

**TAKIM TEZGÂHLARINDAKİ KESİCİ TAKIM TİTREŞİMİNİN
YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ**

İSMAİL TEKAÜT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EKİM 2008
ANKARA**

İsmail TEKAÜT tarafından hazırlanan TAKIM TEZGAHLARINDAKİ KESİCİ TAKIM TİTREŞİMİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

.....

Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliğiyle Makine Eğitim Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

.....

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Doç. Dr. İhsan KORKUT

.....

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Doç. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

.....

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, K.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK

.....

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Abdullah KURT

.....

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Tarih: 16/10/2008

Bu tez G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

İsmail TEKAÜT

TAKIM TEZGAHLARINDAKİ KESİCİ TAKIM TİTREŞİMİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

İsmail TEKAÜT

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ekim 2008

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, malzemenin işlenmesi esnasında, titreşime etki eden faktörlere bağlı olarak, kesici takımında oluşan titreşimin yüzey pürüzlülüğüne etkisini inceleyerek, optimum kesme şartlarını tayin etmektir. Bu amaçla, kuru kesme şartları altında, dört farklı talaş kırıcı (SA, MA, MS, GH) formuna sahip kaplamalı sementit karbür kesici takımlar kullanılarak, işleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kesme parametreleri olarak, sabit kesme derinliğinde (2,5 mm) dört farklı kesme hızı (200, 250, 300, 350 m/min) ve üç farklı ilerleme (0,15, 0,25, 0,35 mm/rev) kullanılmıştır. Bu kesme parametreleri ile 40 mm çapındaki AISI 1050 malzemesi deney numunelerinden 50 mm boyunda talaş kaldırılarak 48 adet deney yapılmıştır. Talaş kaldırma esnasında titreşimler ve kesme kuvvetleri beraber, yüzey pürüzlülüğü ise daha sonra ölçülmüştür. Bu ölçümler ışığında, titreşimin ivme değerleri ile yüzey pürüzlülüğündeki değişimler incelenmek suretiyle bir değerlendirme yapılmıştır. Deneylerin tamamında hem kesme hızı-titreşim ivmesi ve kesme hızı-yüzey pürüzlülüğü hem de ilerleme-titreşim ivmesi ve ilerleme-yüzey pürüzlülüğü grafikleri titreşim ivmesi ve yüzey pürüzlülüğü açısından karşılaştırıldığında, grafiklerdeki birbiriyle örtüşen eğilim titreşim-yüzey pürüzlülüğü ilişkisini açıkça ortaya koymaktadır. Titreşim ivmesinin artan değerleri ile birlikte yüzey pürüzlülüğü değerleri de

artış göstermiştir. Bu durum, titreşimin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki olumsuz etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Farklı kesme hızlarında talaş kırıcı performansları değerlendirildiğinde; 200 m/min kesme hızında en iyi sonuçlar MS talaş kırıcı formuyla, ikinci en iyi sonuçlar ise SA talaş kırıcı formuyla elde edilmiştir. Her dört talaş kırıcı formu için 250 m/min kesme hızı ve 0,25 mm/rev ilerleme değeri, ortak olarak en iyi sonuçların gözlemlendiği optimum değerler olmuştur.

Bilim Kodu : 708.1.094
Anahtar Kelimeler : Titreşim, kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, talaş kaldırma
Sayfa Adedi : 84
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

THE EFFECT OF CUTTING TOOL VIBRATION OCCURING WHEN MACHINING ON SURFACE ROUGHNESS

(M.Sc. Thesis)

İsmail TEKAÜT

GAZİ UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

October 2008

ABSTRACT

The aim of this study is to determine the optimum cutting conditions by examining the influences of cutting tool vibrations on surface roughness during machining. For this purpose, machining tests were performed under dry conditions using coated cementide carbide cutting tolls having four different chip breaker forms (SA, MA, MS, GH). The machining tests were carried out at four different cutting speeds (200, 250, 300, 350 m/min) at constant cutting depth (2,5 mm) and three different feed values (0,15, 0,25, 0,35 mm/rev). A total of 48 machining tests were performed on AISI 1050 steel 40 mm diameter. All the tests were performed by machining 50 mm length on the workpiece. Cutting forces and vibrations were measured during the tests. Surface roughness values of the machined surfaces were measured after the tests. The surface roughness values increased with the vibration acceleration values. This shows the effect of vibration over the surface roughness. As analyzed the chip breaker performances at different cutting speeds; the best results were obtained at 200m/min cutting speed with MS chip breaker form and the second best results obtained with SA chip breaker form. For all the chip breaker forms, 250 m/min cutting speed and 0,25 mm/rev feed values were found to be optimum cutting parameters.

