mili merkezinde olmalıdır.

Bazı durumlarda talaş oluşumu daha büyük bir negatif talaş açısıyla ve talaşın kendi kendine kırılması için daha sert bir sıkıştırma ile iyileştirilirse de, genellikle küçük ilerleme hızlarında pozitif talaş açılarının belirgin bazı üstünlükleri vardır. Daha büyük ilerleme değerlerinde büyük pozitif talaş açıları talaşın kıvrıldığına sıkışmamasını sağlamaları açısından avantajlıdır.

Talaş oluşumu birçok faktörden etkilenir. Bu faktörlerden en önemlisi iş malzemesidir. Malzemenin tipi, mukavemeti, sertliği yapısı, iş parçasının şekli ve boyutları talaş oluşumunu etkiler. Kesme verilerinin, özellikle ilerleme ve talaş kalınlığının talaşın boyutları ve şekli üzerine doğrudan etkisi vardır. Yaklaşma açısının talaşın uzunluğu, genişliği ve akış yönü üzerindeki etkisi büyüktür. Uç radyüsünün talaş üzerindeki etkisi talaş kalınlığına bağlıdır.

Bunların yanı sıra, talaş yüzeyi üzerindeki kesme geometrisinin talaş oluşumunu önemli ölçüde etkilediği gözlenmiştir. Bu yüzeyin uygun tasarımı sayesinde kesici kenarın talaş kontrolü sağlanır. Talaş açısı ve oluşturulan negatif yüzeylerin uzunluğu tasarımda ilk ele alınacak unsurlardır. Bu unsurlar işleme esnasında oluşan talaşın deformasyon miktarı ve eğriliği üzerinde etkide bulunurlar.

İşleme esnasında ortaya çıkan kuvvetler ve basınçlar kesici kenar geometrisinden etkilenirler. Pratikte kesici kenar geometrisinin performans, takım ömrü, güvenilirlik, güç ihtiyacı ve talaşın şekli üzerinde büyük etkiye sahiptir.

Genel kural olarak, talaş açısının artmasıyla kesme kuvvetleri azalır ve daha iyi bitirme yüzeyi elde edilir. Talaşların kontrolü, talaşların akmasına sebep olan doğru talaş açısının verilmesiyle sağlanır. Aşırı pozitif talaş açısı takım kesici ucunu zayıflatır. Kullanılan talaş açısı, iş malzemesinin özelliğine ve yapılan kesme

işlemine bağlı olarak değişir. Talaş açıları kesici takım üzerinde taşlanabilir veya plaketa uçlar halindeyse bunlar istenilen talaş açısını sağlayan uygun takım tutucu içine yerleştirilerek oluşturulur.

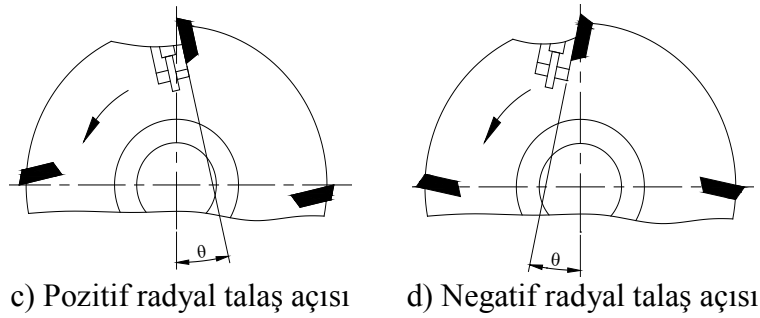
Verimli talaş kaldırma işlemi için en iyi olan tasarım; pozitif talaş açılı takımın kullanılmasıdır. Bu açı kayma bölgesinde daha büyük kayma açısı yaratır. Bu da talaşın talaş-takım ara yüzeyi boyunca serbestçe akmasına imkân sağlar. Şartlar doğru seçilmezse, takım yüzeyi üzerinden talaşların kayması kraterleşmeye yol açabilir. Düşük çekme dayanımlı ve demir içerikli olmayan ve içerisinde aşındırıcı (abrasif) parçacıkları bulunmayan sünek malzemeler, küçük çaplı uzun miller veya işlenirken sertleşen malzemeler kesilirken pozitif talaş açılı takımlar kullanılır.

Yüksek çekme dayanımlı malzemeler ve abrasif içerikli malzemeler, fazla ilerleme miktarlarına ve kesintili kesme işlemi yapıldığında negatif açılar tercih edilir. Bir takım üzerinde negatif talaş açısı kayma bölgesi boyunca daha küçük bir kayma açısı oluşturduğundan, daha fazla sürtünme ve ısı meydana gelir. Isıdaki artış dezavantaj olarak görülmesine rağmen, tok malzemelerin karbürlü takımlarla işlenmesi arzulanır. Genellikle, negatif açılı takımlar; esmer dökme demir, temper dökme demir, dökme çelikler, takım çelikleri, sıcak iş takım çelikleri veya sadece sade karbonlu çelikler gibi malzemeler karbürlü takımlarla işlendiğinde tercih edilirler.

Serbest (boşluk) açı, kesici takım ucunun ve taban yüzeyinin işlenecek iş parçasına sürtünmesini önlemek amacıyla verilir. Bu açının değeri genelde 5-8° arasında olmakla beraber kesici takım-iş parçasına göre de değişmektedir. Kama açısı; kesici takım ucunun kesme özelliğinin sağlanması, yani batmanın kolaylaştırılması için verilmekte olan bu açının değeri hem takım malzemesi hem de iş malzemesi çifti için deneyle tespit edilen tecrübeyle sağlanır. Ancak, bu açının değişmesi talaş açısını da değiştirir ve dolayısıyla bu açı talaş açısındaki değişmeye bağlıdır. Talaş açısı, talaşın kesici takım yüzeyinden akarak uzaklaşmasını sağlayan açı olup, genellikle pozitif olarak verilir. Ancak bazı hallerde, özellikle seramik takımla kesme yapıldığında, talaş açısının değeri negatif olabilmektedir. Dik kesme işleminde, boşluk açısı, kama açısı ve talaş açıları toplamı her zaman 90° olmalıdır (Şahin (2000)).

7.1.1 Radyal talaş açısı

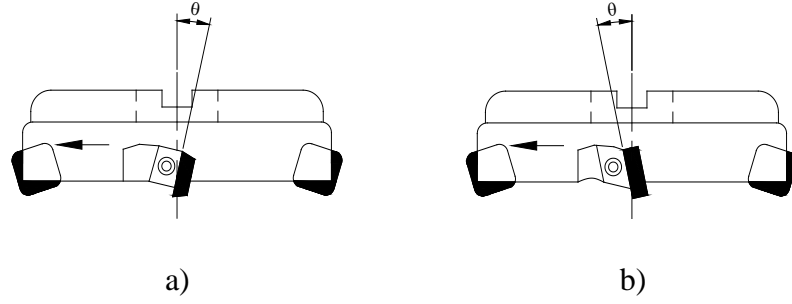
Kesme kenarı kesme hızına paralel olmadığı zaman eğimli/meyilli kesme meydana gelir. Kesme kenarı kesme hızına dik olan düzlem ile bir eğim açısı yapar. Bu, dik kesmedeki gibi kesme kenarına dik olmayan çizgi boyunca talaşın talaş yüzeyinden kaymasına sebep olur. Stabler (1951) tarafından elde edilen deneysel deliller göstermiştir ki; talaş yüzeyinde kesme kenarına dik bir çizgi ve talaşın hareket çizgisi arasında uzanan açı meyil açısına eşittir (Şekil 7.3).



Şekil 7.3) Freze radyal talaş açıları

7.1.2 Eksenel talaş açısı

Takım talaş açısı esas kesme kenarına dik alınarak, takım talaş yüzeyi ile takım tabanına paralel düzlem arasındaki pozitif veya negatif açıdır (Şekil 7.4). Takım kesme kenarının iş parçasına nüfuziyetinde önemli rolü vardır. Kesme faaliyeti dik, yani esas kesme kenarı dönme ekseni ile 90^0 giriş açısında olduğu zaman, meyil açısı ve talaş açısının ölçüldüğü düzlemler birbirine diktir. Giriş açısının $0-90^0$ dışında olması halinde kesme işlemi meyillidir ve meyil ve talaş açısının ölçüldüğü düzlemler birbiri ile $<90^0$ açı yapar. Normalde takım yan kenarı ile kestiği ve iş parçası boyunca ilerlediği için bu talaş açısı ayrıca yan-talaş açısı olarak bilinir. Radyal ve eksenel talaş açıları birleşerek kesme kenarını teşkil ederler ve talaş akışını, kesme kuvvetlerini dolayısıyla kesme gücünü etkilerler. Takım tutucudaki meyil açısı genellikle negatif olmasına rağmen kesme kenarı talaş açısı sıklıkla pozitifdir (Şekil. 7.4).

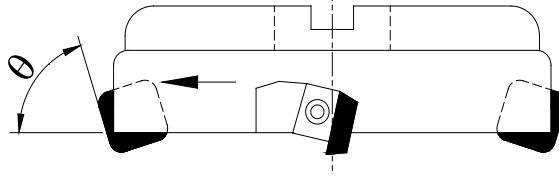


Şekil 7.4) Freze eksenel talaş açıları
a)Pozitif eksenel talaş açısı
b)Negatif eksenel talaş açısı

7.1.3 Giriş/Yaklaşma açısı

Takımın esas kesme kenarı ve dönme eksenini arasındaki açı giriş/yaklaşma açısı diye adlandırılır (Şekil 7.5). Giriş açısı 90^0 iken talaş derinliği efektif kesme uzunluğuna, talaş kalınlığı da ilerlemeye eşittir. Giriş açısı $<90^0$ olduğunda aynı talaş derinliği ve ilerlemeye karşılık efektif kesme uzunluğu dramatik bir şekilde artarken, talaş kalınlığı da aynı şekilde azalır. Böylece giriş açısının değişimi, ilerleme ve dolayısıyla talaş kaldırma miktarını etkiler. Kesme kenarının büyük bir kısmının kullanılmasıyla kesme basıncı yayılır. Kesme kenarındaki kesme basıncının azalması ile takım ömrü artar. İnce talaş basıncı kesme kenarı boyunca yayar ve kalın talaş için gerekenden daha az güç/enerji tüketir.

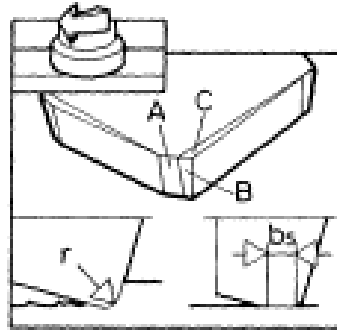
Kesme kenarının maruz kaldığı gerilmeler dikkate alındığında düşük kesme basıncı avantajlı olup, küçük giriş açıları talaşa sıfırdan itibaren giriş sağladığı için takımı ani şıklardan korur, bu sebeple ağır talaşlı işleme ve kesintili kesme işlemlerinde uygulanır. Ancak bazı operasyonlarda, kalın talaş ve kesme kenarı arasındaki teması geliştirir ve böylece takım ömrü dikkate alındığında avantaj sağlar. Ayrıca kalın talaş kesildiği zaman bazı malzemeler daha iyi kesilir. Bazı hallerde giriş açısının çok küçük olması takım ömrünü azaltır, eğer talaş çok ince ise kaldırılması yüksek enerji gerektirir, çok ince talaşın telafisi için ilerleme artırılır. $<90^0$ giriş açısı ve artan ilerleme ile parça işleme süresi kısaltılır. İlerleme artışı kesme zamanını azaltarak verimliliği artırır ve kesme kenarını daha iyi kullanarak iyi bir takım ömrü sağlar (Çakır, (1999)).



Şekil 7.5) Freze yaklaşma açısı

7.1.4. Kesici takım uç radyüsü

Bir kesici takım ucu, kesme kenarını güçlendirmek, ısıyı dağıtmak ve aşınmayı azaltarak takım ömrünü uzatmak için kavislendirilir. Yüksek ilerleme değerlerinde, düzgün bir yüzey kalitesi elde etmek için, özellikle bitirme işlemlerinde, köşe gerisinde bir düzlük oluşturulmuş (bs) takım uçları kullanılmaktadır (Şekil 7.6). (Sağlam 2000)

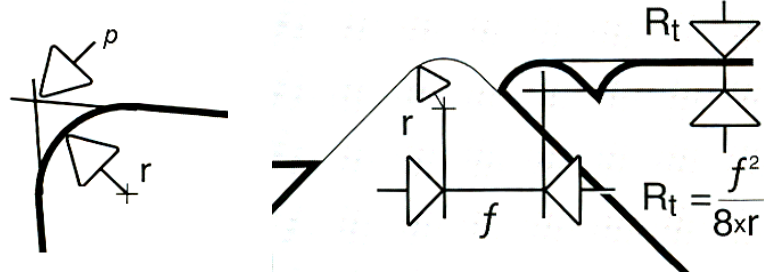


Şekil 7.6 .Köşe kavisli ve düzlem yüzey yapılı bir takım ucu

Takım uç radyüsü (r) kesme kenarlarına teğet olup teorik bir noktada buluşur. İşlevsel yönden uçtaki keskinliği ve zayıflığı kaldırır. Radyüs ölçüsü kayda değer ölçüde değişir ve radyüsten beklentiler değişik operasyon tiplerine göre oldukça farklıdır. Beklentilerden birisi işleme sırasında geniş bir kesit alanının büyük kuvvetlere dayanmasıdır. Büyük bir radyüs, daha iyi takım ömrü sağlamak için kesimi büyük bir uzunluğa yayar. Büyük radyüsle ısı dağılımı daha avantajlıdır ve termal dalgalanmalardan doğan hasar daha azdır.

Kaba işlemede talaş derinliği başlıca verimlilik faktörüdür. Aşırı talaş derinliğinden takım ömrü olumsuz etkilendiğinden, büyük uç radyüsü performansı

iyileştirebilir. İşlenmiş bir yüzeyin yüzey pürüzlülüğü esas itibariyle ilerleme ve uç radyüsünün bir fonksiyonudur (Şekil 7.7). Uygulamada bunu etkileyen diğer faktörler kesme hızı, kesme kenarındaki ilerleyen aşınma ve tırlama olayı sıralanabilir.



Şekil 7.7. Profil derinliğinin uç radyüsü ve ilerleme ile değişimi

7.1.5 Yan kesme kenarı açısı

Yan kesme kenarı açısı (YKKA) kesme kenarı ve takım tutucu doğrultusu arasında kalan açıdır, değeri $0^{\circ} - 90^{\circ}$ arasında değişir, talaşın kalınlık ve genişliğini etkiler. Daha uzun ve ince talaş ile aşağı doğru basınç daha uzun kesme boyuna yayılır, kesme kenarının kesme kuvveti tarafından kırılma ihtimali daha az olacağından takım ömrü artar. YKKA'nın azalması ile veya işlenmesi zor malzemeler işlenirken ilerleme artışı ile takım ömrü artırılabilir. YKKA = 0° olduğu zaman, kesme kenarının toplam uzunluğu iş parçası ile temas halinde olduğundan, takım kuvvetli bir giriş şoku ile kesmeye başlar. YKKA = 30° iken takım malzemedenden daha az giriş şoku alır.

7.1.6 Yan boşluk açısı

Yan boşluk açısı (YBA) takım kırılmasını ortadan kaldırır ve takım ömrünü artırır. Eğer bu açı çok küçükse, takım iş parçasına karşı sürter, aşırı ısı üretir ve

takımın erken k rlenmesine sebep olur. *YBA* Sertleştirilmiş elikler için $2^0 - 4^0$, sert çelikler için $4^0 - 6^0$ ve demir-dışı malzemeler için $7^0 - 12^0$ alınır.

7.1.7  n boşluk açısı

 n boşluk açısı takımın işe s rt nmeksizin kesmesine sağlar. Eğer takımın sırt talaş açısı pozitif ise  n boşluk açısı da pozitifdir, eğer negatif ise takımın boşluk açısı sıfırdır, ancak takım tutucuya boşluk açısı verilir. Talaş açısı talaş akışını kontrol eder, pozitif halde talaşları işlenen yüzeyden uzaklaştırırken negatif halde talaşları iş parçasına doğru yönlendirir. $+5^0$ bir talaş açısı talaşı uzaklaştırır ve tezgâh yüzeylerinin bozulmasını engeller. Eğer aı negatif ise takımı kuvvetlendirir, özellikle kesintili kesmede (frezeleme gibi) uzun takım ömrü sağlar.

8. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

İşleme metodu, kesicinin cinsi ve işlenen malzemeye bağlı olarak, işleme sırasında fiziksel, kimyasal ve ısı faktörlerle, kesen ve kesilen arasındaki mekanik hareketlerin de etkisiyle işlenmiş yüzeylerde, genellikle istenmediği halde tabii olarak bazı izler oluşur. Nominal yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü denir (Güllü, 1995).

İşlenmiş yüzeylerde, işleme metodu ne olursa olsun (örnek: lepleme, taşlama, tornalama vb.) belli bir yüzey pürüzlülüğünün oluşması kaçınılmazdır.

Çoğunlukla son görünüm, bazı parçacıkların sebep olduğu farklı düzensizliklerin bir araya gelmiş halidir. Ancak pürüzlülüğe sebep olan faktörlerin etkilerini tek tek ayırt etmek her zaman mümkün olmayabilir.

Aynı cins malzemenin farklı metotlarla aynı yüzey pürüzlülük değerinde işlendiği, bazen bunların korozyon, aşınma, sürtünme ve yorulma dirençlerinin farklı oldukları bilinmektedir. Çünkü yüzeyin pürüzlülüğünden başka; yüzeydeki işleme izlerinin yönleri ve dağılımları da performansı etkiler. Bu sebeple işlenecek parçaların bazılarında yüzey pürüzlülük değeri belirtildiği gibi işleme metodunun da belirtilmesi istenir.

İşlenen yüzeylerin kalitesi işleme performansı üzerinde önemli rol oynar. Kaliteli işlenmiş bir yüzey yorulma mukavemetini, korozyon direncini ve sürtünme ömrünü önemli derecede iyileştirir. Yüzey pürüzlülüğü ayrıca yüzey sürtünmesine sebep olan temas, aşınma, ışık yansıtma, ısı iletimi, yağ filminin, tutulması ve dağıtılması kabiliyeti, kaplama veya direnç ömrü gibi parçaların çeşitli fonksiyonel özelliklerini de etkiler. Bu sebeple istenilen yüzey tamlığı genellikle belirlenir ve ihtiyaç duyulan kaliteye ulaşmak için uygun işlemler seçilir. Son yüzey pürüzlülüğü iki bağımsız faktörün toplamı olarak dikkate alınabilir.

- 1) İdeal yüzey pürüzlülüğü takım geometrisi ve ilerlemenin bir sonucudur.
- 2) Tabii yüzey pürüzlülüğü kesme operasyonundaki düzensizliklerin bir sonucudur (Boothroyd ve Knight (1989)).

Kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği gibi kesme operasyonu kontrol eden faktörler üst seviyede oluşturulabilir. Buna rağmen takım geometrisi, takım aşınması, talaş yükleri ve talaş oluşumları veya takım ve iş parçasının malzeme özellikleri kontrol edilemeyen özelliklerdir (Huynh ve Fan (1992)). Tırlama veya takım tezgâhı titreşimleri, iş malzemesinin yapısındaki hasarlar, takım aşınması veya talaş oluşumunun düzensizlikleri, işleme sırasında yüzeyin bozulmasına katkıda bulunurlar (Boothroyd ve Knight (1989)). Yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek ve ilerleme veya kesme hızı gibi işleme parametrelerinin uyumunu değerlendirmek ürün kalitesini yükseltir ve istenilen yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesini sağlar.

8.1. Yüzey Kalitesini Etkileyen Faktörler

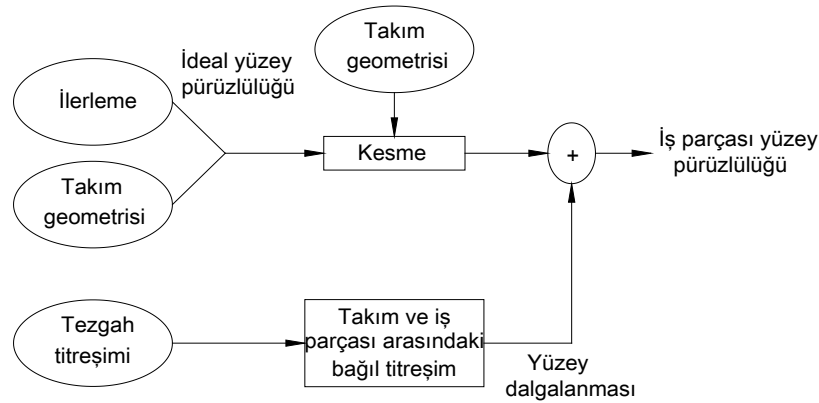
Genellikle yüzey kalitesini etkileyen faktörler şöyle özetlenebilir:

- a) Takım tezgâhlarının yeterli rijitlikte olmaması,
- b) Tezgâhın kinematik mekanizması,
- c) Yataklama sisteminden kaynaklanan tezgâh hataları,
- d) Takım ucu ve takım tutucunun rijit olmamasından kaynaklanan imalat hataları,
- e) Takım konumlama ve bağlama hataları,
- f) Takım aşınmasından kaynaklanan hatalar,
- g) Çevrenin etkisi ile oluşan hatalar olarak sayılabilir.

Bütün talaş kaldırma işlemlerinde temel amaç iş parçasında istenilen geometri ve hassas bir bitirme yüzeyi oluşturmaktır. Talaş kaldırma işlemlerinde; istenilen geometri ve yüzey pürüzlülüğü olmak üzere iki önemli kalite karakteristiği üzerinde durulmaktadır. Talaş kaldırma işlemlerinde talaş akışı ve malzeme taşınımının oldukça karmaşık olmasından dolayı matematiksel modellenmesi için çoklu değişkene ihtiyaç vardır. Bu karmaşık yapıya rağmen, kısmen yüzey pürüzlülüğünün kontrolü, öncelikli olarak üç önemli talaş kaldırma değişkeni olan kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği için uygun değerler seçilerek sağlanabilir. Genel olarak,

talaş derinliği ve ilerleme miktarının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğü miktarı artarken, buna zıt olarak kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülük değerleri azalmaktadır (Kwon (2000)).

Şekil 8.1’de yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler ele alınmıştır. İş parçasının bitmiş yüzey pürüzlülüğünü etkileyen bu faktörler; ilerleme, takım geometrisi ve takım-iş parçası arasında kendiliğinden meydana gelen titreşim olmak üzere üç kısma ayrılmıştır.

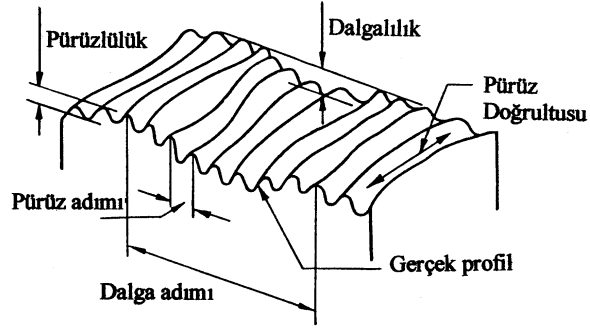


Şekil 8.1 Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler (Cheung ve Lee (2000))

8.2. Yüzey Yapısının Özellikleri

İmalat teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak sadece boyutsal tamlığın ölçülmesi yeterli olmayıp, birbiri ile ilişkili, hatta ilişkili olmayan yüzeylerin pürüzlülüklerinin ve durumlarının da ölçülmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bir yüzey yapısının kontrolünde üç önemli faktör sırasıyla; yorulma ömrü, yataklık etme özelliği ve aşınmadır. İşlenen yüzeylerde dalgalılık ve pürüzlülük olmak üzere iki tip yüzey sapması meydana gelir. Dalgalılık yüzeyin geometrik şeklini karakterize ederken, pürüzlülük yüzey kalitesini tayin eder. Yüzey pürüzlülüğü standartlara göre yüzeye dik olan bir kesitte, belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilir. Referans profil olarak genellikle geometrik profil alınır. Profil ortalama çizgisinin yeri, bu çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olacak şekilde belirlenir. Düz bir yüzey denildiğinde dalgasız, pürüzsüz denildiğinde dalgalı, fakat gözle bakıldığında

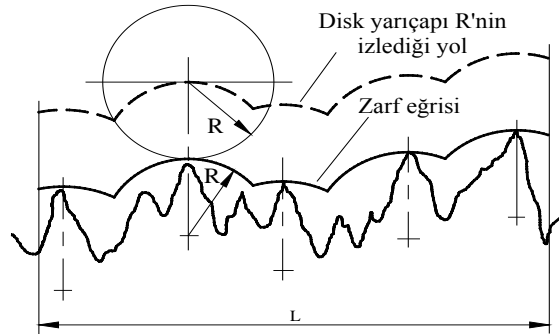
veya tırnakla kontrol edildiğinde, pürüzlülükleri fark edilemeyen yüzeyler anlatılmak istenir. Doğrultu, yüzey pürüzlerinin referans alınan bir alın yüzeyine göre durumunu belirler. Yüzey geometrileri, işleme metoduna bağlı olarak değişir. Şekil 8.2’de işlenmiş bir yüzey geometrisi görülmektedir (Galyer ve Shotbolt (1993))



Şekil 8.2 İşlenmiş bir yüzeyin yüzey karakteri

8.3. Yüzey Hatalarının İncelenmesinde Genel Kurallar

İşlenmiş bir yüzey üç-boyutlu bir uzaya sahip olduğundan, bir yüzeyin hatasız kabul edilen başka bir yüzeye göre incelenmesi, üç-boyutlu bir geometri problemidir. Ancak yüzeye dik alınan bir kesit düzlemi üzerinde hata profillerinin incelenmesi ile problem iki boyuta indirgenebilir. Bu durumda pürüzlülüğün derecesi, seçilen bu düzlemin konumuna bağlıdır. Şekil 8.3’de verilen yüzey pürüzlülük profilinde genel olarak oluşabilecek dalgalılık ve pürüzlülüğün iki boyuta indirgenmiş grafiği gösterilmiştir.



Şekil 8.3 Yüzey pürüzlülük profili (John ve Joseph (2001))

Eğer pürüzler doğrultusunda ölçüm yapılırsa, elde edilen pürüzlülük değerinin, pürüzler doğrultusuna dik yapılan ölçümle elde edilene göre daha az olması tabiidir. Bu, tek doğrultulu pürüzlü yüzeyler için doğrudur. Çok yönlü karmaşık izlerde, iki ayrı yönde yapılan ölçüm sonuçları arasında fark daha az olur. Tek yönlü izlerin olduğu yüzeylerde, herhangi bir yön belirtilmemişse, ölçümler iz doğrultusuna dik yapılmalı, çok yönlü izlerde ise birkaç değişik yönde yapılan ölçümlerin ortalaması alınmalıdır. Tatmin edici bir değer vermesi için esas pürüzlülük izlerinin dalga boyu ne kadar büyük ise, numune uzunluğu o kadar büyük alınmalıdır. Yüzey tamlığı numarası; taşlama, honlama gibi farklı metotlarla üretilen, fakat eşit pürüzlülük değerine sahip yüzeyler arasındaki yapı farklılıklarını göstermez. Bunun için yüzeylerin grafiklerinin çizilmesi gereklidir. Yüzey kalitesi farklı işleme metotları için takım geometrisine, takım özelliklerine ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen kesme parametrelerine bağlı olarak yazılabilir.

Tornalama için;

$$R_t = \frac{f^2}{8r} \quad (8.1)$$

Frezeleme için;

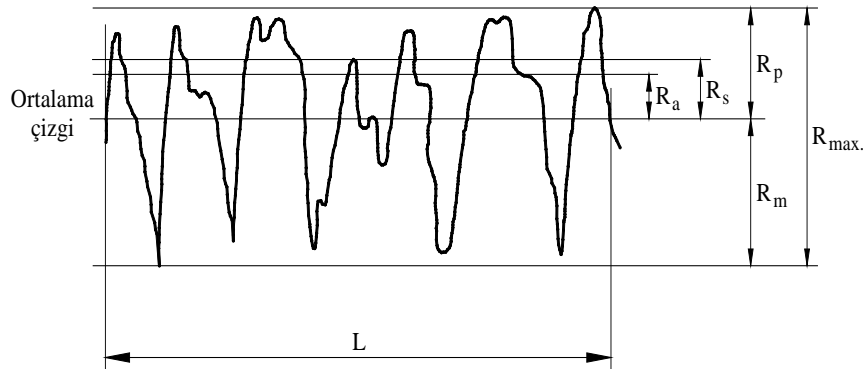
$$R_t = \frac{f \cdot r^2 \cdot 1000}{4D} \quad (8.2)$$

bağıntısı yazılabilir (Sandvik 1996). Takım ve parça arasındaki titreşimler sebebiyle, gerçek pürüzlülük değeri, yukarıdaki bağıntıdan elde edilenden daha küçüktür.

8.4. Yüzey Kalitesini Belirlemede Esas Alınan Sayısal Değerler

Birkaç farklı yoldan birisiyle, sayısal bir yüzey kalite profilinin verilmesi, başlangıç noktasının sağlanması için zarf sistemi veya ortalama çizgi sisteminin kullanılması ile mümkündür. Yine de şu anlaşılmalıdır ki, basit bir sayısal değer çeşitli geometrik yönlerin sadece birisinin ölçümü olduğu sürece yüzeyin geometrisini tamamen açıklayamaz.

Belirtilen herhangi bir değerin seçimi yüzey kalitesinin görünümüne bağlıdır. Bununda fonksiyonel görüntü noktasından kontrolü çok önemlidir. Aşağıda açıklanan değerler en çok kullanılan değerlerdir ve onların ortalama çizgi veya zarf sistemine eşit olarak uygulanabilirliği tekrar vurgulanmıştır.



Şekil 8.4 Yüzey kalitesi için sayısal değerler (Scarr (1991))

8.5. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri

Yüzey kalitesinin sayısal değerlerinin belirlenebileceği ortalama çizgi (M) ve zarf sistemi olarak adlandırılan iki yöntem kullanılmaktadır. Gelişmiş ülkelerin büyük bir çoğunluğu M yöntemini benimsemekte, bu ülkelerin bir kısmı ortalama pürüzlülüğü (R_a) bir kısmı da en büyük pürüzlülüğü (R_{max}) yüzey pürüzlülük ölçme ölçütü olarak kullanmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü, pürüzlülük değerine bağlı olarak değişen ve değerlendirme uzunluğu olarak tanımlanan standart bir aralıkta ölçülmektedir (Thomas ve Charton (1981), King ve Spedding (1982), Reason (1970 (RTH)).

8.5.1. Ortalama Eksen Çizgi Değeri (cla, Ra)

Bu parametre aritmetik ortalama pürüzlülük değeri AA (arithmetic average) veya CLA (center line average) olarak bilinir ve pürüzlülüğün en çok kullanılan parametresi olup genel olarak R_a diye tanımlanır. R_a , profil düzensizliklerinin

ortalamasını vermesi sebebiyle, genel yüzey yapısı hakkında önemli bir kriterdir. R_a tahmin tekniğinin hassas, güvenilir, düşük maliyetli ve tahribatsız yapılması önemlidir.

Diğer bir tarife göre R_a seçilen örnekleme uzunluk sınırlarında, eksen çizgisinin altında ve üstünde oluşan profil sapmalarının aritmetik ortalama değeridir (ISO 4287/1-1984 (E/F/R)).

8.5.2. İşleme parametrelerinin R_a ile ilişkisi

Tornalama operasyonlarında R_a ile kullanılan takımların geometrik özellikleri ve tezgâh işleme parametreleri teorik olarak ilişkilendirildiğinde;

$$R_a = \frac{f}{4(\tan C_s + \cos C_e)} \quad (8.3)$$

elde edilir. Burada f ilerleme hızı (mm/dev), C_s takımın yardımcı kenar açısı, C_e takım ayar açısıdır. Takım uç yarıçapı r olan bir takım için (8.3) denklemi aşağıdaki şekle dönüşür:

$$R_a = \frac{0,0642 f^2}{r} \quad (8.4)$$

Denklem (8.4)'dan anlaşılacağı üzere pürüzlülük değeri ilerleme ve takımın uç yarıçapıyla bağıntılıdır. Uç yarıçapı 0,4 mm olan bir takım sıfır uç yarıçaplı (teorik) bir takıma göre sekiz kat daha küçük yüzey pürüzlülüğü verir. (Begeman ve ark. (1987))

8.5.3. Pürüzlülük izleme (cut-off) genişliği

Pürüzlülük izleme genişliği tekrarlanan yüzey düzensizliklerinin en büyük aralığını gösteren ortalama pürüzlülük yüksekliğinin ölçümünü ihtiva eder. 1/1000 in olarak ifade edilir. Standart cut-off değerleri 0.08, 0.25, 0.8, 2.5 mm'dir. Eğer herhangi bir değer belirtilmezse 0.8 mm kabul edilir (Mike ve ark. (1999)).

8.6. Örnekleme Uzunluğu

Sayısal değer olarak pürüzlülük belirleneceği zaman, seçilen profil uzunluğunun etkisi dikkate alınmalıdır. Basit periyodik biçimli yüzeyler için seçilen örnekleme boyu önemsizdir, çünkü adımların sayısı, sonucu yorumlamak için yeterlidir.

Bir örnek uzunluk L_1 , maksimum tepe-dip değeri R_{t1} değeri ile bağlantılı olacaktır. Eğer örnek uzunluk L_2 'ye artırılırsa tepe-dip değeri de R_{t2} 'ye artırılmış olacaktır. Bundan dolayı, birbirine uygun sonuçlar elde etmek için yapılan ölçmeye uygun örnek uzunluk seçilmelidir. Seçilen örnek uzunluk yüzey yapısının görünümünü temsil edecek büyüklükte olmalıdır (Mike ve ark. (1999)).

9. TIRLAMA TİTREŞİMİ

Takım tezgâhlarında tırlama titreşimleri konusunun anlaşılması bakımından mekanik titreşimlerin iyi derecede bilinmesi gerekir. Bir cismin denge konumu etrafında periyodik olarak yaptığı harekete mekanik titreşim denir. Genel halde titreşim, istenmeyen ve lüzumsuz bir enerji halidir. Özellikle takım tezgâhlarında gürültü yapması, parçaları kırması ve istenmeyen kuvvetleri iletmesi bir gerçektir. Bu sebeplerden dolayı titreşimin azaltılmasına çalışılır.

Birçok sistem birden fazla şekil ve doğrultuda titreşebilir. Eğer sistem, sadece bir tek mod ve tarzda titreşmeye şartlandırılırsa veya sistemin kütesinin uzayda geometrik yerini tayin etmek için bir tek bağımsız değişkene ihtiyaç varsa, bu şekildeki sisteme tek serbestlik dereceli sistem denir. Konumlarını belirtmek için, n adet bağımsız koordinat gerektiren sistemlere n serbestlik dereceli sistemler denir.

Titreşim problemlerinde hareketin denkleminin çözülmesi gereklidir. Sistem önce varlığını, elastikiyetini ve sürtünmesini ifade eden kütle, yay ve sönüm elemanları cinsinden basitleştirilir. Hareketin denklemi, zamanın fonksiyonu olan yer değiştirme cinsinden veya hareketin herhangi bir anında kütlein denge pozisyonuna olan mesafesini verecek şekilde ifade edilir. Hareket denkleminde sistemlerin en önemli özelliği olan tabii frekans elde edilir.

Düzgün lineer ve burulma şeklindeki titreşim hareketlerinin her ikisini de, hareketin kendisini tekrarlaması için gerekli zamana periyot (dönem), birim zamanda hareketin tekrarlanma sayısına frekans adı verilir. Tabii frekans, sistemin sürtünmesiz serbest titreşimi esnasındaki frekansıdır. Sönümlü tabii frekans ise sistemin sürtünmeli serbest titreşim yapması halindeki frekansıdır.

Her bir işleme operasyonunda hatanın esas kaynağını takım ve iş parçası arasındaki bağıl dinamik hareket oluşturur. Takım ve iş parçası arasındaki bağıl hareket, doğal frekanslı bir sistemdir ve büyük genlikli bağıl yer değiştirmelerle meydana gelen kararlı olmayan davranışlardan dolayı, işlenmiş son yüzeye ve kesici takıma büyük ölçüde zarar verebilir. Bu hareket kabul edilebilir limitlerin ötesinde gelişirse bu olay tırlama olarak adlandırılır ve meydana gelen tırlama kötü yüzey sonuçlarına, düşük ölçü tamlığına, takım aşınmalarının artmasına, sık sık takım kırılmasına ve dolaylı olarak tezgâh ömrünün kısılmasına yol açar. İlâveten,

tırlamanın her zaman mevcut potansiyel zorlamaları (zorla yüklemeleri) önemli işlemlerde ilerleme ve dönme hızlarını azaltır ve işleme verimliliğini düşürür.

Titreşimin imalat sırasında ortaya çıkan bir kaç tipi vardır. Bunlar genel olarak serbest titreşimler, zorlanmış titreşimler, kendi kendini uyarıcı titreşimler, yenilenebilen titreşimler, termomekanik titreşimler ve mod çiftlemesi olarak adlandırılır. Bu sınıflamanın dışında titreşimler, doğrusal ve doğrusal olmayan titreşimler, sönümlü ve sönümsüz titreşimler, belirli ve rasgele titreşimler olmak üzere de sınıflandırılabilirler.

Titreşimler altında, doğal durumuna hemen hemen yakın bir frekansta meydana gelen art arda dinamik kesme kuvveti değişimi, talaş kalınlığı oluşumunun niteliğini değiştirir. Değişken bir yapıya sahip talaş kalınlığı oluşturan bu durum, sistemi daha fazla uyarır. Bu koşullar altında eğer titreşimin genliği önceki geçişte oluşan genlikle karşılaştırıldığında azalmadıysa veya kararsızlığın sonucunda titreşimin genliği sürekli olarak büyüyorsa bu titreşim tırlama titreşimi olarak adlandırılır. Bu tırlamanın mekanizması üzerine analizler ve çalışmalar yaklaşık 50 yıl önce Tobias (1965) ile başlamıştır. O zamandan beri farklı imalat işlemleri için tırlama kararlılığının limitlerini tahmin etmek ve tırlama titreşimlerinin analizi için birçok model geliştirilmiştir.

Tırlama araştırmaları kesme işlemleri esnasında kararlılığı etkileyen en kritik faktörün talaş kalınlığı olduğunu göstermiştir (Kayhan ve Budak (2004)). Kesme işlemleri talaş kalınlığı küçük olduğu zaman çok kararlı olur. Tırlama titreşimi, tırlama limit noktası b_{lim} 'den sonra talaş kalınlığının artması ile başlar ve talaş derinliğinin en yüksek değerinde daha belirgin hale gelir. b_{lim} 'in değeri ise takım tezgâhının, iş parçası malzemesinin, takımın kesme hızı ve geometrisinin dinamik karakteristiklerine bağlıdır (Tlustý (1999)).

9.1. Zorlanmış Titreşimler

Serbest titreşim, sistemin denge konumundan uzaklaştırılıp bırakılması halinde yaptığı periyodik harekettir. Tatbik edilen kuvvetler, yay kuvveti, sürtünme kuvveti ve kütlelerin ağırlığıdır. Sürtünme olması halinde titreşim zamanla azalır. Bu serbest

titreşim veya kısa süreli (geçici) hareket olarak adlandırılır. Serbest titreşimde $F(t) = 0$ olduğundan sistemin hareket denklemi aşağıdaki gibi verilir:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad (9.1)$$

m : Eşdeğer kütle,

x : Deplasmandır,

c : Birim zamandaki sönümlleme kuvveti,

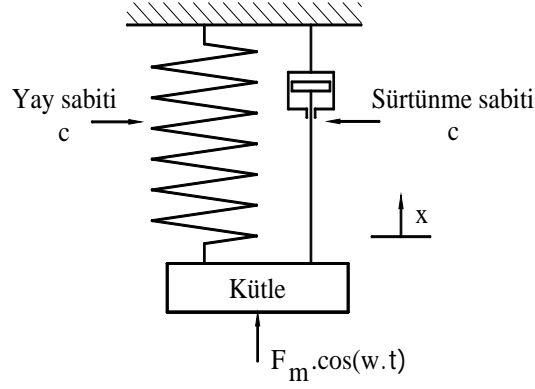
k : Birim deplasmandaki yay kuvvetidir.