Science Code : 708.1.094

Key Words : Vibration, cutting force, surface roughness, machining

Page Number: 84

Adviser : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli danışmanım Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e ve bilgilerinden yararlandığım değerli hocam Doç. Dr. İhsan KORKUT'a teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmanın deneysel çalışmalarında katkı sağlayan Arş. Gör. Mustafa GÜNAY, Öğr. Gör. Hacı Bekir ÖZERKAN, Öğr. Gör. Turgay KIVAK ve Serhan AÇIKEL'e teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bu tezi 41/2007-03 kodlu proje ile destekleyen Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Başkanlığı'na da teşekkür ederiz.

Bugünlere gelmemde maddi-manevi en büyük emeği olan anne ve babama saygı ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xviii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1. Yapılan Çalışmalar	3
2.2. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi	6
3. TİTREŞİM	8
3.1. Titreşim Kavramına Giriş ve Titreşimin Önemi	8
3.2. Titreşimin Tanımlanması	10
3.3. Titreşimin Sınıflandırılması	12
3.4. Titreşimin Ölçülmesi	14
3.5. Titreşime Neden Olan Kuvvetler	19
3.5.1. Talaş kaldırma işleminin dinamiği	21
3.5.2. Talaş kaldırma işleminde kesici takım geometrisinin etkisi	24
3.5.3. Titreşime neden olan kesme kuvvetleri ve diğer nedenler	26

Sayfa

4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	33
4.1. Yüzey Yapısının Özellikleri	33
4.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Önemli Olduğu Durumlar	35
4.3. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler	35
4.4. Yüzey Kalitesinin Sayısal Olarak Değerlendirilmesi	36
4.4.1. Ortalama çizgi (M) sistemi	36
4.4.2. Zarf sistemi (E)	37
4.5. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Teknikleri	38
5. MALZEME VE METOT	40
5.1. Deneysel Çalışmalar	40
5.1.1. Deney numuneleri	40
5.1.2. Kesici takımlar ve takım tutucu	40
5.2. Takım Tezgâhı	42
5.3. Ölçme Cihazları	42
5.3.1. Titreşim ölçme cihazı	42
5.3.2. Kuvvet ölçme cihazı	43
5.3.3. Yüzey pürüzlülük ölçme cihazı	45
5.4. Deney Değişkenleri	46
5.5. Deneylerin Yapılışı ve Değerlendirme Esasları	46
6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	49
6.1. Değerlendirme Esasları	49
6.2. Kesme Kuvvetlerindeki Değişimin Değerlendirilmesi	54
6.3. Talaş Kırıcı Formuna Bağlı Olarak Titreşim İvmesi (RMS) ve Yüzey pürüzlülüğü (Ra) İlişkisinin Değerlendirilmesi	57

Sayfa

6.3.1. SA talaş kırıcı formu için titreşim ivmesi-yüzey pürüzlülüğü ilişkisi.....	57
6.3.2. MA talaş kırıcı formu için titreşim ivmesi-yüzey pürüzlülüğü ilişkisi.....	60
6.3.3. MS talaş kırıcı formu için titreşim ivmesi-yüzey pürüzlülüğü ilişkisi.....	63
6.3.4. GH talaş kırıcı formu için titreşim ivmesi-yüzey pürüzlülüğü ilişkisi.....	66
6.4. Talaş Kırıcı Formların Birbirleriyle Karşılaştırılması.....	69
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	75
7.1. Sonuçlar.....	75
7.2. Öneriler.....	78
KAYNAKLAR	79
ÖZGEÇMİŞ	83

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.1. Deney numunelerinin kimyasal bileşimi.....	40
Çizelge 5.2. Kesici takımların özellikleri ve kullanma alanları.....	41
Çizelge 5.3. Kesici takımın özellikleri.....	42
Çizelge 5.4. VB 300 titreşim cihazının teknik özellikleri.....	42
Çizelge 5.5. Titreşim sensörü teknik özellikleri.....	43
Çizelge 5.6. Kistler 9257B dinamometrenin teknik özellikleri.....	43
Çizelge 5.7. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri.....	45
Çizelge 5.8. SA, MA, MS ve GH talaş kırıcı formuna sahip kesici takım için deney değişkenleri	46
Çizelge 6.1. SA talaş kırıcı formu için kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen F_c , RMS ve R_a değerleri	52
Çizelge 6.2. MA talaş kırıcı formu için kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen F_c , RMS ve R_a değerleri	53
Çizelge 6.3. MS talaş kırıcı formu için kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen F_c , RMS ve R_a değerleri	53
Çizelge 6.4. GH talaş kırıcı formu için kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen F_c , RMS ve R_a değerleri	54

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Deney düzeneğinin şematik gösterimi	5
Şekil 3.1. Serbest Titreşim	12
Şekil 3.2. Sönümsüz serbest titreşim.....	13
Şekil 3.3. Titreşim ivme sensörü (Akselometre) iç yapısı	16
Şekil 3.4. Bir genliğin pik seviyesi ile RMS seviyesinin karşılaştırılması	18
Şekil 3.5. Sıvı yöntemi ile titreşim ölçmek	19
Şekil 3.6. Kesme işlemindeki kuvvetleri	21
Şekil 3.7. Kesme modeli	23
Şekil 3.8. Sürekli talaş oluşumunda kayma düzlemi modeli (Φ kayma düzlemi açısı)	24
Şekil 3.9. Kesme modelleri a)dik kesme b) eğik kesme	24
Şekil 3.10. Talaş tipleri a) Sürekli talaş b) Sürekli yığılma ağızlı talaş c) Kesikli talaş.....	26
Şekil 3.11. Bileşke kesme kuvvetinin F_c ve F_t bileşenleri	27
Şekil 3.12. Kayma düzlemi değişimi	28
Şekil 3.13. Kendiliğinden tahrikli titreşimler a) Bir önceki pasodan sonra ilerleme yönünde oluşan titreşim b) Bir önceki pasodan sonra radyal yönde oluşan titreşim	30
Şekil 3.14. Deformasyon bölgeleri	31
Şekil 3.15. Kesme işleminde boşluk açısı değişimleri	32
Şekil 4.1. Gerçek Yüzey a) Gerçek Yüzey b) Geometrik Yüzey	34
Şekil 4.2. Yüzeyin eş yükseklik eğrileri	34

Şekil	Sayfa
Şekil 4.3. Yüzey profilleri a) Gerçek profil b) Aperiodyk profil.....	35
Şekil 4.4. Ortalama çizgi konumunun belirlenmesi	36
Şekil 4.5. Zarf eğrisinin elde edilişi	37
Şekil 5.1. Kistler 9257B tipi dinomometro ile zaman bağlı ölçülen kesme kuvvetleri	44
Şekil 5.2. Kesme deneyleri için hazırlanan deney düzeneği.....	44
Şekil 5.3. MA talaş kırıcı formuna sahip kesici takımla kesme sırasında elde edilen dalga formu	48
Şekil 5.4. MA talaş kırıcı formuna sahip kesici takımla kesme sırasında elde edilen kuvvet diyagramı.....	48
Şekil 6.1. SA tipi talaş kırıcı formuna sahip kesici takımla yapılan deneylerde kesme frekansları	50
Şekil 6.2. MA tipi talaş kırıcı formuna sahip kesici takımla yapılan deneylerde kesme frekansları	50
Şekil 6.3. MS tipi talaş kırıcı formuna sahip kesici takımla yapılan deneylerde kesme frekansları	51
Şekil 6.4. GH tipi talaş kırıcı formuna sahip kesici takımla yapılan deneylerde kesme frekansları	51
Şekil 6.5. SA talaş kırıcı formuna sahip kesici takımında kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak asıl kesme değerlerindeki değişim	54
Şekil 6.6. MA talaş kırıcı formuna sahip kesici takımında kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak asıl kesme değerlerindeki değişim	55
Şekil 6.7. MS talaş kırıcı formuna sahip kesici takımında kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak asıl kesme değerlerindeki değişim	55
Şekil 6.8. GH talaş kırıcı formuna sahip kesici takımında kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak asıl kesme değerlerindeki değişim	56
Şekil 6.9. SA talaş kırıcı formuna sahip kesici takımında kesme hızına bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim	58