Zorlanmış titreşim, genellikle $F(t) = F_m \sin(\omega t)$ veya aynı şekilde $F(t) = F_m \cos(\omega t)$ şeklindeki dış kuvvetlerin sisteme etki etmesi sonucu oluşan titreşimlerdir. Zorlanmış titreşim hareketinde sistem kendi tabii frekansı ile olduğu kadar, tatbik edilen dış kuvvetlerin frekansı ile da titreşmeye zorlanır. Sürtünme olması halinde, hareketin tatbik edilen sinüzoidal dış kuvvetin ihtiva etmediği bölümü, zamanla söner. Neticede sistem ilk şartlardan ve kendi tabii frekansından bağımsız olarak tatbik edilen dış kuvvetin frekansı ile titreşir. Dış kuvvetin tesiri ile meydana gelen titreşime düzgün titreşim hali veya tepki denir. Genellikle titreşimin devamlı tesirleri dolayısıyla düzgün titreşim hali meydana gelir. Şekil 9.1’de görülen tek serbestlik dereceli sistemin hareket denklemi, (11.2) denklemindeki gibidir.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_m \cos(\omega t) \quad (9.2)$$

F_m : Dış harmonik kuvvetin max. değeri,

ω : Dış harmonik kuvvetin açısal frekansıdır.



Şekil 9.1 Sönümlü tek serbestlik dereceli kütle-yay sistemi

Bu sistemin sabit durumlu titreşim hali aşağıdaki gibidir:

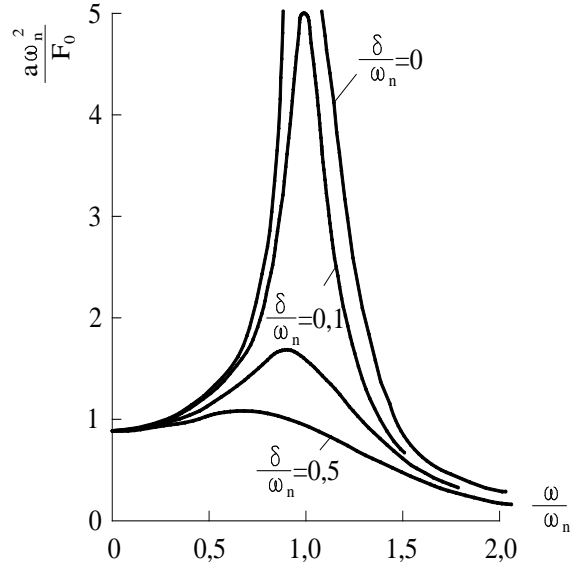
$$x = \frac{F_0 \cos(\omega t - \phi)}{\left[4\delta^2 \omega^2 + (\omega_n^2 - \omega^2)^2\right]^{1/2}} \quad (9.3)$$

burada, $F_0 = F_m/m$, $\omega_n = \sqrt{k/m}$ (tabii açısal frekans), $\delta = c/2m$ (sönümleme katsayısı)'dır.

Denklem (9.3), a genliğinde ve ϕ faz açılı bozucu kuvvet geciktirmeli ω açısal frekansında bir hareketi ifade eder. Bu genlik aşağıdaki gibidir;

$$x = \frac{F_0}{\left[4\delta^2 \omega^2 + (\omega_n^2 - \omega^2)^2\right]^{1/2}} \quad (9.4)$$

ω ile ω_n birbirlerine eşit olduğu zaman rezonans meydana gelir. Rezonanstaki genlik ise $F_0/2\delta\omega_n$ 'dir. Bu sonuçlar Şekil 9.2'de görülmektedir. Bu şekil sönümleme katsayısının değişen değerleri için çizilmiş bir grafikdir.



Şekil 9.2 Tek serbestlik dereceli kütle-yay sisteminin cevap eğrisi

Şekil 9.2 için;

a : Titreşim genliği,

F_0 : Bozucu kuvvetin kütleyle oranının maksimum değeri,

ω : Açısal zorlanmış frekans,

ω_n : Sistemin açısal tabii frekansı,

δ : Sönüm katsayısı.

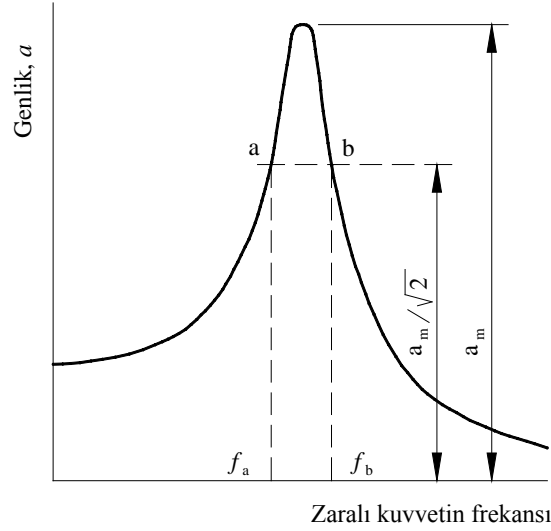
Bu sonuçlardan, sönümlü kütle-yay sisteminin titreşim genliğini minimize etmek için sönümlenme mümkün olduğu kadar büyük olmalı, buna karşılık sistemin tabii frekansı, bozucu (zararlı) kuvvetin frekansından önemli derecede küçük olması gerektiği çıkartılabilir.

Takım tezgâhlarındaki zorlanmış titreşimler genellikle kesme kuvvetlerindeki periyodik değişimler sebebiyledir. Mesela, böyle değişiklikler yan yüzey veya alın frezelemesinde görülebilir. Burada zorlanmış titreşim frekansı, takım dönme frekansının takım diş sayısı ile çarpımına eşittir.

Tasarımcı tarafından maksimum sönümlenmenin düzenlenmesinde de gayret gösterilmelidir. Bu sönümlenme, yapı malzemesinin iç sönümlenmesi, çeşitli civatalı bağlantılarda sürtünmeli sönümlenme ve yataklar, kızaklar v.s. çeşitli yağlanmış ara yüzeylerde viskoz sönümlenme dahil olmak üzere çeşitli yollarla artırılabilir. Maalesef sönümlenme hakkında, tasarım konusunda oldukça az faydalı bilgiler mevcuttur.

Bununla birlikte bir yapıdaki sönümlemenin tahmini, deneysel olarak elde edilen cevap eğrilerinden yapılabilir.

Şekil 9.3’de sönümlenmiş bir sistemin cevap eğrisi görülmektedir. Maksimum genlik, $a_m/2$ genliğinde meydana gelen frekanslar f_a ve f_b eğrilerinden elde edilir.



Şekil 9.3 Cevap eğrisinden sönümlenmiş sistem sabitinin tespiti

Şekil 9.3’te görüldüğü gibi sönümlenme oldukça küçük olduğunda, sönümlenme katsayısı (sönüm faktörü) şöyle olur;

$$\delta = \pi(f_b - f_a) \quad (9.5)$$

bu sonuç (9.5) denkleminde a ’nın konulması ve ω^2 ’ye göre çözülmesiyle,

$$\omega^2 = (\omega_n^2 - 2\delta^2) \pm 2\delta\sqrt{\omega_n^2 + \delta^2} \quad (8.6)$$

elde edilir. Bu denklemin Şekil 8.3’deki a ve b noktalarına karşılık gelen iki çözümü mevcuttur. Düşük sönümlemede δ^2 ve ω_n^2 ihmal edilirse,

$$\omega_a^2 = \omega_n^2 - 2\delta\omega_n \quad (9.7)$$

$$\omega_b^2 = \omega_n^2 + 2\delta\omega_n \quad (9.8)$$

denklemleri elde edilir. (9.7) ve (9.8) denklemlerinde düzenlemeler yapılırsa,

$$\omega_b - \omega_a = 4\delta\omega_n / (\omega_a + \omega_b) \quad (8.9)$$

denklemini elde edilir.

$\omega_b + \omega_a = 2\omega_n$ olduğu zaman (9.9) denklemini, (9.10) denklemini halini alır.

$$\omega_b - \omega_a = 2\delta \text{ veya } \delta = (\omega_b - \omega_a) / 2 \quad (9.10)$$

olur. Sonuç olarak ω_a ve ω_b , $2\pi f_a$ ve $2\pi f_b$ ile verilirse, $\delta = \pi(f_b - f_a)$ istenen ifade bulunur. Gerekli olduğu zaman eşdeğer yay rijitliği aşağıdaki denklem yardımı ile bulunur.

$$k = F_m \omega_n / 2\delta a_m \quad (9.11)$$

9.2. Kendiliğinden-Oluşan Titreşimler

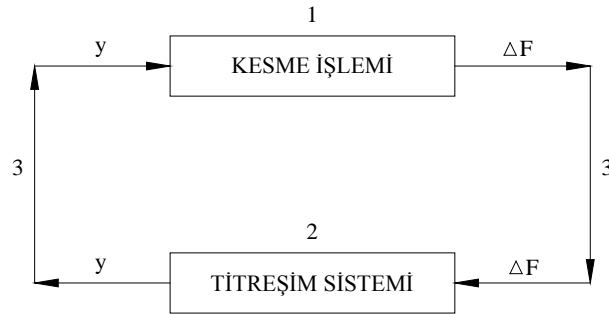
Takım tezgâhlarında performansı etkileyen en önemli faktörlerden birisi; kendiliğinden oluşabilmesi için gerekli enerjiyi kesme işleminden alan titreşimlerdir. Kendiliğinden-doğan titreşimlere etki eden çok çeşitli parametreler mevcuttur. Etkili tüm parametrelerin ayrı ayrı incelenmesi zor olduğu için genellikle araştırmacılar tarafından sınıflamaya tabii tutulmuştur. Araştırmacılarından Merritt (1965) bu parametreleri; kesme işlemine ait parametreler, yapının dinamik davranışına ait parametreler ve yenilenebilir titreşim oluşmasına sebep olan parametreler olmak üzere üç sınıfta incelemiştir. Tlusty (1970)'de buna benzer bir sınıflandırma yapmıştır. Tobias (1965) ise kendiliğinden-doğan titreşimlere etki eden parametreleri kesme işlemine ait parametreler üzerine kurmuştur.

Tezgâhın yapı dinamiğinin kendiliğinden oluşan titreşimler üzerindeki etkilerini reseptansa bağlayan Merritt ve Tlusty, reseptansı kendiliğinden oluşan titreşim kıstası olarak kabul etmişlerdir. Reseptans; bir mekanik sistemin herhangi bir noktasındaki deplasmanın, bu noktaya uygulanan kuvvete oranı olarak tanımlanabilir Koenigsberger ve Tlusty (1971). Buna aynı zamanda dinamik kompliyans da denir. Reseptans yapının tabii frekansı, statik rijitlik ve sönümlenme miktarı değerleri

birleşiminin ve titreştirici kuvvetin frekansının bir fonksiyonudur. Merritt ve Tlusty'e göre reseptans ne kadar küçükse, tezgâhın kendiliğinden-doğan titreşimden uzakta çalışma ihtimali de o kadar büyüktür.

Takım tezgâhlarının kullanımında, metal kesme işleminden gelen enerjiyle oluşan titreşimlere sık sık rastlanmaktadır. Bu titreşimler işlenen yüzeylerdeki dalgalanmalar, takım ve tezgâh ömrünün azalmasına ve kesme kuvvetlerindeki büyük değişmelere neden olur. Bazı işleme şartları altında kaldırılan talaş miktarı küçükse, rölatif titreşimler oluşmaz ve işlem kararlıdır. Bazı durumlarda ise rölatif titreşimlerin oluştuğu ve işlemin kararsız olduğu görülür. Kararlı ve kararsız kesme işlemleri arasında genellikle çok belirgin bir sınır mevcuttur. Kesme işlemi sırasında kararlı olan durumun, talaş genişliğinin belli bir değere çıkarılmasıyla kararsızlığa dönüşmesi mümkündür. Talaş genişliğinin bu sınır değeri kendiliğinden oluşan titreşimlerin başlama değeridir. Burada enerji kaynağı kesme işlemi içerisinde. Kendiliğinden-doğan titreşimlerin kötü etkilerinden uzaklaşmak için, bu titreşime neden olan işleme şartlarından kaçınmak gerekir. Farklı tasarımlara sahip takım tezgâhlarının kararlılık sınırları farklıdır. Bundan dolayı, kendiliğinden-doğan titreşimlerin analizi, kesme şartlarının seçimini ve takım tezgâhlarında yüksek kararlılık bölgelerini verebilecek tasarımları gerçekleştirecektir.

Talaş kaldırma işleminde kendiliğinden-doğan titreşimlerin prensip diyagramı Şekil 9.4'de görülmektedir. Bu iki temel kısımdan oluşan kapalı bir çevrimdir. Burada birinci kısım kesme işlemi, ikinci kısım ise tezgâhın titreşim sistemidir. Kesme işlemi esnasında oluşan kuvvet değişimi, tezgâhın titreşim sistemine etki etmektedir. Tezgâhın titreşim kaynaklarından oluşan sistem, kuvvet değişimi sebebiyle takımla iş parçası arasındaki titreşimini oluşturur.

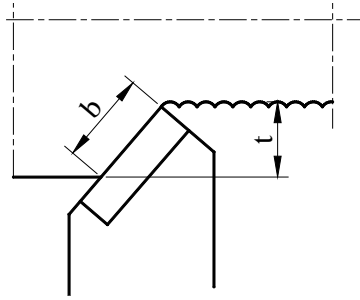


Şekil 9.4 Kendiliğinden oluşan titreşimlerin prensip diyagramı

Kesme işlemine etki eden bu y titreşimi, tekrar olarak kesme işleminden değişken bir ΔF kuvvetinin çıkmasına sebep olur. Bu olay kapalı bir çevrim şeklinde tekrarlanır. 3 nolu bağlantı kısmı, kesme işlemi ve tezgâhın titreşim sistemini birbirine karşılıklı bağlayan kısımdır.

Kendiliğinden-doğan titreşimin kesme işlemine etkisi incelenirken, parametrelerin büyük kısmı standart alındığı için sabittir. Sadece talaş derinliğine bağlı olarak değişen talaş genişliği b 'dir. Şekil 9.5'de talaş genişliğinin talaş derinliğine göre değişimi tornalama ve frezeleme işleminde görülmektedir.

Farklı tezgâhların veya bir tezgâhın farklı düzeneklerinin kararlılığının tayin edilmesi için, standart kesme şartları altında kesme testleri yapılır. Kesme testlerinde belli bir talaş genişliğinden başlanarak, talaş genişliği artırılır. Bu değer belli bir sınıra ulaştığında kendiliğinden-doğan titreşim meydana gelir. Buradaki talaş genişliğinin limit değeri (b_{lim}), kararlılık ölçütü olarak tanımlanır (Tlusty ve Polacek (1963)).

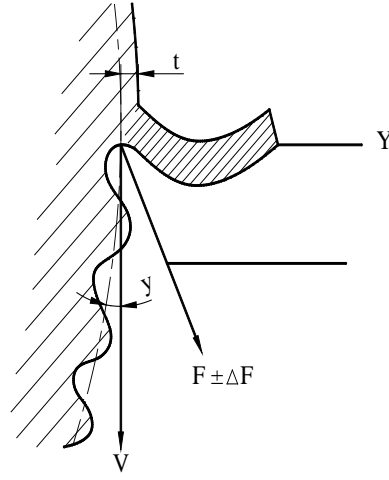


Şekil 9.5 Talaş genişliğinin talaş derinliğine göre değişimi

Şekil 9.4'deki kesme işlemi, belirtildiği gibi kapalı bir çevrimdir. y titreşiminin ΔF kuvvetine ilişkisi bir transfer fonksiyonu ile ifade edilebilir. Bu transfer fonksiyonunun oluşturulması için iki tane basit kabulün yapılması gerekmektedir. Bu kabuller;

- Kesme kuvvetinin değişimi, talaş genişliği değişimi ile orantılı,
- Kesme kuvvetinin değişen bileşeninin doğrultusu, kararlı işlemdeki kesme kuvvetinin doğrultusunun aynısı olmalıdır (Koenigsberger ve Tlusty (1971)).

Kesme işleminde transfer fonksiyonunun esası Şekil 9.6’da görülmektedir. Kesme hızı doğrultusuna dik düzlemdeki titreşim bileşiminin sadece talaş kesimine etki ettiği Şekil 9.6’da görülmektedir. y doğrultusunun da kararlı kesme esnasında ortalama talaş kalınlığı t ise, titreşim esnasında, talaş kalınlığının $(t - y)$ ve $(t + y)$ arasında değişmesi mümkündür. Yine kararlı kesme sırasında iş parçasına etki eden ortalama kesme kuvveti F ise, değişken kuvvet bileşkesi de ΔF ’dir.



Şekil 9.6 Deforme edilmemiş talaş kalınlığının değişimi

Bu değişken kuvvet bileşkesi, y titreşiminin oluşmasına neden olur. Küçük kuvvet değişimleri için, deplasman değişimleri lineerlik gösterirler. Talaş kalınlığının ortalama değeri ve kuvvetin ortalama değeri titreşim işlemine etki etmez. Transfer fonksiyonu kuvvet ve talaş kalınlığının değişen bileşenleri arasındaki bir ilişki olarak açıklanabilir. Bunu açıklamak için şu formül kullanılabilir:

$$\Delta F = -R.y \quad (9.12)$$

Bu formüldeki R ; kuvvet ile deplasman arasındaki ilişkiyi veren, çiftleme katsayısı olarak tanımlanan bir sabittir (Koenigsberger ve Tlustý (1971)). R katsayısı kesme şartlarına ve talaş genişliği b ’ye bağlıdır. Ayrıca bu katsayı ΔF ve y ’nin seçilen konumlarına göre değişir. Denklemden değişken kuvvet ile deplasmanın ters işaretli oldukları görülmektedir. Bunun açıklaması için kuvvet ile deplasmanın iş

parçası üzerindeki konumları dikkate alınmalıdır. Diğer konumlarda kuvvet ile deplasman (yabancı saha)arasındaki bağıntı;

$$\Delta F = -b.r.y \quad (9.13)$$

şeklinde yazılır. Buradaki r katsayısı; talaş genişliği dışındaki parametrelere bağlı bir katsayıdır (Tlustý ve Polacek (1963)).