Şekil	Sayfa
Şekil 6.10. SA talaş kırıcı formuna sahip kesici takımda kesme hızına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim	58
Şekil 6.11. SA talaş kırıcı formuna sahip kesici takımda ilerlemeye bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim	59
Şekil 6.12. SA talaş kırıcı formuna sahip kesici takımda ilerlemeye bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim	59
Şekil 6.13. MA talaş kırıcı formuna sahip kesici takımda kesme hızına bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim	61
Şekil 6.14. MA talaş kırıcı formuna sahip kesici takımda kesme hızına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim	61
Şekil 6.15. MA talaş kırıcı formuna sahip kesici takımda ilerlemeye bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim	62
Şekil 6.16. MA talaş kırıcı formuna sahip kesici takımda ilerlemeye bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim	62
Şekil 6.17. MS talaş kırıcı formuna sahip kesici takımda kesme hızına bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim	63
Şekil 6.18. MS talaş kırıcı formuna sahip kesici takımda kesme hızına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim	64
Şekil 6.19. MS talaş kırıcı formuna sahip kesici takımda ilerlemeye bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim	64
Şekil 6.20. MS talaş kırıcı formuna sahip kesici takımda ilerlemeye bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim	65
Şekil 6.21. GH talaş kırıcı formuna sahip kesici takımda kesme hızına bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim	66
Şekil 6.22. GH talaş kırıcı formuna sahip kesici takımda kesme hızına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim	67
Şekil 6.23. GH talaş kırıcı formuna sahip kesici takımda ilerlemeye bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim	67
Şekil 6.24. GH talaş kırıcı formuna sahip kesici takımda ilerlemeye bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim	68

Şekil	Sayfa
Şekil 6.25. 200 m/min kesme hızında, farklı talaş kırıcı formlarına sahip kesici formlarında ilerlemeye bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim.....	69
Şekil 6.26. 200 m/min kesme hızında, farklı talaş kırıcı formlarına sahip kesici formlarında ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim....	70
Şekil 6.27. 250 m/min kesme hızında, farklı talaş kırıcı formlarına sahip kesici formlarında ilerlemeye bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim.....	70
Şekil 6.28. 250 m/min kesme hızında, farklı talaş kırıcı formlarına sahip kesici formlarında ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim....	71
Şekil 6.29. 300 m/min kesme hızında, farklı talaş kırıcı formlarına sahip kesici formlarında ilerlemeye bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim.....	71
Şekil 6.30. 300 m/min kesme hızında, farklı talaş kırıcı formlarına sahip kesici formlarında ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim....	72
Şekil 6.31. 350 m/min kesme hızında, farklı talaş kırıcı formlarına sahip kesici formlarında ilerlemeye bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim.....	72
Şekil 6.32. 350 m/min kesme hızında, farklı talaş kırıcı formlarına sahip kesici formlarında ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim....	73

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Titreşim ölçüm cihazı	18
Resim 5.1. Dinamometre ve titreşim sensörünün takım tutucuya bağlantısı.....	45

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
V	Kesme Hızı
f	İlerleme
F_x	Radyal kuvvet
F_v	İlerleme kuvveti
F_z	Kesme kuvveti
r	Takım uç yarıçapı
a	Talaş derinliği
b	Talaş genişliği
k_c	Özgül kesme kuvveti
τ_k	Kopma mukavemeti
Φ	Kayma düzlemi açısı
δ_c	İş-yüzey eğimi
τ_s	Kayma gerilmesi
L	Örnekleme uzunluğu
R_a	Ortalama pürüzlülük
$R_{max} (R_y)$	En büyük pürüzlülük
α	Boşluk açısı
α_{ne}	Efektif boşluk açısı
α_p	Arka/sırt talaş açısı
β	Kama açısı
γ	Talaş açısı
γ_{ne}	Efektif talaş açısı

Simgeler**Açıklama**

ω	Açısal frekansı
ω_n	Tabii açısal frekansı
δ	Sönümleme katsayısı
α	Titreşim genliği
μ	Üst üste binme faktörü
T	Periyot
F	Titreşim frekansı
W	Ağırlık
k	Yay sabiti
D	İş parçası çapı
F	Kuvvet
A	İvme
M	Kütle
I	Amper
mV	Milivolt
R	Direnç

Kısaltmalar**Açıklama**

Al_2O_3	Seramik kesici takım
TiC	Titanyum karbür
BUE	Built-up Edge (Talaş yapışması ve sıvanması)
EKG	Elektrokardiogram
FFT	Fast Fourier Transform (Hızlı Fourier Dönüşümü)
RMS	Root Mean Squared (Ortalama kara kök)
P	Pik (en üst seviye)
BSD	Bilgisayar sayısal destekli
CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayarlı sayısal denetim)

1. GİRİŞ

Fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre seçilen malzemeler, çeşitli işleme yöntemleri ile şekillendirilip birleştirildikten sonra sistemleri oluşturur. Bu sistemler dinamik ve statik yüklere maruz kalmaktadırlar. Makine mühendisliği, sistemleri oluştururken bu yüklere göre malzeme seçimi yapmaktadır. Sistemlerde kullanılan malzemeler; metaller, seramikler, polimerler ve kompozitler olmak üzere dört gruba ayrılır. Bu malzemeleri birbirinden ayıran özellikler ise atomik yapılarıdır. Bu atomik yapıyı inceleyen malzeme bilimi, malzemenin atomik yapısında değişiklikler yaparak malzemeye birçok yeni özellikler kazandırılabilir.