9.3. Yenilenebilen Tırlama

Kendi kendini uyaran titreşimlerin en genel formu yenilenebilen tırlamadır. Her ne kadar makine takım yapısı kendi-kendini kararlı yapsa da, kesme operasyonları üst üste binmiş kesmeler içerdiğinden dolayı, bu durum sık sık gerçekleşir. Önceki kesmede oluşan yüzey dalgalılığı üzerinden yapılan kesmeden kaynaklanan zorlanmış titreşimlerin genliği önemli derecede büyüyebilir. Yenilenen tırlama titreşiminin esasları, dik kesme işleminde bir örnekle açıklanır. Deneysel olarak gözlemlenen kesme kuvveti (F_c), kesme derinliği (h), meyil açısı (α) ve boşluk açısının (β) bir fonksiyonu olup şöyle yazılabilir.

$$F_c = F_c(h, \alpha, \beta) \quad (9.14)$$

Bu denklem bir toplam diferansiyel fonksiyon olarak varsayılır. Kudinov aşağıda verilen formu kesme kuvvetinin dinamik değişimi için bir formül olarak önermiştir.

$$dF_c = \frac{\partial F_c}{\partial h} dh + \frac{\partial F_c}{\partial \alpha} d\alpha + \frac{\partial F_c}{\partial \beta} d\beta \quad (9.15)$$

Talaş kalınlığı değişken olduğu zaman aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$dh = x(t) - \mu x(t - T) \quad (9.16)$$

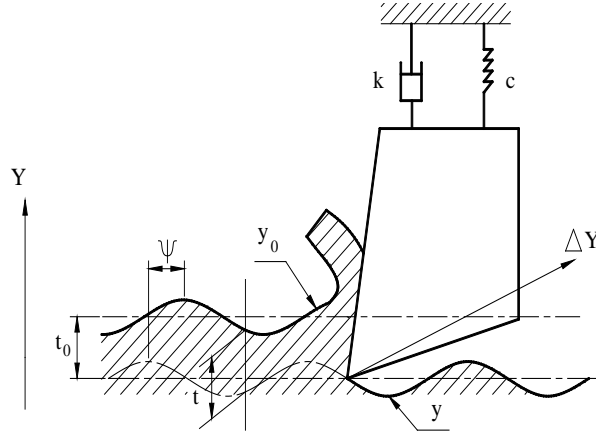
Burada μ , şu anki ve bir önceki kesmeler arasındaki üst üste binme faktörüdür. T , bir turun periyodudur. Başlangıçta, kesme işlemleri tarafından uyarılan basit tek serbestlik dereceli sistemin kararlılığı aşağıda verilen eşitlik tarafından açıklanmıştır.

$$1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2} + \frac{k_1}{k} \left(1 - \mu \cos \frac{2\pi\omega}{\Omega} \right) = 0 \quad (9.17)$$

$$\xi + \mu \frac{k_1}{k} \frac{\omega_0}{\Omega} \sin \frac{2\pi\omega}{\Omega} + \frac{4\pi k_2}{k} \frac{\omega_0}{\Omega} + \frac{2k_3}{k} \frac{\omega_0}{R} = 0 \quad (9.17)$$

Burada k_1 , k_2 ve k_3 işleme şartları ve R ise bir anlık iş parçası yarıçapıdır. (9.17) ve (9.17) denklemleri yenilenebilir kararlılığın yapısını ifade eder.

Bu etkinin incelenmesi için titreşim sisteminin en basit olan tek serbestlik dereceli sistem olarak kabul edilmesi gerekmektedir (Tlustý ve Polacek (1963)). Şekil 9.7’de sistemin modellenmesi görülmektedir.



Şekil 9.7 Titreşim sisteminin modellenmesi

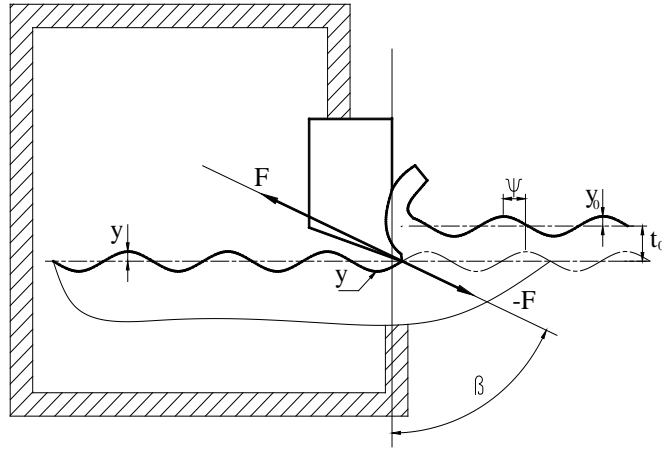
Tornalama işleminde önceden işlenen yüzey, planyalama işleminde önceki stroktaki işlenmiş yüzey ve frezeleme işleminde önceki diş tarafından işlenen yüzey, takım tarafından işlenir. Belli bir kesme sayısında takım ile iş parçası arasında bir titreşim varsa, kesilen yüzey dalgalı olacaktır. Bu kesme sayısı i olsun. $(i+1)$ kesmede talaş dalgalı yüzeyden kaldırılır. i . kesmede, kesme normal doğrultusundaki titreşim genliği y_0 , $(i+1)$. kesmedeki titreşim genliği y ise talaş kalınlığının değişimi $(y-y_0)$ 'dir. Burada y ve y_0 zamana bağlı değerlerdir. Şekil 9.8’de dalgalı yüzey görülmektedir. y ve y_0 'ın zaman vektörleri olması sebebiyle;

$$y = q \cdot y_0 \cdot e^{-j\omega t} \quad (9.18)$$

denklemleri ifade edilebilirler (Koenigsberger ve Tlustý (1971)). Bu denklemde ψ ; oluşan dalgalar arasındaki faz farkıdır. Neticede (9.12) denklemi yerine (9.19) denklemi gerçek kesme işlemleri için kullanılabilir.

$$\Delta F = -b.r.(y - y_0) \quad (9.19)$$

Şekil 9.8 esas alınarak y titreşimi tekrar iş parçası üzerinde bir dalgalı yüzey meydana getirir. Birbirini takip eden dalgalanmalar arasındaki titreşimin frekansı ve faz farkı kendilerini ayarlayarak, maksimum enerjiyi titreşim sistemine gönderirler.

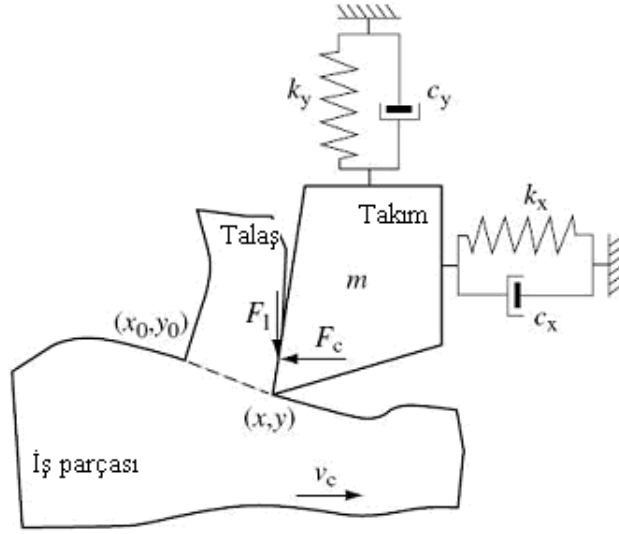


Şekil 9.8 Kesme işleminde dalgalanmış yüzey

Bu enerji titreşim sistemindeki sönümlenme tarafından oluşan enerji kayıplarını karşılamaya yeterli olabilir. Böylece sonraki kesme işlemlerinde titreşimin arttığı görülür. Bu, dinamik kararsızlığın özel bir durumu olan yenilenebilir titreşimi oluşturur. Talaş kalınlığı ve kesme kuvvetinin değişimi arasındaki çiftleme yoğunluğu $b.r$ ile verilir ve bu durum kararsızlığın artacağı halleri belirler.

Pratikte; yenilenebilir titreşim, b genişliğinin yeterli bir büyüklüğe gelmesiyle oluşur. Bu prensip üzerinde Tobias, Stefaniak ve Hahn gibi araştırmacılar çalışmışlardır.

9.4. Mod Çiftlemesi



Şekil 9.9 Tornalama için iki serbestlik dereceli tırlama modeli

Eğer itici kuvvet doğrultusundaki titreşim kesme kuvveti doğrultusu ve tersine titreşim oluşturursa, oluşan tırlama mod çiftlemesi türündendir. Bu, kesme ve itme kuvvet doğrultularında eş zamanlı titreşim oluşumunun sonucudur. Fiziksel olarak bu duruma talaş kalınlığı değişimi, kesme açısıyla değişen salınımlar, yenilenebilirlik etkisi, meyil ve yüzey boşlukları üzerindeki sürtünme gibi çok sayıda kaynak sebep olur. Wu ve Liu (1985), yukarıda şekli verilen iki serbestlik dereceli modelde, mod çiftlemesini aşağıdaki kesme ve itme kuvvetleri için verilen form ile hassas bir biçimde tespit etmişlerdir.

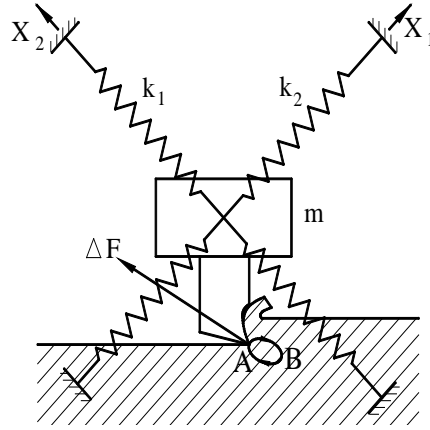
$$m\ddot{x} + c_x\dot{x} + k_x x = 2\omega\sigma_s(x_0 - x) \left[(A_x - C_x v_c) + \frac{1}{2} B_x (\dot{x} - \dot{x}_0) - \frac{1}{2} C_x (\dot{y} - \dot{y}_0) \right] - \frac{K\omega}{v_c} \dot{x} \quad (9.20)$$

$$m\ddot{y} + c_y\dot{y} + k_y y = 2\omega\sigma_s(x_0 - x) \left[(A_y - C_y v_c) + \frac{1}{2} B_y (\dot{x} - \dot{x}_0) - \frac{1}{2} C_y (\dot{y} - \dot{y}_0) \right] \quad (9.21)$$

Burada m eşdeğer titreşim ağırlığı C_x ve C_y sönümlenme viskozite sabiti k_x ve k_y makine yapısı rijitlik sabiti, v_c kesme hızı ve K takım ucundaki dalarak talaş çıkartma hareketinden hesaplanan sönümlenme katsayısıdır. (9.20) ve (9.21)

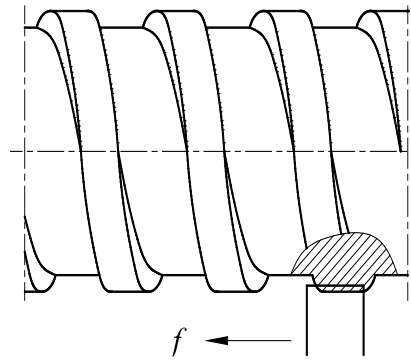
denklemlerinden geri kalan sabitler (A_x , A_y , B_x , B_y , C_x , C_y) dinamik kuvvet katsayıları olarak adlandırılır ve Wu ve Liu (1985) tamamen açıklamışlardır.

Bu prensipte sistem, en az iki serbestlik dereceli bir titreşim sistemi olarak kabul edilir. Böyle bir sistemin en basit formu Şekil 9.10'da görülmektedir. Farklı rijitlik katsayılarına sahip iki yaya bir m kütlesi bağlanır ve yaylar X_1 , X_2 doğrultularında hareket ederler. Bu doğrultular birbirlerine diktir.



Şekil 9.10 İki serbestlik dereceli titreşim sisteminin modellemesi

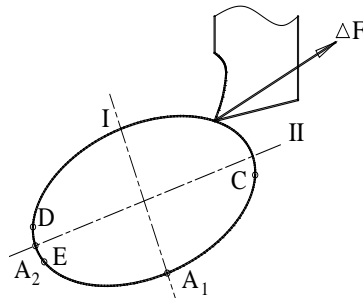
Bu prensibi önceki prensipten ayırmak için Şekil 9.11'de görülen özel bir işleme durumu düşünülmelidir. Bu durumda takım daima işlenmemiş bir yüzeyden talaş kaldırır. Bir kare dişin yüzeyinden kesme yapılacak şekilde bu durum düzenlenebilir. Bu düzenin kurulma nedeni kesme işlemindeki yenilenebilir etkiyi ortadan kaldırmaktır.



Şekil 9.11 Önceden deforme edilmemiş yüzeyin işlenmesi hali

Şekil 9.10'daki durum göz önüne alınırsa, titreşim f frekansı ile oluşur. m kütlesi X_1 ve X_2 doğrultularında, farklı genlik ve farklı bir fazla aynı zamanda titreşir. Böylece son hareket eliptik bir eğri oluşturur. Bu sırada takım da Şekil 9.10'da görüldüğü doğrultuda hareket eder. Takımın eliptik eğri üzerindeki A noktasından B noktasına yarım (periyotluk) dönemlik hareketi sırasında, kesme kuvveti ΔF , harekete karşı etki eder. Takım B noktasından A noktasına giderken, bu yarım periyotta da kesme kuvveti hareketin hızı doğrultusunda etki eder. Takımın ilk yarım periyottaki hareketi esnasında enerji, sistem tarafından harcanır. İkinci yarım periyotta ise kesme kuvveti tarafından titreşim sistemine enerji verilir. İkinci yarım periyot daha büyük bir ortalama kesme derinliği ile yapıldığı için, ortalama kesme kuvveti birinci yarım periyottaki kuvvetten daha büyük olur. Neticede, bir çevrimde sisteme verilen enerji, sistem tarafından harcanan enerjiden daha büyüktür. Fazla enerji, sönümlenme kayıplarını karşılayabilir.

Bu prensibe göre; sistemin uygun düzenlemeleri ile açıklanan prosedür oluşturularak, kendiliğinden-doğan titreşim meydana çıkarılmıştır. Şekil 9.11'deki düzende, X_1 doğrultusu ΔF ve Y doğrultuları arasında kalırsa ($X_1 \perp X_2$) konum çiftlemeyi esas alan kararsızlık kriteri $k_1 < k_2$ durumudur. Eğer aynı şartlarda $k_1 > k_2$ olursa kesme işlemi karardır. Bu yargı yalnızca yenilenebilir titreşimin olmadığı durumlarda geçerlidir.



Şekil 9.12 Konum çiftleme prensibine göre takımın aldığı eliptik yol

Şekil 9.12'de bu prensibe göre kendiliğinden-doğan titreşimde takımın aldığı eliptik yol görülmektedir. Burada I doğrultusunda maksimum deplasman A_1 noktasında, II doğrultusunda ise maksimum deplasmanın A_2 noktasında oluşur. Kesme kuvvetinin maksimum değeri ise E noktasında olur.

Konum çiftleme prensibine göre meydana gelen kendiliğinden oluşan titreşimde takımın aldığı eliptik yol, deneysel olarak Hahn (1953) tarafından belirlenmiştir. Ayrıca bu prensibe göre oluşan titreşimin kriteri için matematiksel bağıntılar elde edilmiştir.

10. DENEYSEL ÇALIŞMA

10.1. Deneyin Yapısı

Bu tez çalışmasında, dinamik kesme şartları altında, değişken adımlı yerleştirilmiş kesici uçlara sahip alın freze çakıları kullanılarak, değişik kesme parametrelerinde kesme işlemleri yapılmış ve her bir takım ile yapılan frezeleme işlemleri sırasında kaydedilen titreşim sinyalleri analiz edilmiş ve yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Bu çalışmada Tam Faktöriyel Tasarım (TFT) gereği 36 frezeleme deneyi yapılmıştır. Deney planı Ek 1’de sunulmuştur. Deneyler bir dik işleme merkezinde (MAZAK Variaxis 500) AISI 1050 imalat çeliğinden yapılmış 50x25x120 mm boyutlarında deney numuneleri üzerinde kuru kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Deneyleri etkilememesi ve homojenlik sağlanması açısından her numune malzeme yüzeyindeki tufal tabakası kaldırılmıştır. Malzemenin kimyasal kompozisyonu Tablo 10.1’de verilmiştir.

Tablo 10.1. Deney numunesinin kimyasal yapısı

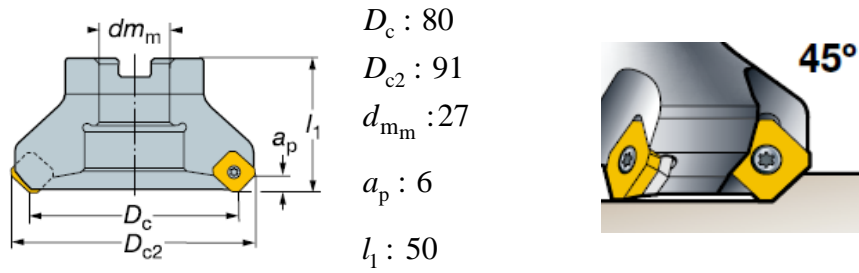
%C	%Si	%Mn	%Cr	%Ni	%Mo	%Cu
0.344	0.130	0.425	0.318	0.073	0.3979	0.073

Yapılan deneylerde kesici uçları farklı adımlı yerleştirilmiş üç alın freze tarama başlığı kullanılarak, sabit talaş derinliğinde farklı kesme hızları ve ilerleme değerlerinde kesme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan freze tarama başlığına (AFM45 SE12 D80) P20 kalitesinde kesici uç (ZCC.CT: SEET 12T3-DM) kullanılmış ve kesici uç için kesme hızı ve ilerleme değerleri aralığı olarak imalatçı firmanın tavsiye değerleri referans alınmıştır. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri ve işleme şartları Tablo 10.2’de verilmiştir.

Tablo 10.2. Kesme parametreleri ve işleme şartları

Talaş derinliği (d) mm	1.5			
Kesme Hızı (V_c) m/dak	178	226	281	364
İlerleme hızı (f) mm/dak	125	160	200	
Kesme şartları	Kuru			

Diğer geometrileri aynı kalmak şartıyla kesici uçları farklı adımlı yerleştirilmiş freze çakırlarının tırlama titreşimlerini kaydedip analiz etmek ve bunları bilahare titreşim sinyallerinin yüzey pürüzlülüğü ile olan etkileşimlerini analiz etmek için üç adet freze çakısı (AKKO) yaptırılmıştır. Bütün takımlarda yaklaşma açısı ($\chi=45^\circ$) ve talaş açısı ($\gamma=12^\circ$) sabit tutulmuştur. Tasarlanıp kullanılan alın freze çakısının resmi Şekil 10.1'de ve alın freze çakısı için kesici uç yerleşim açıları Şekil 10.2'de gösterilmiştir.



Şekil 10.1. Freze çakısının genel özellikleri

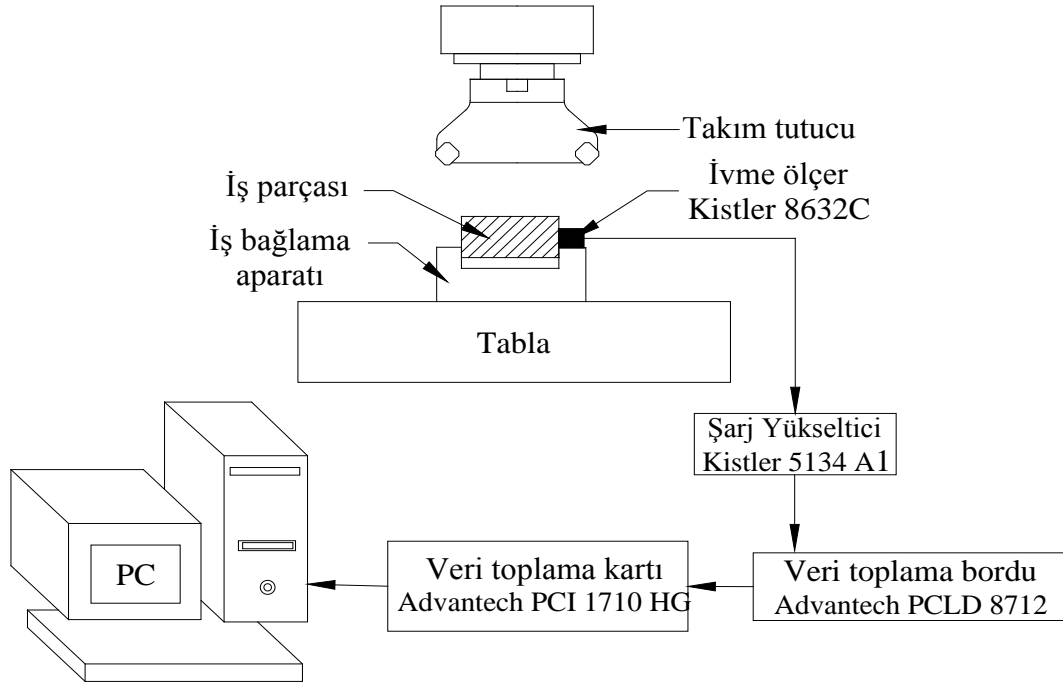
Takım 1	Takım 2	Takım 3

Şekil 10 2. Freze çakılarında kesici uç yerleşim adımları

10.2. Deney Şeması

Bu çalışmada deneyler takım ve tezgâhın hazırlanması ve deney numunesinin tezgâh tablasına tespitinden sonra deney planında belirlenen kesme parametreleri ile gerçekleştirilmiştir. Takım bağlandıktan sonra statik şartlarda komparatör yardımıyla takım tutucu gövdesinin ve kesici uçların salgıları ölçülmüştür. Deneyden önce

numune yüzeylerindeki tufal tabakası 1 mm talaş kaldırılarak işlenmiş böylece hem yüzeyin paralelliği sağlanmış, hem de talaş derinliğindeki olası değişkenlikler giderilmiştir. Veri kaydı öncesi tezgâh bir müddet boşa çalıştırılarak kararlılık sağlanmış, takım numuneye bir taraftan tam talaşa girene kadar ve takım numunenin diğer tarafından çıktığı andan itibaren veri kaydı yapılmamıştır. Hazırlanan deney setinin şematik görüntüsü Şekil 10.3’de görülmektedir.