Malzemenin en küçük yapı taşı olan atomlar birbirleri arasındaki çekim kuvvetleri sayesinde, malzemenin kırılmasına ve malzemenin şekil değiştirmesine karşı direnç gösterirler. Bir malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri, o malzemeyi oluşturan atomların cinsine, bağ türüne ve atomların dizilişine yani kristal yapısına bağlıdır. Atomlar arası bağlar, uygulanan dış kuvvetlere karşı direnç gösterir [1].

Günümüz teknolojisinde en çok kullanılan imalat yöntemlerinden olan talaşlı imalat, malzemenin yapısını oluşturan atomların veya atom kümelerinin arasındaki bağı kopararak yapılan imalatıdır. Talaşlı imalat yöntemleri tornalamak, frezelemek, vargelleme, eğilemek ve bunun gibi birçok imalat işlemini kapsar. Talaşlı imalat malzeme üzerinden kesici, delici veya talaş kaldırıcı takımlar sayesinde talaş kaldırarak iş parçası istenilen boyutta ve şekilde üretilebilir. Bütün talaş kaldırma işlemlerindeki temel amaç, iş parçalarında istenen geometride hassas bitirme yüzeyi oluşturmaktır. Bu nedenle kesici ve talaş kaldırıcı takımlar iş parçasının özelliğine göre seçmek gerekmektedir. Klasik veya bilgisayar kontrollü takım tezgahlarında, imalat işlemi esnasında ve imalat işlemi sonrasında hassas imalat hedeflenmektedir. İmalat sonrası toleranslara uygun geometri ve yüzey pürüzlülük değerlerine ulaşmak temel hedeftir [2].

Bu zamana kadar yapılan araştırmalarda, talaşlı imalatın iyileştirilmesi için birçok parametre üzerinde çalışılmıştır. Bu parametreler kesici takım malzemesi, kesme

kuvveti, ilerleme, kesici takımın bağlanması, kesme derinliği, kesici takım malzemesi, kesici takım geometrisi, tezgah rijitliği ve bunun gibi birçok parametre olup bu konular üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda hassas ve toleranslara uygun iş parçası geometrisi elde etmek için çeşitli veriler elde edilmiştir. Bütün bu araştırmaların sonucunda, kaliteli ve toleranslara uygun yüzey pürüzlülüğü elde etmek temel amaç olmuştur. Çünkü, makine elemanlarında nihai ürünün malzemesinde yüzey pürüzlülüğü çok önemlidir. Yüzey pürüzlülük değerinin sıfıra yakın olması dinamik sistemlerde aşınmanın az olmasını, sürtünme kuvvetinin düşmesini, gürültünün azalmasını sağladığı gibi en önemlisi sistemlerin ömrünün uzun olmasına katkısı çok büyük olmaktadır [3].

Bu zamana kadar yapılan çalışmalarda, yüzey pürüzlülük değerinin düşük olması için kesme parametreleri, takım tezgahları, kesici takım geometrisi ve iş parçası üzerine iyileştirmeler yapılmıştır. Bu iyileştirmeler günümüz sanayisinde ve makinecilikte önemli bir kilometre taşını oluşturmuştur. Kesme işlemi esnasında kesici takımlarda oluşan titreşimin teorik ve deneysel olarak incelenmesi üzerinde de çalışmalar yapılmış ve bu alanda çalışmalara devam edilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, talaş kaldırma işlemlerinde, kesme parametrelerine (kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği vb.) ve titreşime etki eden diğer faktörlere bağlı olarak (tutucunun bağlama şekli, bağlama uzunluğu, talaş kırıcı formu vb.) kesici takımda oluşan titreşimin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini deneysel olarak ortaya koymaktır. Elde edilecek bu deneysel bulgular ışığında karşılaştırmalar yapılarak, kesici takımda oluşan titreşimin yüzey pürüzlülüğüne ne kadar etki ettiğini belirlemek ve kesici takımdaki titreşimi en aza indirmek için gerekli parametreleri belirlemektir.