Şekil 10.3 Deney setinin şematik görünüşü

10.3. İvmelenme/Titreşim Ölçümü

İşlem sırasında ivmelenme sinyallerinin kaydedilmesi için kullanılan ivmeölçer (Kistler 8632C) mengeneye tespit edilmeden önce, mengene üzerinde farklı yerlere bağlanarak denemeler yapılmak suretiyle ivmelenme sinyallerinin en yüksek değerinin alındığı yer belirlenmiş ve ivmeölçer takım ilerleme doğrultusunda mengene üzerine tespit edilmiştir. Tespit işlemi, ivmeölçer için üretilmiş yapışkan bir vaks ile yapılmıştır. Frezeleme sırasında ivmeölçerden alınan ivmelenme sinyalleri bir şarj Yükseltici/kuplör (Kistler 5134 A1), Veri toplama bordu (Advantech PCLD 8710) ve Veri toplama kartı (Advantech PCI 1710 HG) aracılığı ile bir personel

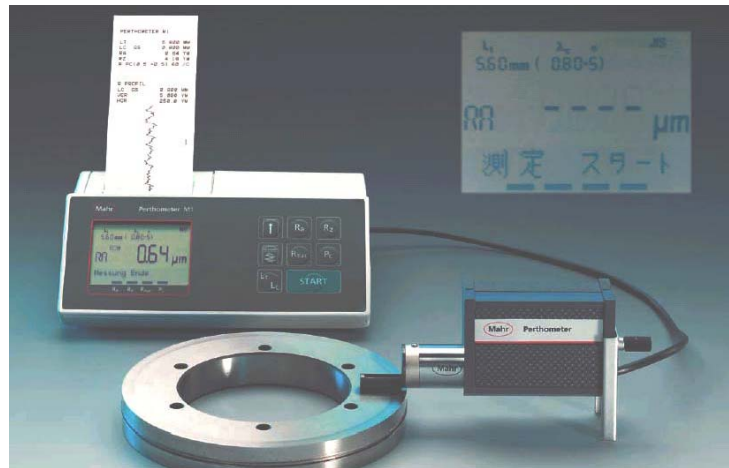
bilgisayara kaydedilmiştir. Sinyallerin parazit ve manyetik etkilerden etkilenmemesi için ivmeölçer için tavsiye edilen özel kablolar kullanılmıştır. Tek eksenli ivme ölçerin resmi Şekil 10.4’te görülmektedir.



Şekil 10.4. Tek-eksenli piezo-elektrik ivmeölçer ve şarj yükseltici

10.4. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

İşlenen numune yüzeyleri toz, kir ve muhtemel bulaşmış yağlardan arındırıldıktan sonra yüzey pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler bir yüzey üzerinde üç farklı noktadan yapılarak ortalama değerleri alınmıştır. Ölçümlerde iğne uçlu pürüzlülük ölçüm cihazı (Mahr Perthometer M1) kullanılmıştır. Cihazın resmi Şekil 10.5’te görülmektedir.



Şekil 10.5. Mahr Perthometer M1 pürüzlülük ölçüm cihazı

Ölçümler 5.8 mm örnekleme uzunluğunda (cut-off), işleme izlerine dik doğrultuda yapılmış ve cihazın ölçme baskısını sabit ve hareketli ölçme kolunu pleyt düzlemine paralel tutmak için ivmeölçer Şekil 10.6'teki gibi sayısal bir mihengire bağlanmıştır. Böylece ölçüm şartlarında benzerlik sağlanmıştır.

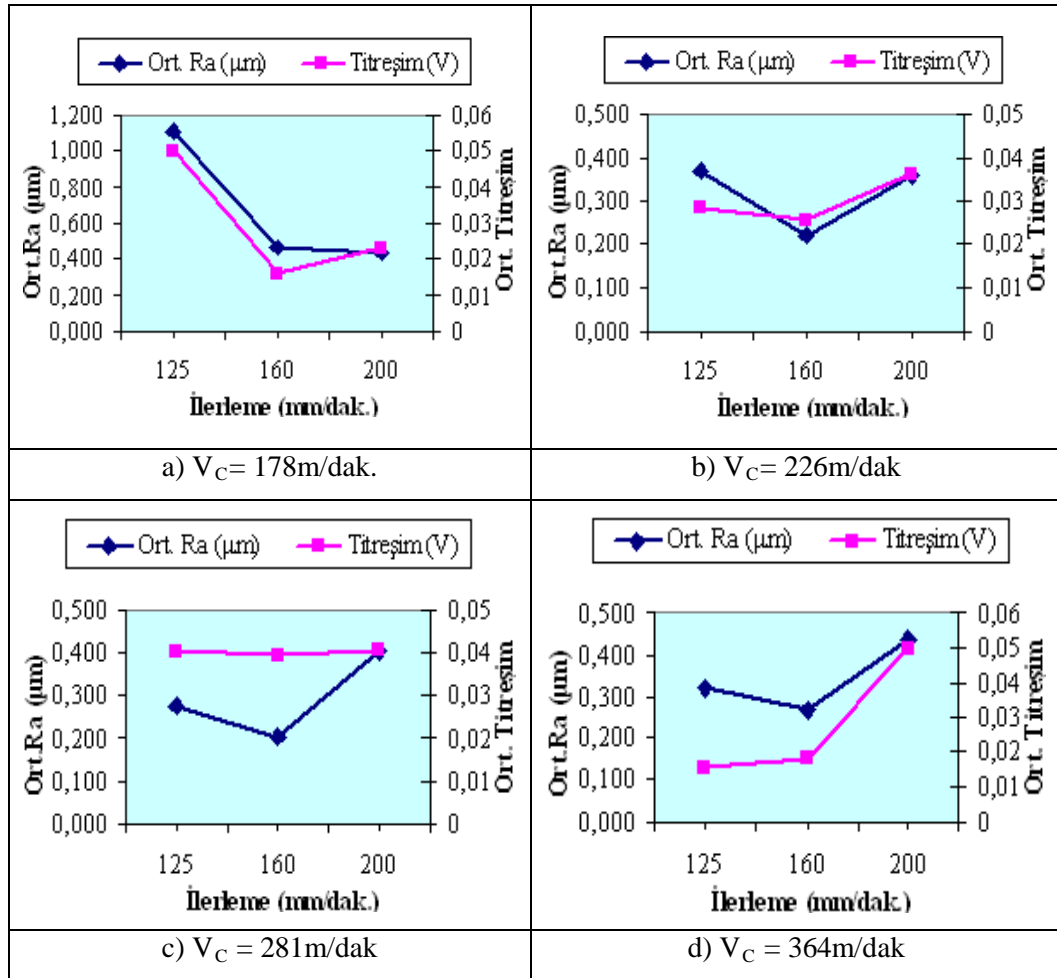


Şekil 10.6. Pürüzlülük cihazının mihengire tespiti

11. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada farklı adımlı kesici ağızlara sahip freze çakıları kullanarak değişik kesme parametreleri ile yapılan talaş kaldırma işlemleri sonucu kesme esnasında meydana gelen tırlama titreşimleri ve bunun yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Sabit tutulan işleme parametrelerine göre takım davranışları aşağıda verilen grafiklerde ifade edilmiştir.

11.1. 1 Numaralı Takımın (Kesici uç yerleşim aralıkları tamamen değişken) Sabit Kesme Hızı ve Değişken İlerleme Değerleri İçin Titreşim-Pürüzlülük İlişkisi.



Şekil 11.1. 1 Numaralı Takımın Sabit kesme hızı ve değişken ilerleme değerlerinde oluşturduğu titreşimlerin pürüzlülüğe etkileri

Tablo 10.3. 1 Numaralı takımın sabit kesme hızı ve değişken ilerleme değerlerine bağlı olarak oluşturduğu titreşim ve pürüzlülük verileri

	Kesme Hızı (V_c) (m/dak.)	İlerleme (f) (mm/Dak.)	Ort. Ra (μm)	Ort. Titreşim(V)
1 Numaralı Takım (Kesici uç yerleşim aralıkları tamamen değişken)	178	125	1,111	0,050
	178	160	0,463	0,023
	178	200	0,439	0,016
	226	125	0,371	0,028
	226	160	0,221	0,025
	226	200	0,360	0,036
	281	125	0,276	0,040
	281	160	0,202	0,039
	281	200	0,403	0,040
	364	125	0,320	0,015
	364	160	0,268	0,017
	364	200	0,438	0,050

Şekil 11.1.a'da verilen grafikte, en düşük ilerleme değerinde en yüksek ortalama titreşim ve pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Takip eden ilerleme değerlerindeki ortalama pürüzlülük ve titreşim verileri incelendiğinde, giderek azalan bir seyrin ortaya çıktığı görülmüştür. 1 Numaralı takım ile, 178m/dak. kesme ve 200mm/dak. ilerleme hızlarında en iyi titreşim ve pürüzlülük verileri sağlanmıştır.

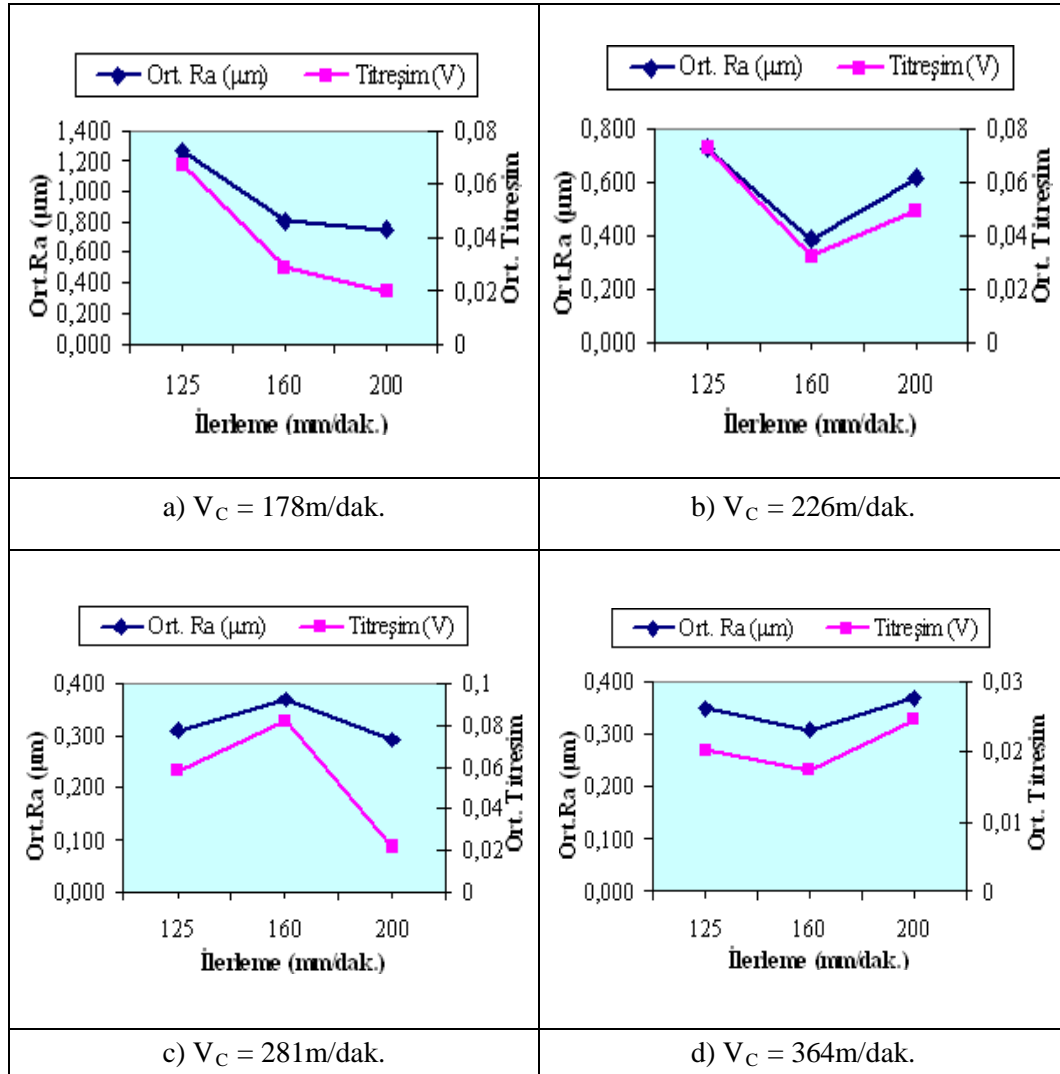
Şekil 11.1.b'de verilen grafikte, en düşük ve en yüksek ilerlemelerde birbirine çok yakın pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. 160 mm/dak. ilerleme hızı kullanılarak yapılan kesme deneyi neticesinde ise, en düşük pürüzlülük ve ona paralel titreşim verileri elde edilmiştir. 226 m/dak. kesme hızında elde edilen pürüzlülük değerleri, Şekil 11.1 a'daki 178m/dak. kesme hızı ve değişken ilerlemelerde elde edilen pürüzlülük değerlerine oranla daha iyi sonuçlar vermiştir. Kesme hızındaki artış pürüzlülük değerlerini olumlu yönde etkilemiştir.

Şekil 11.1.c'de verilen grafikte, en iyi pürüzlülük değeri 160 mm/dak. ilerleme hızında elde edilmiştir. Şekil 11.1.a ve b'deki pürüzlülük değişim gidişatını incelediğimizde kesme hızı artışının (ilerleme sabit) yüzey pürüzlülüğünü olumlu etkilediği söylenebilir. Ancak ilerlemenin kesme hızına paralel artışı pürüzlülüğü olumsuz yönde etkilemektedir. Şekil 11.1.d'de de bu yorumu destekleyen veriler elde edilmiştir. Buna göre en yüksek pürüzlülük değeri 200 mm/dak. ilerleme değerinde ortaya çıkmıştır

Şekil 11.1.d'de verilen grafikte, en iyi pürüzlük değeri 160 mm/dak. ilerleme hızında elde edilmiş, buna karşın, 281m/dak. kesme hızında elde edilen pürüzlülük değerleriyle kıyaslandığında, pürüzlülük değerlerinde artış gözlemlenmiştir.

Şekil 11.1. deki dört grafikte oluşan genel tabloya incelendiğinde, tüm kesme ve ilerleme parametrelerinde 1 numaralı takım ile elde edilen en iyi pürüzlülük değerleri, 281m/dak. kesme ve 160mm/dak. ilerleme hızlarında sağlanmıştır.

11.2. 2 Numaralı (Kesici uç yerleşim aralıkları 2° ardışık değişken) Takımın, Sabit Kesme Hızı ve Değişken İlerleme Değerleri İçin Titreşim-Pürüzlülük İlişkisi.



Şekil 11.2. 2 Numaralı Takımın Sabit kesme hızı ve değişken ilerleme değerlerinde oluşturduğu titreşimlerin pürüzlülüğe etkileri

Tablo 10.4. 2 Numaralı takımın sabit kesme hızı ve değişken ilerleme değerlerine bağlı olarak oluşturduğu titreşim ve pürüzlülük verileri

	Kesme Hızı (V_C) (m/dak.)	İlerleme (f) (mm/Dak.)	Ort. Ra (µm)	Ort. Titreşim(V)
2 Numaralı Takım (Kesici uç yerleşim aralıkları 2° ardışık değişken)	178	125	1,265	0,067
	178	160	0,810	0,028
	178	200	0,748	0,019
	226	125	0,727	0,072
	226	160	0,390	0,032
	226	200	0,613	0,049
	281	125	0,309	0,058
	281	160	0,371	0,081
	281	200	0,293	0,022
	364	125	0,351	0,020
	364	160	0,308	0,017
	364	200	0,372	0,024

Şekil 11.2.a'da verilen grafikte, 2 numaralı takım ile 226m/dak. kesme ve 125mm/dak. ilerleme hızlarında yapılan kesme deneyi sonucunda en yüksek titreşim ve pürüzlülük verileri elde edilmiştir. Takip eden ilerleme değerlerindeki ortalama pürüzlülük ve titreşim verileri incelendiğinde, giderek azalan bir seyrin ortaya çıktığı görülmüştür.

Küçük ilerleme değerleri talaş genişliğinin azalmasına sebep olur. Azalan talaş genişliği takımın malzemeye dalmasını zorlaştırır. Bu durum kuvvet artışına sebep olarak titreşimi tetikler ve böylece pürüzlülük değerleri artar. Şekil 11.3, şekil 11.4, ve şekil 11.5'te verilen grafiklerde, en düşük (178m/dak.) kesme ve en düşük (125mm/dak.) ilerleme hızlarında genel olarak tüm takımların (T1,T2,T3) çok yüksek titreşim ve pürüzlülük değerleri oluşturması bu şekilde açıklanabilir.

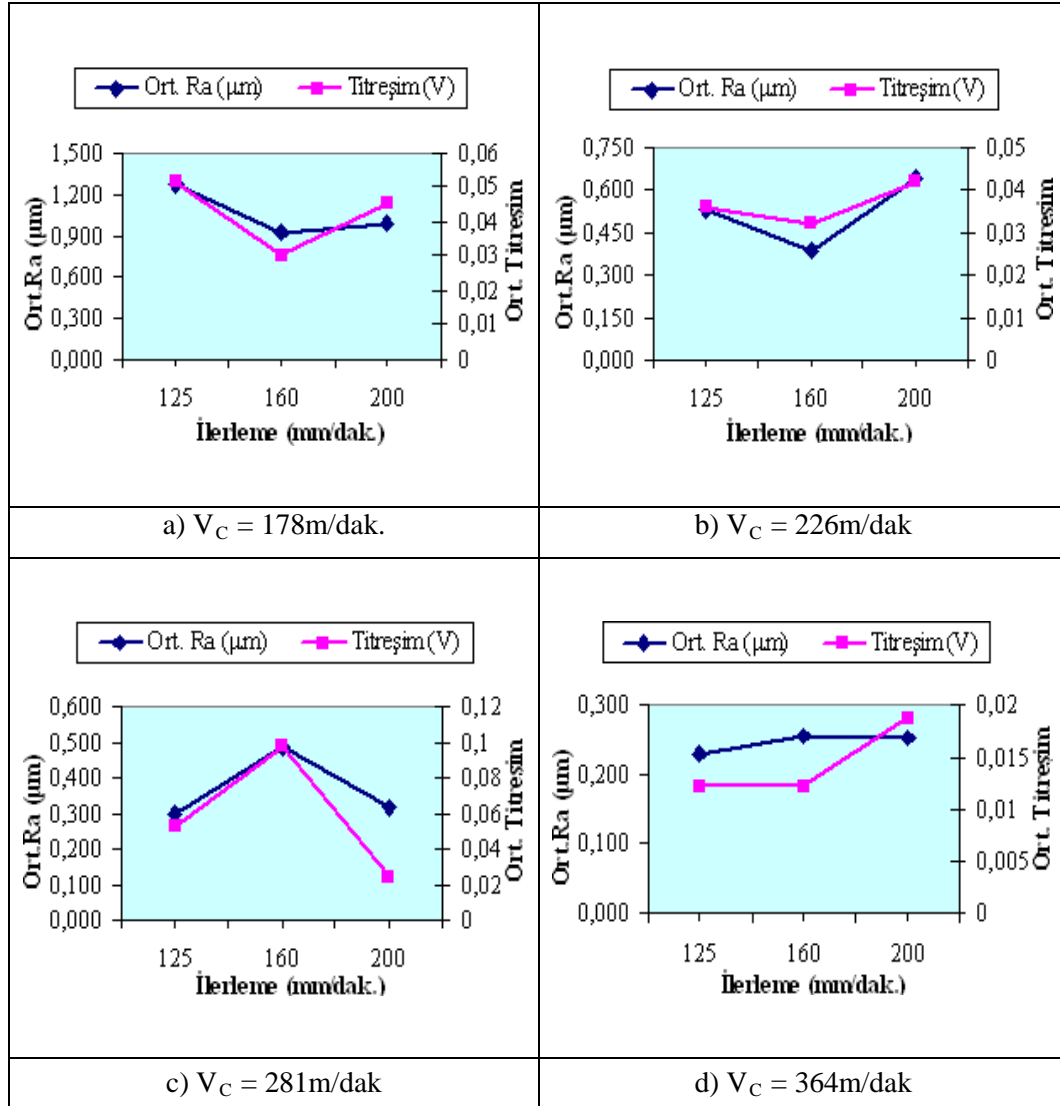
Şekil 11.2.b'de verilen grafikte görüldüğü gibi en düşük ve en yüksek ilerlemelerde birbirine çok yakın pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. 160 mm/dak. ilerleme hızında yapılan kesme deneyi neticesinde ise, en düşük pürüzlülük ve ona paralel titreşim verileri elde edilmiştir. Şekil 11.2 a'daki 178m/dak. kesme hızında oluşan pürüzlülük değerleri ile, şekil 11.b'deki 226m/dak kesme hızında elde edilen pürüzlülük değerleri kıyaslandığında, artan kesme hızının pürüzlülüğe olan olumlu etkisi açıkça görülmektedir.

Şekil 11.2.c'de verilen grafik incelendiğinde, en iyi pürüzlük değeri 200 mm/dak. ilerleme hızında elde edilmiştir.

Şekil 11.2. d’de verilen grafikte, üç farklı ilerleme hızlarındaki pürüzlülük değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. En düşük pürüzlük değeri 160 mm/dak. ilerlemede, en yüksek pürüzlülük değeri de 200 mm/dak. İlerleme hızında sağlanmıştır.

Şekil 11.2’ deki dört grafikte oluşan genel tabloya göre, 281m/dak. kesme ve 200mm/dak ilerleme hızlarında 2 numaralı takım en iyi pürüzlülük ve titreşim değerlerine ulaşmıştır.

11.3. 3 Numaralı (Kesici uç yerleşim aralıkları standart) Takımın, Sabit Kesme Hızı ve Değişken İlerleme Değerleri İçin Titreşim-Pürüzlülük İlişkisi.



Şekil 11.3. 3 Numaralı Takımın Sabit kesme hızı ve değişken ilerleme değerlerinde oluşturduğu titreşimlerin pürüzlülüğe etkileri

	Kesme Hızı (V_C) (m/dak.)	İlerleme (f) (mm/Dak.)	Ort. Ra (µm)	Ort. Titreşim(V)
3 Numaralı Takım (Kesici uç yerleşim aralıkları eşit aralıklı-standart)	178	125	1,267	0,051
	178	160	0,914	0,030
	178	200	0,991	0,045
	226	125	0,529	0,036
	226	160	0,386	0,032
	226	200	0,642	0,042
	281	125	0,302	0,053
	281	160	0,484	0,098
	281	200	0,318	0,024
	364	125	0,230	0,012
	364	160	0,256	0,012
	364	200	0,252	0,018

Tablo 10.5. 3 Numaralı takımın sabit kesme hızı ve değişken ilerleme değerlerine bağlı olarak oluşturduğu titreşim ve pürüzlülük verileri

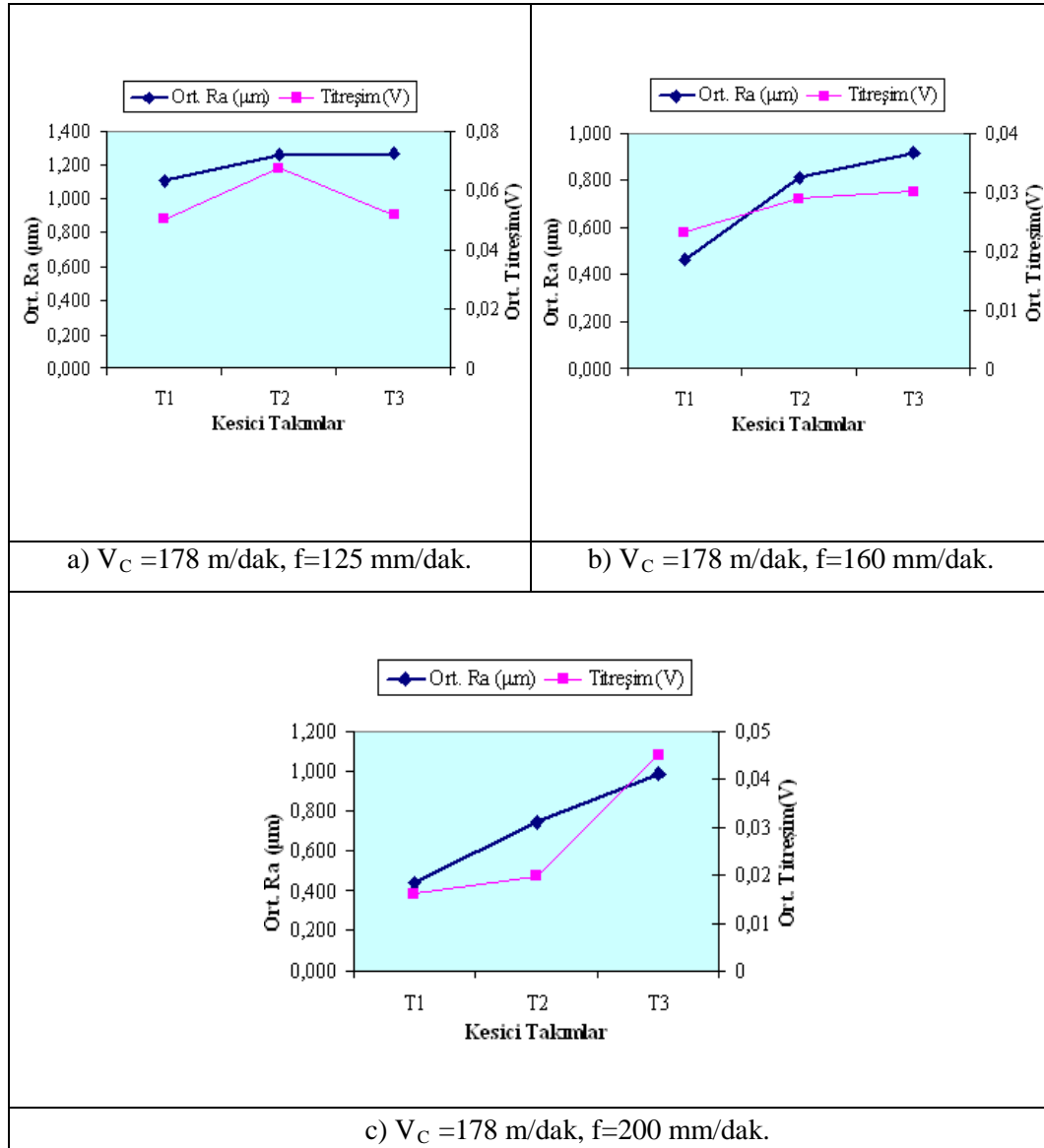
Şekil 11.3.a'da verilen grafikte 3 numaralı takım ile yapılan kesme deneylerinde, 125mm/dak ilerlemede en yüksek ortalama titreşim ve pürüzlülük değerleri oluşmuştur. 160 ve 200mm/dak. ilerlemelerdeki ortalama pürüzlülük ve titreşim verileri incelendiğinde, birbirine çok yakın değerler oluşmasına rağmen en düşük pürüzlülük değeri 160mm/dak. ilerlemede elde edilmiştir.

Şekil 11.3.b'de verilen grafikte en düşük ve en yüksek ilerlemelerde birbirine yakın pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. 160 mm/dak. ilerleme hızı kullanılarak yapılan kesme deneyi neticesinde ise, en düşük pürüzlülük ve ona paralel titreşim verileri elde edilmiştir. 178m/dak. kesme hızına oranla, 226m/dak. kesme hızındaki tüm pürüzlülük ve titreşim değerlerinde ciddi bir düşüş gözlemlenmiştir.

Şekil 11.3.c'de, 160mm/dak. ilerlemedeki titreşim ve pürüzlülük değerleri, bir önceki kesme hızındaki aynı ilerleme değerine göre artış göstermiştir. Buna karşın 125 ve 200mm/dak. ilerlemelerdeki pürüzlülük ve titreşim değerleri düşmüştür.

Şekil 11.3.d'de verilen grafik incelendiğinde, tüm ilerleme hızlarında birbirine yakın değerler elde edilmiştir. En iyi pürüzlük değeri 125 mm/dak. ilerleme hızında elde edilmiştir.

11.4. 1,2 ve 3 Numaralı Takımların, Sabit Kesme ve Değişken İlerleme Hızlarında Oluşturdukları Titreşim ve Pürüzlülük Değerlerinin Kıyaslanması.



Şekil 11.4. 1,2 ve 3 (T1, T2, T3) Numaralı takımların sabit kesme hızı ($V=178$ m/dak.) ve değişken ilerleme ($f= 125,160,200$ mm/dak.) değerlerinde oluşturdukları titreşim ve pürüzlülük grafikleri.

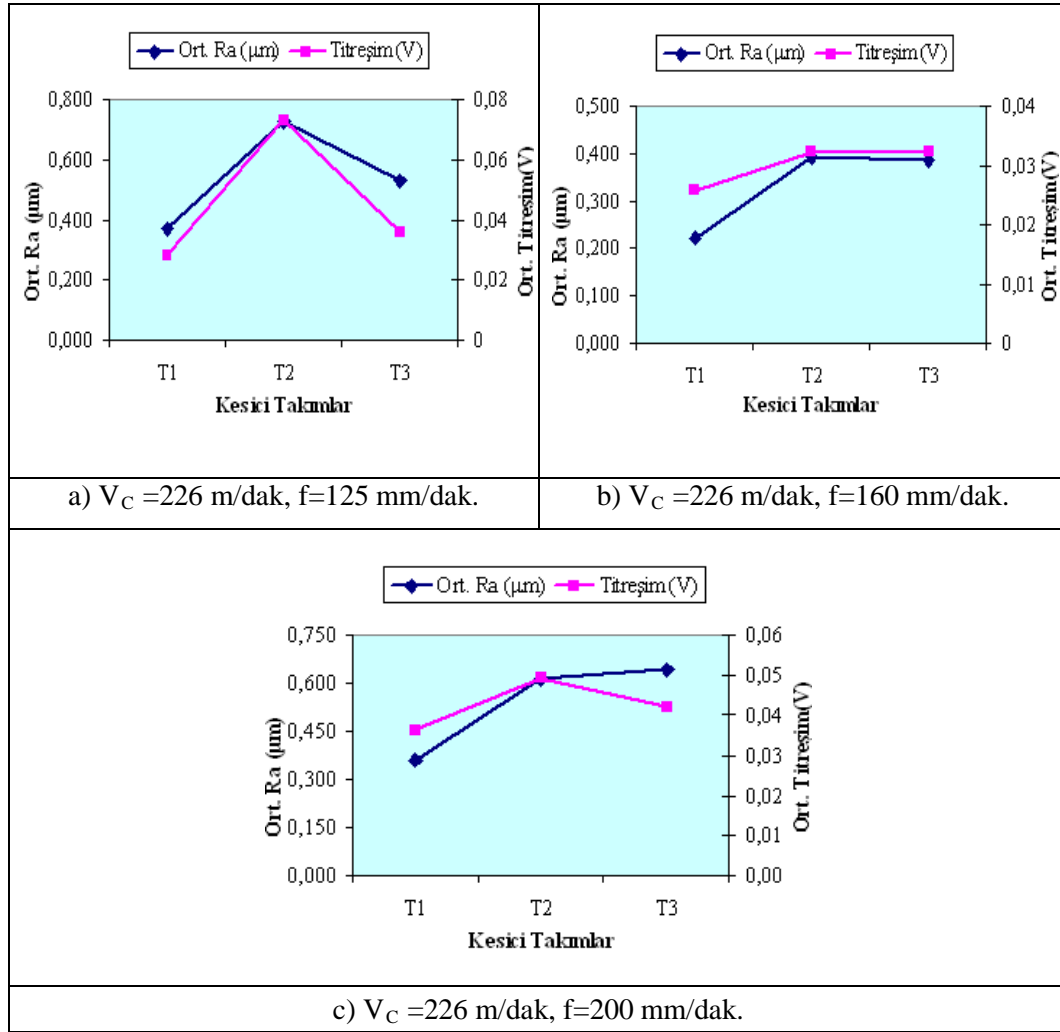
Tablo 10.6. Takımların sabit kesme hızı (178m/dak.) ve değişken ilerleme değerlerine bağlı olarak oluşturdukları titreşim ve pürüzlülük verileri

Takım Numarası	Kesme Hızı (V_c)(mm/dak.)	İlerleme (f)	Ort. Ra (μm)	Ort. Titreşim(V)
1 Numaralı Takım	178	125	1,111	0,050
	178	160	0,463	0,023
	178	200	0,439	0,016
2 Numaralı Takım	178	125	1,265	0,067
	178	160	0,810	0,028
	178	200	0,748	0,019
3 Numaralı Takım	178	125	1,267	0,051
	178	160	0,914	0,030
	178	200	0,991	0,045

Şekil 11.4.a'da, takımların $V=178\text{m/dak.}$ kesme ve $f=125\text{mm/dak.}$ ilerleme değerinde pürüzlülük ve titreşim değerleri incelendiğinde, bütün takımların titreşim ve pürüzlülük değerlerinin yüksek çıktığı görülmektedir. Pürüzlülük verileri birbirine çok yakın olmasına rağmen, en iyi pürüzlülük değeri 1 numaralı (T1) takım ile elde edilmiştir.

Şekil.11.4.b'de ilerleme değeri 160mm/dak. iken, bütün takımların önceki ilerlemeye oranla pürüzlülük değerlerinde iyileşme görülmektedir. Özellikle 1 numaralı takımın oluşturduğu pürüzlülük ve titreşim değerleri çok daha iyi sonuçlar vermiştir.

Şekil 11.4.c'de 200mm/dak. İlerlemede, 160mm/dak. ilerlemedeki sonuçlara yakın pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Genel olarak, üç grafikteki takımların pürüzlülük ve titreşim değerleri incelendiğinde, 1 numaralı takımın diğer takımlara göre daha iyi yüzey ve daha düşük titreşim oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 11.5. 1,2 ve 3 (T1, T2, T3) Numaralı takımların sabit kesme hızı ($V=226$ m/dak.) ve değişken ilerleme ($f= 125,160,200$ mm/dak.) değerlerinde oluşturdukları titreşim ve pürüzlülük grafikleri.

Tablo 10.7. Takımların sabit kesme hızı (226m/dak.) ve değişken ilerleme değerlerine bağlı olarak oluşturdukları titreşim ve pürüzlülük verileri

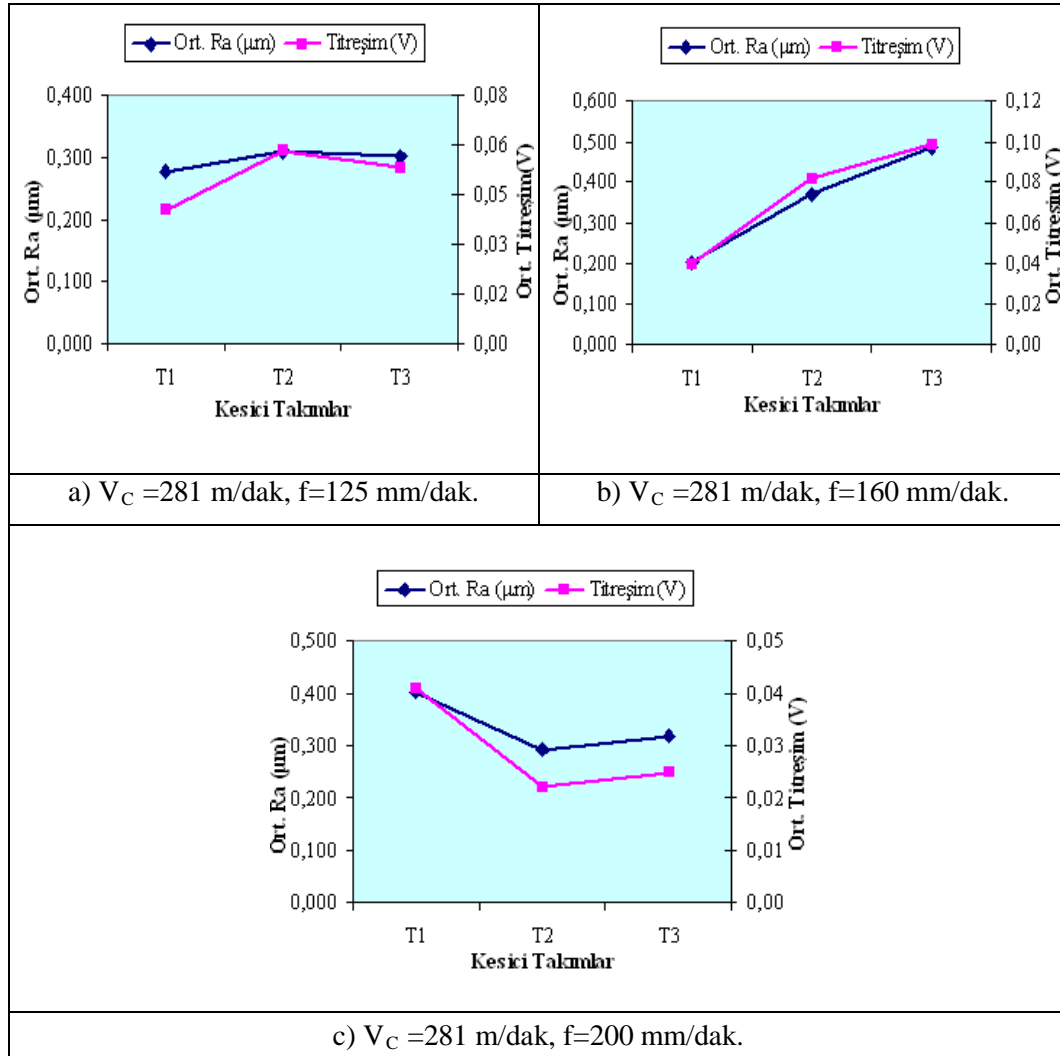
Takım Numarası	Kesme Hızı (V_c) (mm/dak.)	İlerleme (f)	Ort. Ra (μm)	Ort. Titreşim (V)
1 Numaralı Takım	226	125	0,371	0,028
	226	160	0,221	0,025
	226	200	0,360	0,036
2 Numaralı Takım	226	125	0,727	0,072
	226	160	0,390	0,032
	226	200	0,613	0,049
3 Numaralı Takım	226	125	0,529	0,036
	226	160	0,386	0,032
	226	200	0,642	0,042

Şekil 11.5. a,b,c grafiklerinde takımların kesme hızları 226m/dak.ya çıkartıldığında oluşan pürüzlülük değerleri, 178m/dak kesme hızında elde edilen değerlere oranla oldukça düşüş göstermiştir.Bu durum, kesme hızındaki artış yüzey pürüzlülüğünü iyileştirir tezini destekler niteliktedir. Şekil 11.4'te olduğu gibi Şekil 11.5'teki grafiklerde de en düşük pürüzlülük değerleri 1 numaralı takım ile elde edilmiştir.