Bu amaçla, imalat sanayiinde yaygın olarak kullanılan AISI 1050 çelik malzeme üzerinde söz konusu parametrelere bağlı olarak bir dizi işleme deneyi yapılmış ve elde edilen bulgular ışığında kesme kuvvetleri, titreşim ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki açıklanmaya çalışılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Yapılan Çalışmalar

Günümüz imalat sanayiisinde, en önemli konulardan birisi de işlenen metal parçalarının yüzey kalitesinin iyileştirilmesi ve arzu edilen ölçü tamlığında üretilmesidir [4-6]. Halen yüzey kalitesini artırmak için yapılan çalışmalar devam etmektedir. Talaşlı imalat esnasında iş parçasının yüzey kalitesini etkileyen kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme, kesici takımın geometrisi, kesme derinliği vb.) en önemli parametrelerdir [6,7]. Bunun yanında, kesici takımda oluşan mekanik titreşimler de yüzey kalitesini etkilemektedir [7-10]. Takım tezgahlarındaki hareketli makine parçalarından ve tezgahların oturduğu zeminden gelen bazı istenmeyen dış etkilerin oluşturduğu kuvvetler, tezgahın bütünlüğünden dolayı kesici takım ucunda titreşim olarak kendini göstermektedir. Dolayısıyla, takım tezgahlarının yapısından dolayı sahip oldukları farklı titreşim frekansı değerleri vardır [11,12]. Ayrıca iş parçasından talaş kaldırma işlemi sırasında kesme parametrelerine bağlı olarak mekanik titreşimler olduğu gibi [9,11,12], kesici takım tutucusunun geometrik yapısına [11,13,14], bağlantı tipine ve takım bağlama uzunluğuna bağlı olarak da titreşim oluşmaktadır [13-15]. Kontrolsüz olarak oluşan bu titreşimler, iş parçası yüzey kalitesi, kesici takım aşınması ve kesme kuvveti karakteristikleri olarak ölçülen işleme performansına olumsuz etki etmektedir [15]. Bundan dolayı işleme esnasında kesici uçta oluşan titreşimlerin kontrol edilmesi önemlidir. Yapılan çalışmalara bakıldığında, takım tezgahlarının sahip oldukları değişik titreşim frekanslarının kesici takım aşınmasına ve işlenen yüzeylerin kalitesine etkisi hem teorik hem de deneysel olarak araştırıldığı görülmektedir [6,15].

Al_2O_3 bazlı TiC takviyeli seramik malzemeden yapılmış takımlarla, kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği gibi parametrelerin değiştirildiği bir çalışmada [16], dökme demir torna tezgahında işlenmesi sonucu elde edilen yüzey kalitesi ve kesici takım aşınması incelenmiştir. Sonuç olarak Al_2O_3+TiC seramik uçların nodüler dökme demirin işlenmesinde uygun olmadığı, 364–685 m/min kesme hızı aralığında maksimum kesici takım ömrüne ulaşıldığı (1,5 min), işlenen yüzeylerin pürüzlülük