Şekil 11.6'daki grafiklerde, 281m/dak. sabit kesme hızı ve değişken ilerleme değerlerine göre kesme deneyleri sonunda takımların titreşim ve pürüzlülük değerleri verilmiştir. Şekil 11.6 a'da, 125mm/dak. İlerleme değerinde üç takımın da birbirine yakın titreşim ve pürüzlülük değerleri oluşturduğu görülmektedir. Şekil 11.6 b'de, 160mm/dak. İlerlemede 1 numaralı takımın titreşim ve pürüzlülük değeri düşerken, diğer iki takımın değerlerinde artış olmuştur. Şekil 11.6 c'de, 200mm/dak. İlerlemede 2 ve 3 numaralı takımların titreşim ve pürüzlülük değerlerinde düşüş gözlenirken, 1 numaralı takımın değerlerinde artış olmuştur.

Eşit aralıklı yerleştirilmiş her bir kesici ucun kesme işlemi sırasında iş parçasına dalma sıraları eşit zamanlı gerçekleşir. Farklı aralıklarla yerleştirilmiş kesici uçlar ise açısal farklılıklarından dolayı değişken zamanlı olarak iş parçasına dalarlar. Bu durumda oluşan salınım frekansları, birbiri ardına eşit zaman aralıklı dalma yapan takımların salınım frekansından farklı değerler oluşturur. Farklı frekanslarda oluşan titreşim periyotları, kesme esnasında süreç sönümlemesine sebep olarak daha düşük titreşim ve buna bağlı olarak ta daha düşük pürüzlülük değerleri oluşturabilirler.

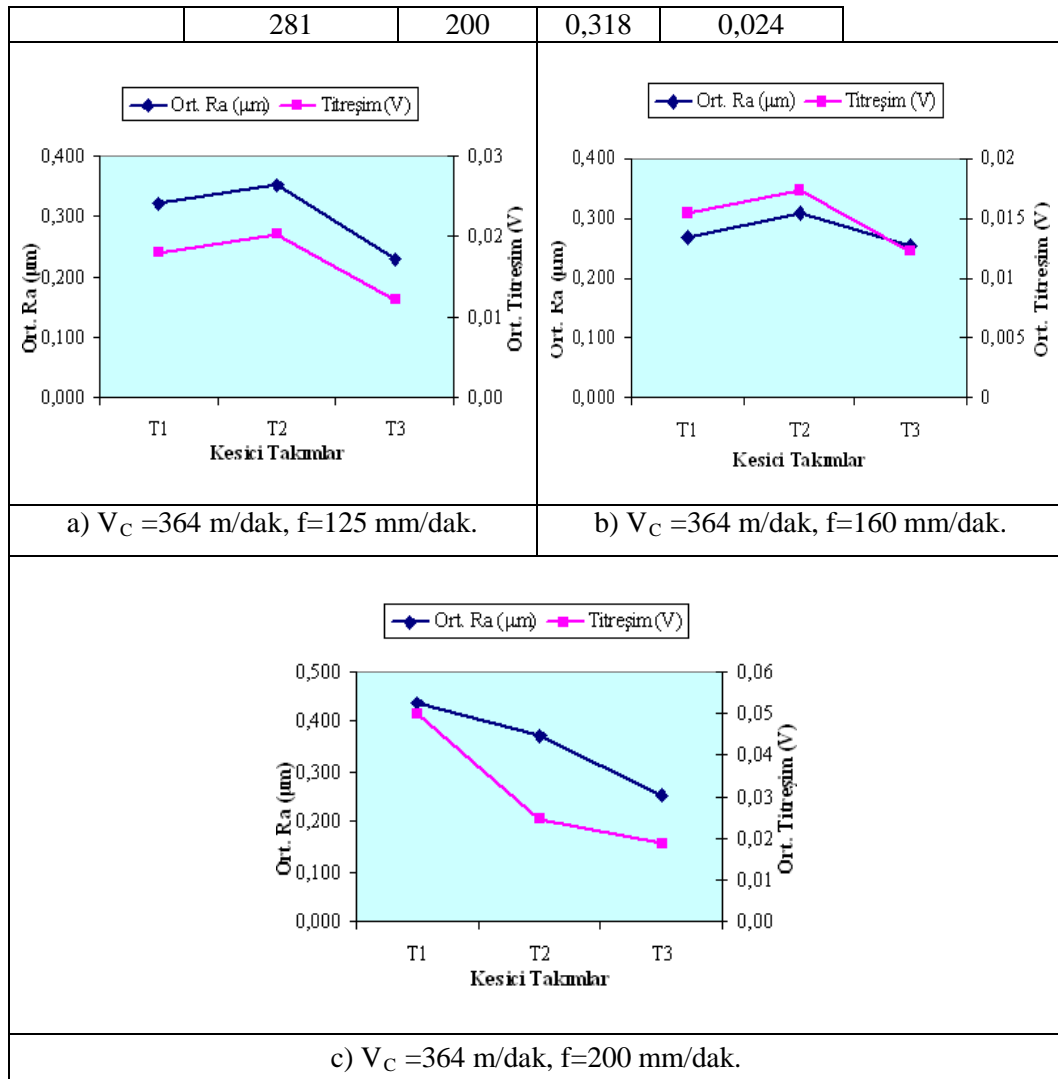
Takımların aynı kesme parametrelerinde farklı sonuçlarda titreşim ve pürüzlülük değerleri oluşturmalarının nedeni olarak, kesici uç yerleşim aralıklarının değişken açılarda olması gösterilebilir.



Şekil 11.6. 1,2 ve 3 (T1, T2, T3) Numaralı takımların sabit kesme hızı ($V=281$ m/dak.) ve değişken ilerleme ($f= 125,160,200$ mm/dak.) değerlerinde oluşturdukları titreşim ve pürüzlülük grafikleri.

Tablo.10.8. Takımların sabit kesme hızı (226m/dak.) ve değişken ilerleme değerlerine bağlı olarak oluşturdukları titreşim ve pürüzlülük verileri

Takım Numarası	Kesme Hızı (V_C) (mm/dak.)	İlerleme (f)	Ort. Ra (μm)	Ort. Titreşim(V)
1 Numaralı Takım	281	125	0,276	0,040
	281	160	0,202	0,039
	281	200	0,403	0,040
2 Numaralı Takım	281	125	0,309	0,058
	281	160	0,371	0,081
	281	200	0,293	0,022
3 Numaralı Takım	281	125	0,302	0,052
	281	160	0,484	0,098



Şekil 11.7. 1,2 ve 3 (T1, T2, T3) Numaralı takımların sabit kesme hızı ($V=364$ m/dak.) ve değişken ilerleme ($f= 125,160,200$ mm/dak.) değerlerinde oluşturdukları titreşim ve pürüzlülük grafikleri.

Tablo.10.9. Takımların sabit kesme hızı (226m/dak.) ve değişken ilerleme değerlerine bağlı olarak oluşturdukları titreşim ve pürüzlülük verileri

Takım Numarası	Kesme Hızı (V_C) (mm/dak.)	İlerleme (f)	Ort. Ra (μ m)	Ort. Titreşim(V)
1 Numaralı Takım	364	125	0,320	0,015
	364	160	0,268	0,017
	364	200	0,438	0,050
2 Numaralı Takım	364	125	0,351	0,020
	364	160	0,308	0,017
	364	200	0,372	0,024
3 Numaralı Takım	364	125	0,230	0,012
	364	160	0,256	0,012

	364	200	0,252	0,018
--	-----	-----	-------	-------

Şekil 11.7.a'da, 1 ve 2 numaralı takımların $V=364\text{m/dak.}$ kesme ve $f=125\text{mm/dak.}$ İlerleme hızlarındaki pürüzlülük ve titreşim değerleri incelendiğinde, 281m/dak. Kesme ve 125mm/dak. ilerleme hızlarında oluşturdukları değerlere oranla artış olmuştur. 3 numaralı takım ise düşüş göstermiştir. Bu kesme parametreleri ile elde edilen verilere göre, 3 numaralı takım daha iyi titreşim ve buna bağlı pürüzlülük değerleri oluşturmuştur.

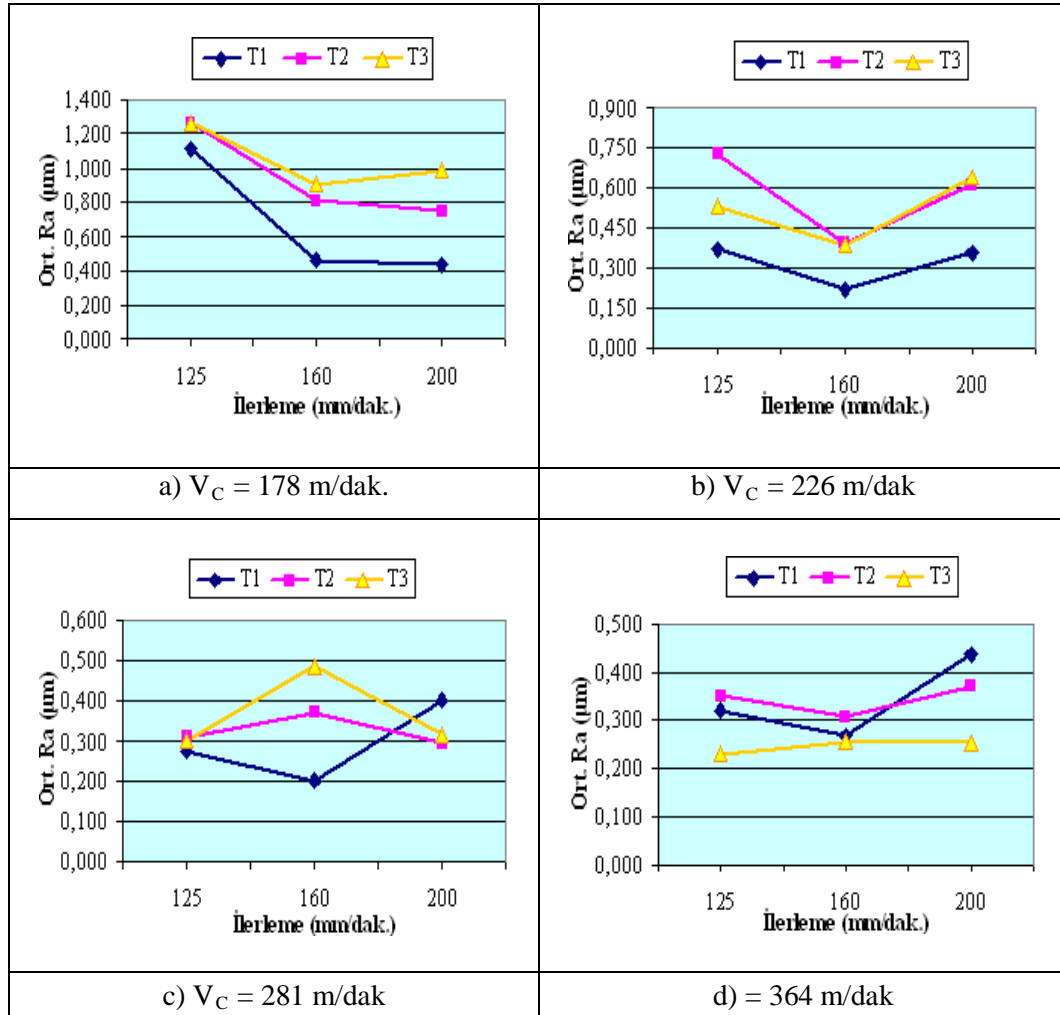
Şekil 11.7.b'de ilerleme değeri 160mm/dak. iken, 3 numaralı takım bir önceki değerlere çok yakın değerler elde etmesine karşın, 1 ve 2 numaralı takımların pürüzlülük değerleri düşmüştür. Bu kesme parametrelerinde tüm takımların pürüzlülük değerleri birbirine yakın olmasına rağmen, 3 numaralı takım daha iyi sonuçlar oluşturmuştur.

Şekil 11.7.c'de 200mm/dak. ilerlemede, tüm takımların 160mm/dak. ilerlemedeki sonuçlara oranla pürüzlülük değerlerinde artış olmuştur. İlerleme değerlerindeki artışın tüm takımları olumsuz yönde etkilediği söylenebilir.

364m/dak. kesme ve $125, 160, 200\text{mm/dak}$ ilerleme hızlarında tüm takımların kesme performansı incelendiğinde, 3 numaralı takım diğer takımlara göre daha iyi titreşim ve pürüzlülük değerleri oluşturmuştur.

Şekil 11.7'deki grafikler incelendiğinde, daha önceki kesme hızlarında ($178, 226, 281 \text{ m/dak.}$) ve değişken ilerleme değerlerinde en iyi sonuçların elde edildiği 1 numaralı takım, en yüksek kesme hızında (364m/dak.) en kötü titreşim ve pürüzlülük değerlerini oluşturmuştur. Takımların kesici uç yerleşim aralıklarının farklı açılarda olmasının, bu değişken tablonun oluşmasına neden olduğu düşünülmektedir.

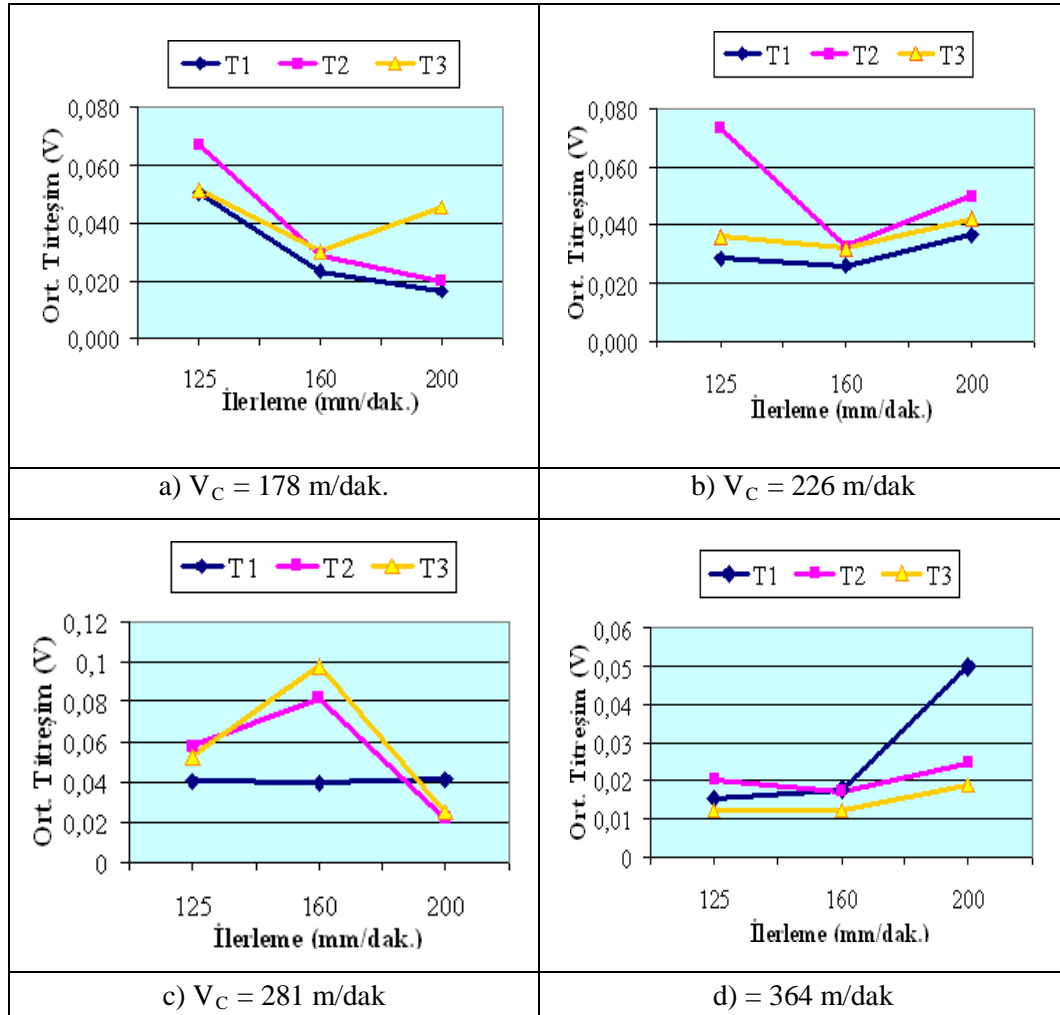
11.5 Takımların, Sabit Kesme ve Değişken İlerleme Hızlarındaki Yüzeysel Pürüzlülük Değerlerinin Karşılaştırılması.



Şekil 11.8. 1,2 ve 3 (T1, T2, T3) Numaralı takımların sabit kesme ve değişken ilerleme hızlarında oluşturdukları pürüzlülük grafikleri

Daha önce verilen grafiklerdeki titreşim ve pürüzlülük verilerinin yorumlanmasında, her bir takımın sabit kesme ve değişken ilerleme hızlarındaki performansları kendi içinde değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmelerin daha sağlıklı yapılabilmesi için, şekil 11.8. a,b,c,d'de verilen grafiklerde, tüm takımların pürüzlülük değerlerinin birbirleriyle kıyaslanması yapılmıştır. Şekil 11.9'daki grafiklerde de, aynı şekilde tüm takımların titreşim değerleri birbirleriyle kıyaslanmıştır.

11.6. Takımların, Sabit Kesme ve Değişken İlerleme Hızlarındaki Ort. Titreşim Verilerinin Karşılaştırılması.



Şekil 11.9 1,2 ve 3 (T1, T2, T3) Numaralı takımların sabit kesme ve değişken ilerleme hızlarında oluşturdukları titreşim grafikleri

Takımların pürüzlülük ve titreşim değerlerinin karşılaştırıldığı şekil 11.8 ve 11.9'daki grafiklerde, 1 numaralı takımın tüm kesme hızlarında iyi bir titreşim ve buna bağlı yüzey pürüzlülüğü oluşturduğu görülmektedir. Genel olarak 1,2 ve 3 numaralı takımlar, en iyi titreşim ve pürüzlülük değerlerini 160mm/dak. ilerleme hızlarında oluşturmuşlardır. 1 numaralı (kesici uç yerleşim aralıkları tamamen değişken açılı) takım ile, 2 numaralı (kesici uç yerleşim aralıkları 2° ardışık değişken açılı) takıma göre çok daha iyi bir titreşim ve pürüzlülük değerleri sağlanmıştır. Bu

durum, kesici uç yerleşim aralıklarındaki açısal değişimin ne kadar önemli olduğunun açık göstergesidir.

1 Numaralı takım düşük ve orta hızlarda, 2 ve 3 numaralı takımlara göre daha iyi kesme değerleri oluşturmuştur. 3 Numaralı takım ise en yüksek kesme hızında 1 ve 2 numaralı takımlardan daha iyi titreşim ve pürüzlülük değerleri sağlamıştır. Tüm bu açıklamalar ışığında; 1 numaralı takımın düşük ve orta hızlarda, 3 numaralı takımın da yüksek hızlarda tercihinin, daha iyi titreşim ve yüzey pürüzlülüğü için doğru bir seçim olacağı söylenebilir. Düşük ve orta hızlarda 2 Numaralı takımın titreşim ve pürüzlülük verileri 3 numaralı takıma oranla daha iyi olmasına rağmen, kesici uç yerleşim aralıklarının optimize edilerek çok daha iyi sonuçlar alınabileceği anlaşılmıştır.

Sonuç olarak; eşit aralıklı yerleştirilmiş her bir kesici ucun iş parçasına dalma sıraları eşit zamanlı gerçekleşir. Farklı aralıklarla yerleştirilmiş kesici uçlar ise açısal farklılıklarından dolayı değişken zamanlı olarak iş parçasına dalarlar. Farklı aralıklarla yerleştirilmiş kesici uçların oluşturduğu salınım frekansları, eşit aralıklarla yerleştirilmiş kesici uçların oluşturduğu salınım frekansından farklı değerler oluşturur. Farklı frekanslarda oluşan titreşim periyotlarının, kesme esnasında süreç sönümlemesine sebep olduğu varsayılmıştır. Bu sebeplerden ötürü, kesici uç yerleşim aralıkları tamamen değişken açılarda yerleştirilmiş olan 1 numaralı takımın, daha iyi titreşim ve yüzey pürüzlülüğü oluştuğu söylenebilir.

12. SONUÇLAR

Frezeleme işlemi esnasında takım tezgâhı, iş ve takım bağlama, işleme parametreleri ve takım tasarımından kaynaklanan titreşimler söz konusudur. Eğer bu titreşimler belirlenen sınırları aşarsa yüzey pürüzlülüğü üzerinde artışın yanı sıra takım ömrü ve tezgâhın ekonomik kullanım süresi üzerinde olumsuz etkilere sebep olmaktadır.

Kesici ucun iş parçasına temas frekansı bazen tezgâhın ve muhtemelen iş parçasının doğal frekansı ile çakışabilir. Bu titreşimler çok zararlıdır, dolayısıyla bu durumun önüne geçilmelidir. Bu problemlerin çözümü hususunda bilimsel çalışmaların hızla sürdürüldüğü bilinmektedir.

Bu deneysel çalışmada farklı adımlı kesici ağızlarına sahip freze çakıları kullanarak değişik kesme parametreleri ile yapılan talaş kaldırma işlemleri sonucu kesme esnasında meydana gelen tırlama titreşimleri ve bunun yüzey pürüzlülük üzerindeki etkilerinin deneysel araştırması yapılmıştır. Bu çalışmada elde edilen önemli bulgular aşağıda özetlenmiştir.

1. Takımların kesici uç yerleşim aralığının imalat üzerinde son derece önemli bir etken olduğu açıkça görülmüştür.
2. Oluşan titreşim verilerinin pürüzlülük grafikleriyle yaptığı uyum, literatürde ifade edilen yüzey pürüzlülüğü titreşime bağlıdır genel yorumuyla örtüşmektedir.
3. Takımların sergilediği değişken kesme karakterleri, kesici uç yerleşim aralığına bağlı olarak kesme işlemini hem iyi hem de kötü yönde etkileyebilmektedir.
4. Deneylerde Yüksek kesme hızları dikkate alındığında 3 numaralı takım tutucu (diğer takımlara nazaran) daha düşük değerlerde titreşim ve buna bağlı olarak daha düşük pürüzlülük oluşturmuştur. Bu durumda yüksek hızlı kesme şartları için 3 numaralı takım tutucu tercihi, doğru bir seçim olarak kabul edilebilir.
5. Düşük ve orta kesme hızları dikkate alındığında, 1 numaralı takım (diğer takımlara nazaran) daha düşük değerlerde titreşim ve buna bağlı olarak daha düşük pürüzlülük oluşturmuştur. Bu durumda düşük ve orta hızlardaki kesme

şartları için 1 numaralı takım tutucu tercihi, doğru bir seçim olarak kabul edilebilir.

6. Kesici uçları 2° derece ardışık değişken açılı yerleştirilmiş olan 2 numaralı takım ile yapılan kesme kararlılığının, aynı kesme şartlarına bağlı kalınarak, takım yerleştirme aralığını değiştirmek suretiyle optimize edilebileceği anlaşılmıştır.

Daha sonraki çalışmalarda kesici uçların açısal yerleşim aralıkları matematiksel modellerle yardımıyla bulunabilir. Böylece arzu edilen yüzey pürüzlülük değerlerine ulaşmak daha kolay ve deneme zamanı harcamadan mümkün olur.

KAYNAKLAR

- Akkurt, M., (2000)**, “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları”, İstanbul, sf. 104-105.
- Akkurt, M.** Talaş Kaldırma Yöntemleri Ve Takım Tezgahları, Birsen Yayınevi, İstanbul, (1992).
- Akün, F., (1956)**, “Tezgah Titreşimlerinin İşlenen Parçanın Durumu Üzerine Etkisi”, İ.T.Ü Kütüphanesi, İstanbul.
- Albrecht, P., (1962)**, “Self-Induced Vibrations in Metal Cutting”, *Journal of Engineering for Industry, Trans. of the ASME*, pp. 405-416.
- Altintas, Y., Budak, E., (1995)**, “Analytical prediction of stability lobes in milling”, *Annals of the CIRP* 44 (1), 357–362.
- Altintas, Y., Engin, S., Budak, E.,(1999)**, “Analytical stability prediction and design of variable pitch cutters”, *Transactions of ASME, Journal of Manufacturing Science and Engineering* 121, 173–178.
- Begeman, M.L., Ostwald, P.F. and Amstead, B.H., (1987)**, “Manufacturing Processes”, *John Willey & Sons Inc.*, Singapore.
- Boothroyd, G., (1963).**, “Fundamentals of Machining and Machine Tools”. McGraw-Hill,
- Boothroyd, G., and Knight, W.A., (1989)**, “Fundamentals of Machining and Machine Tools”. *Second edition, Marcel Dekker Inc.*, New York.
- Budak, E. (2003)**. An Analytical Design Method For Milling Cutters with Non-Constant Pitch to Increase Stability, Part I: Theory, Part II: Application. *Trans. ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 125:29–38.
- Cheung, C.F., Lee, W.B., (2000)**, “A Theoretical and Experimental Investigation of Surface Roughness Formation in Ultra-Precision Diamond Turning”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, C: 40, s: 979-1002
- Çakır, M.C., (1999)**, “Modern Talaşlı İmalatın Esasları”, *Vipaş Yayınları*, Bursa.
- Dagnall, H., (1980 (RTH))**, “Exploring Surface Texture”.

- Davies, M.A., Burns, T.J. and Evans, C.J., (1997)**, “On The Dynamic of Chip Formation in Machining Hard Materials”, *Ann. CIRP* 46, 25-30.
- Doi, S. ve Kato, S., (1956)**, “Chatter Vibration of Lathe Tools”, *Trans. ASME*, pp. 1127-1134.
- Galyer, J.F.W. and Shotbolt, C.R., (1993)**, “Metrology For Engineers”, *Cassel Publishers Limited*, London, Vol. 9, pp. 191-194.
- Ghani, A.K., and Choudhury, I.A., (2002)**, “Study of Tool Life Surface Roughness and Vibration in Machining Nodular Cast Iron With Ceramic Tool”, *Journal of Material Processing Technology*, 127: 17-22.
- Güden, K., (2005)**, “Meyil Açısı Ve Yaklaşma Açısının Kesme Kuvvetleri Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Budak, E., Altintas, Y.,(1998)**, “Analytical prediction of chatter stability in milling—part I: general formulation; part II: application to common milling systems”, *Transactions of ASME, Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control* 120 22–36.
- Budak, E., (2003)**, “An analytical design method for milling cutters with nonconstant pitch to increase stability—Part I: theory. Part II: application”, *Transactions of ASME, Journal of Manufacturing Science and Engineering* 125 29–38.
- Davies, M.A., Dutterer, B., Pratt, J.R., Burns, T.J., (2000)**, “The stability of low radial immersion milling”, *Annals of the CIRP* 49 (1) 37–40.
- Güllü, A., (1995)**, “Silindirik Taşlamada İstenen Yüzey Pürüzlüğünü Elde Etmek İçin Taşlama Parametrelerinin Bilgisayar Yardımıyla Optimizasyonu”, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Makine Eğitim Bölümü, Ankara, 1-30.
- Hahn, R.S., (1953)**, “Metal Cutting Chatter and Its Elimination”, *Trans. ASME*.
- Hana, N.H., ve Tobias, S.A., (1974)**, “A Theory of Nonlinear Regenerative Chatter”, *J. Eng. Industry, trans. ASME*, PP. 247-255.
- Hastings, W.F., Mathew, P. and Oxley, P.L.B., (1980)**, “A Machining Theory For Predicting Chip Geometry, Cutting Forces, etc., From Material Properties and Cutting Conditions”, *proc. R. Soc. Lond.* A371, 569-587.

- Huynh, V.M. and Fan, Y., (1992)**, “Surface-Texture Measurement and Characterization With Applications To Machine-Tool Monitoring”. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 7, pp. 2-10.
- Insperger, T., Mann, B.P., Stepan, G., Bayly, P.V., (2003)**, “Stability of upmilling and down-milling, part 1; alternative analytical methods”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 43 (1), 25–34.
- ISO 4287/1-1984 (E/F/R).**
- Jang, D.Y., Choi, Y.G., Kim, H.G., Hsiao, A., (1996)**, “Study of The Corelation Between Surface Roughness and Cutting Vibrations To Develop An Online Roughness Measuring Tecnique In Hard Turning”, *International Journal of Machine Tools manufacture*, Vol. 36(4), pp. 453-464.
- John L.Y. and Joseph C.C., (2001)**, “A Systematic Approach For Identifying Optimum Surface Roughness Performance in End-Milling Operations”, *Journal of Industrial Technology*, Volume 17, Number 2.
- Kayhan, M., ve Budak, E., (2004)**, “Investigating Effects of Chatter on Tool Life in Turning”, *Proceedings of 4th CIRP International Seminar on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering*, Sorrento, Italy.
- King, T.G. and Spedding, T.A., (1982)**, “On The Relationships Between Surface Profile Height Parameters”. *Wear*, 83, 91-108.
- Kwon, Y., (2000)**, “Robust Control of Surface Roughness in a Turning Operation”, *Bell and Howell Information and Learning Company*, The University of Iowa.
- Koenigsberger, I. and Tlustý, J., (1971)**, “Stuctures of Machine Tools”, *Permagon Pres.*
- Lee, J., and Shaffer, B.W., (1951)**, “Theory ofPlasticity Applied to the Problem of Machining”, *Journalaf Applied Mechanics*, vol. 18:405-413.
- Merchant, M.E., (1945)**, “Mechanics ofthe Metal Cutting Process”, II. Plasticity Conditions in Orthogonal Cutting. *Journal of Applied Physics*, vol. 16:318-324.
- Merrit, H.E., (1965)**, “Theory of Self-Excited Machine Tool-Chatter”, *Journal of Eng. for Industry, Trans. ASME.*
- Mike, S.L., Josep C.C., Cabel M.L., (1999)**, “Surface Roughness Prediction Technique For CNC End-Milling”, *Journal of Industrial Technology*, Vol.15, No.1, 2-3.

- Neşeli, S., (2005)**, “Tornalamada Kesme Parametreleri, Takım Geometrisi ve Tırlama Titreşimlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi”, *Yüksek Lisans Semineri*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Noker, P.M., (1993)**, “How Smooth is Smooth Enough?”, *Manuf. Eng.*, 47-51.
- Özçatalbaş, Y., (2000)**, “Isıl İşlemlerin Cr-Mo Esaslı Bir Çeliğin İşlenebilirliğine Etkisi”, *10. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı*, İstanbul, sf.759-765.
- Özses, B., (2002)**, “Bilgisayar Sayısal Denetimli Takım Tezgahlarında Değişik İşleme Koşullarının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara, 6-25.
- Peters, J., (1963)**, “What Can Vibration Research Contribute To Machine Tool Development”, *Int. Res. Prod. Eng. ASME*, Pittsburgh, pp. 486-498.
- Reason, R.E., (1970 (RTH))**, “The Measurement of Surface Texture”.
- Recht, R.F., (1985)**, “A Dynamic Analysis of High-Speed Machining”, *Trans. ASME J. Engng Industry* 107, 309-315.
- Sağlam, H., (2000)**, “Frezelemede Yapay Sinir Ağlarını Kullanarak Çok-Elementli Kuvvet Ölçümlerine Dayalı Takım Durumu İzleme”, *Doktora Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bil. Ens., Makine Mühendisliği, Konya.
- Sağlam, H., (2004)**, “Metal Kesmede Veri Toplama ve Değerlendirme”, *Lisans üstü ders notu*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Sandvik, (1994)**, “Modern Metal Cutting, Part: Milling, Chap. X”, Sandvik Coromant, Sweden.
- Slavicek, J., (1965)**, “The effect of irregular tooth pitch on stability of milling”, in: *Proceedings of the Sixth MTDR Conference*, Pergamon Press, London, pp. 15–22.
- Palmer, W.B., and Oxley. P.L.B., (1959)**, “Mechanics of Orthogonal Machining”, *Proceedings Institution of Mechanical Engineers*, vol. 173(no. 24):623-654.
- Schlesinger, G., (1970)**, “Testing Machine Tools”, 7th Edit., Machinery Public. Corp,
- Stabler, G.V., (1951)**, “Fundamental Geometry of Cutting Tools”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, pages 14-26.

- Sweeney, G. and Tobias, S.A., (1963)**, “An Algebraic Method for the Determination of the Dynamic Stability of Machine Tools”. *Int. Res. Prod. Eng. ASME*, Pittsburgh, pp. 475-485.
- Şahin, Y., (2000)**, “Talaş Kaldırma Prensipleri 1-2”, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara.
- Thomas, M., Beauchamp, Y., Youssef, A.Y., Masounave, J., (1996)**, “Effect of Tool Vibration On Surface Roughness During Lathe Dry Turning Process”, *Computers Industrial Engineering*, Vol. 31(3-4), pp. 637-644.
- Thomas, M., Beauchamp, Y., Youssef, A.Y., (1996)**, “Effect of Lathe Boring Cutting Parameters On Surface Roughness and Tool Dynamic Forces”, *Proceeding of the 13th symposium on engeneering aplications of mechanics, Manufacturing science and engeneering*, Canadian Society of Mechanical Engineering, pp. 521-527.
- Thomas, T.R. and Charton, G., (1981)**, “Variation of Roughness Parameters On Same Typical Manufactured Surfaces”. *Precision Engineering*, Vol. 3(2), pp. 91-96.
- Thompson, R.A., (1969)**, “The Modulation of Chatter Vibrations”, *Journal of Engineering for Industry, Trans ASME*, PP. 673-679.
- Tlusty ,J., (1965)**, “A Method of Analysis of Machine Tool Stability”, *Proc. 6th MTDR Conf.*, pp. 5-14.
- Tlusty, J., (1999)**, “Manufacturing Processes and Equipment”, *Prentice Hall*, NJ
- Tlusty, J., (1970)**, “General Features of Chatter”, *Machine Tool Structures*, vol. 1, Permagon Pres, pp.115-132.
- Tlusty, J., Polacek, M., (1957)**, “Besipiele der behandlung der selbsterregten Schwingung der Werkzuegmaschinen”, FoKoMa, Hanser Verlag, Munchen.
- Tlusty, J. ve Ismail, F., (1981)**, “Basic Nonlinearity in Machining Chatter”, *Annals of the CIRP*, c.30, s.21-25.
- Tlusty, J., Ismail, F., Zaton, W., (1983)**, “Use of special milling cutters against chatter”, NAMRC 11, University of Wisconsin, SME, pp. 408–415.
- Tlusty, J., ve Polacek, M., (1963)**, “The Stability of Machine Tool Against Self-Excited vibration in Machining”, *Prod. Eng. Research Conf.*, Pittsburgh, No.51. asme *Permagon Press*.

Tobias, S.A., (1965), “Machine Tool Vibration”, *Willey*, New York.

Tobias, S.A., and Fishwick, W., (1958), “Theory of Regenerative Machine Tool Chatter”, London.

Vanherck, P., (1967), “Increasing milling machine productivity by use of cutters with non-constant cutting edge pitch”. in: Proceedings of the Eighth MTDR Conference, Manchester, pp. 947–960.

Weck , M., (1985), “Handbook of Machine Tools”, *Willey*, Vol.4, pp. 55-61.

Wu, D.W. and Liu, C.R., (1985), “A Nonlinear Analytical Model of Cutting Dynamics Based On Friction in Chip Formation”, part 2, *J. Eng. Ind., ASME*.

Yim, D.Y. and Kim, S.W., (1991), “Optimum Sampling for Ra Roughness Measurement”, *Journal of Mechanical Engineering Science*, Vol. 205, pp. 139-142,

Youssef, A.Y., Beauchamp, Y. and Thomas, M., (1994), “Comparison of A Full Factorial Experiment To Fractional and Taguchi Design in A Lathe Dry Turning Operation”, *Computers Industrial Engineering*, Vol. 27, No.1-4, pp. 59-62.

Yuan Zeh-jun and Cai Li-Jun., (1986), “A New Critical Stability Formula and A New Absolute Stability Criterion”, *Annals of the CIRP*, Vol.35, 1.

Zharkov, I.F., (1985), “Vibration in Metal Cutting”, Moskow.

EK-1

Kesici uçları değişken aralıklarla yerleştirilmiş freze takımlarına ait, deney kesme parametreleri ile titreşim ve pürüzlülük verileri

Takımlar	Deney Numarası	Kesme Hızı (V_c) m/dak.	İlerleme (f) (mm/dak.)	Ort. Ra (μm)	Ort. Titreşim (Volt)
1 Numaralı Takım (Kesici uç yerleşim aralıkları tamamen değişken)	1	178	125	1,111	0,05
	2	178	160	0,463	0,023
	3	178	200	0,439	0,016
	4	226	125	0,371	0,028
	5	226	160	0,221	0,025
	6	226	200	0,360	0,036
	7	281	125	0,276	0,040
	8	281	160	0,202	0,039
	9	281	200	0,403	0,040
	10	364	125	0,320	0,015
	11	364	160	0,268	0,017
	12	364	200	0,438	0,050
2 Numaralı Takım Kesici yerleşim aralıkları arası 2	13	178	125	1,265	0,067
	14	178	160	0,810	0,028
	15	178	200	0,748	0,019
	16	226	125	0,727	0,072
	17	226	160	0,390	0,032
	18	226	200	0,613	0,049
	19	281	125	0,309	0,058
	20	281	160	0,371	0,081
	21	281	200	0,293	0,022
	22	364	125	0,351	0,020
	23	364	160	0,308	0,017
	24	364	200	0,372	0,024
3 Numaralı Takım Kesici yerleşim aralıkları eşit	25	178	125	1,267	0,051
	26	178	160	0,914	0,030
	27	178	200	0,991	0,045
	28	226	125	0,529	0,036
	29	226	160	0,386	0,032
	30	226	200	0,642	0,042
	31	281	125	0,302	0,052
	32	281	160	0,484	0,098
	33	281	200	0,318	0,024
	34	364	125	0,230	0,012
	35	364	160	0,256	0,012
	36	364	200	0,252	0,018

EK-1

Kesici uçları değişken aralıklarla yerleştirilmiş freze takımlarına ait, deney kesme parametreleri ile titreşim ve pürüzlülük verileri

Takımlar	Deney Numarası	Kesme Hızı (V_c) m/dak.	İlerleme (f) (mm/dak.)	Ort. Ra (μm)	Ort. Titreşim (Volt)
1 Numaralı Takım (Kesici uç yerleşim aralıkları tamamen değişken)	1	178	125	1,111	0,05
	2	178	160	0,463	0,023
	3	178	200	0,439	0,016
	4	226	125	0,371	0,028
	5	226	160	0,221	0,025
	6	226	200	0,360	0,036
	7	281	125	0,276	0,040
	8	281	160	0,202	0,039
	9	281	200	0,403	0,040
	10	364	125	0,320	0,015
	11	364	160	0,268	0,017
	12	364	200	0,438	0,050
2 Numaralı Takım Kesici yerleşim aralıkları aralıklı 2° değişken	13	178	125	1,265	0,067
	14	178	160	0,810	0,028
	15	178	200	0,748	0,019
	16	226	125	0,727	0,072
	17	226	160	0,390	0,032
	18	226	200	0,613	0,049
	19	281	125	0,309	0,058
	20	281	160	0,371	0,081
	21	281	200	0,293	0,022
	22	364	125	0,351	0,020
	23	364	160	0,308	0,017
	24	364	200	0,372	0,024
3 Numaralı Takım Kesici yerleşim aralıkları eşit	25	178	125	1,267	0,051
	26	178	160	0,914	0,030
	27	178	200	0,991	0,045
	28	226	125	0,529	0,036
	29	226	160	0,386	0,032
	30	226	200	0,642	0,042
	31	281	125	0,302	0,052
	32	281	160	0,484	0,098
	33	281	200	0,318	0,024
	34	364	125	0,230	0,012
	35	364	160	0,256	0,012
	36	364	200	0,252	0,018