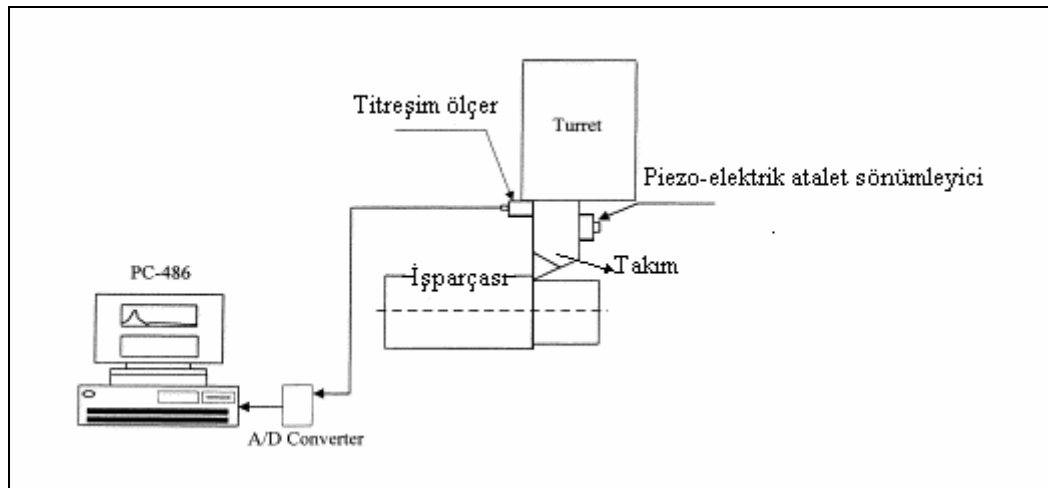
değerlerinin ise, bütün kesme koşullarında takımın yan yüzey aşınmasının artmasına rağmen gözle görülür bir değişim göstermediği, araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir. Ayrıca kesici takımdaki titreşim değişim hızı ve genliğinin kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğine bağlı olarak değişimi de bu çalışmada yorumlanmıştır. Kesici takımdaki yan yüzey aşınmasının artmasıyla titreşim genliğinin arttığı, sabit ilerleme hızında ve kesme derinliğinde kesme hızının artmasıyla (özellikle 364-685 m/min aralığında) kesici takım titreşiminin azaldığı ifade edilmiştir. Kesici takımdaki yan yüzeyin aşınmasının artmasıyla, yüksek kesme hızına göre daha az düzeyde olmak kaydıyla kesici takım titreşim değerlerinin artış gösterdiği de araştırmacılar tarafından belirtilmektedir. Düşük kesme derinliklerinde ise kesici takım aşınmasındaki artışa rağmen titreşim değerlerinin hemen hemen sabit kaldığı ifade edilmiştir.

Tornalamada kesici takım-iş parçası çiftinde oluşan titreşimlerin işlenen yüzeylerin kalitesine etkisinin araştırıldığı bir diğer çalışmada ise [17], talaş kaldırma esnasında çıkan ses düzeyine bağlı olarak oluşan titreşimlerin yüzey kalitesine etkisi matematiksel olarak modellenmiş ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. İşleme süresince kesici takım-iş parçası çiftinden çıkan ses düzeyinin artmasıyla, yüzey kalitesinin kötüleştiği, düşük ses değerlerinde ise daha kaliteli yüzeyler elde edildiği ifade edilmiştir.

Karbür uçların kullanıldığı kuru tornalama işleminde beton gövdeli ve dökme demir gövdeli torna tezgahlarında oluşan titreşimlerin kesici takım aşınması ve yüzey kalitesine etkisinin araştırıldığı bir başka çalışmada ise [18], sıcak çekilmiş çelikler işlenmiş ve tezgahların gövde malzemelerinin işleme performansına etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak beton gövdeli tezgahların kesici takım kullanım süresini artırdığı ve işleme esnasında oluşan titreşim değerlerinin bu tezgahlarda daha az olduğu ifade edilmiştir. Aynı işleme şartlarında dökme demir gövdeli tezgahlarda yapılan talaş kaldırma işlemlerinde kesici takım yan yüzey aşınmasının artış gösterdiği belirtilmiştir. Bunun sebebinin ise beton gövdeli tezgahların titreşim sönümleme özelliğinin daha yüksek olduğu ve dolayısıyla kesme işleminin daha

dengeli, kesici takım aşınmasının kesici takım titreşimlerine bağlı olarak daha az olduğu şeklinde açıklanmıştır.

Bir diğer çalışmada [19] kesici takıma titreşim sönümleyici monte edilmiş ve alüminyum çubuklar işlenmiştir (Şekil 2.1). Ayrıca kesici takım üzerine titreşim ivme sensörü yerleştirilmiş ve buradan alınan titreşim ivme değerleri bir bilgisayarda sayısal ve grafiksel olarak görüntülenmiştir. Titreşim sönümleyici kesici takım da oluşan titreşim frekansını ve genliğini azaltıcı yönde etki yaptığı tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak işleme esnasında kesici takım iş parçası çiftinde oluşan titreşimi ve kesici takımda oluşan kesme kuvvetlerini artıran etkinin azaltıldığı ifade edilmiştir.



Şekil 2.1. Deney düzeneğinin şematik gösterimi [19].

Titreşim sönümleyicinin kullanıldığı bir diğer çalışmada [20] kesici takımda oluşan titreşimlerin belirgin şeklide azaldığı ve işlenen yüzeylerde pürüzlülük değerlerinin düşük değerlerde olduğu araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir.

Kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, kesici takım uç yarıçapı, kesici takım boyu ve iş parçası boyu değiştirilerek yumuşak çeliğin işlendiği bir çalışmada [21], kesme süresince oluşan titreşimin kesici takımın doğal titreşim frekansına, talaş kalınlığına ve oluşan kesme kuvvetlerine bağlı olduğu ifade edilmiştir. Kesme kuvvetlerinin ve talaş kalınlığının artmasıyla kesici takım titreşiminin arttığı ve

dolayısıyla işlenen yüzeylerin kalitesinin azaldığı ifade edilmiştir. Ayrıca kesme işlemi esnasında BUE'nin yüzey kalitesini kötüleştirdiği ve kesici takıma etkiyen dinamik kuvvetleri artırdığı ifade etmişlerdir. Dolayısıyla talaş yığılmasının yüzey pürüzlülüğüne yaptığı bu etkiyi en aza indirmek için kesme derinliğini artırmak gerektiğini vurgulamışlardır. En iyi yüzey pürüzlülüğü değerlerine, ilerleme hızı 0.35 mm/rev, takım uç yarıçapı 1,6 mm olduğunda ve yüksek kesme hızlarında (265 m/min ve üzeri) ulaşılmıştır.

2.2. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi

Konuyla ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde kesici takım-iş parçası çiftinde oluşan mekanik titreşimin işleme performansına (kesme hızı, takım ömrü, yüzey kalitesi, boyut tamlığı v.b) etkileri, hem teorik olarak hem de deneysel olarak araştırıldığı görülmüştür. Ayrıca, takım tezgahlarında oluşan titreşimlerin kontrolü, temel olarak kesme parametrelerinin uygun seçilmesi [6-8,22] veya kesici takım ve iş parçasının bağlı pozisyonunun sabitleştirilmesi şeklinde olduğu literatürdeki araştırmalardan bilinmektedir [8,22]. Bir çok çalışma, düşük frekans aralığında ve iş parçasında oluşan titreşimin doğal frekans değeri gözetilmeden yapılmış olup [23], yüksek frekans aralığında oluşan takım titreşimlerinin oluşumu ve etkileri fazla incelenmemiştir [13,23,24]. Özellikle sert metallerin işlenmesinde kesici takım-iş parçası çiftinde önemli değerlerde titreşim olduğu, kesme hızının artırılması ve düşük kesme derinliği ile birlikte titreşim değerlerinin azaldığı bilinmektedir [14]. Gerçekleştirilen bazı teorik çalışmalarda, yüzey pürüzlülüğü ve kesme titreşimleri arasında matematiksel ilişki bulunması hedeflenmiş olup, kesme parametrelerine ve takım tezgahı titreşimlerine bağlı olarak tahmin edilen yüzey pürüzlülük değerleri için matematiksel model oluşturulmaya çalışılmıştır [25,26]. Ayrıca, bazı çalışmalarda yapılan deneyler sonucu tornalama işlemi esnasında ölçülen kesme kuvveti ve titreşim değerlerinin yüzey pürüzlülüğü ve boyutsal sapmanın belirlenmesinde kullanılarak, takım tutucuda oluşan radyal titreşimin geri beslemeli olarak artırılması ile yüzey kalitesinin tahmini olarak tespit edilmesinin kolaylaştığı bilinmektedir [27]. Bazı araştırmacılar ise tornalama işleminde, takım aşınması görüntüleme modeli geliştirerek titreşim verileri ile takım aşınması arasında

korelasyon kurmuşlar ve sonuç olarak da frekans tabanlı özelliklerin, takım aşınması ile daha fazla ilişkili olduğunu belirtmişlerdir [28]. Ayrıca kesme işlemi esnasında BUE'nin yüzey kalitesini kötüleştirdiği ve takıma etkiyen dinamik kuvvetleri artırdığı ifade edilmektedir. Dolayısıyla BUE'nin yüzey pürüzlülüğüne yaptığı bu etkiyi en aza indirmek için kesme derinliğini artırmak gerektiği vurgulanmaktadır [19]. Takım titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne ve takım ömrüne yaptığı bu zıt etkilerin yanında, sert metallerin torna tezgahı ile işlenmesi esnasında kesici takım-iş parçası çiftinde oluşan tırlama olarak bilinen ve kesici takımda oluşan kesme kuvvetlerini artıran bu etkinin, takımda zorlanmış titreşim oluşturularak azaltılabileceği bir çok araştırmacı tarafından ifade edilmektedir [25-27]. Kesici takımın kesikli olarak yani belirli zaman aralıklarında bilinen frekans değerlerinde iş parçasına yaklaştırılıp uzaklaştırılarak bu etkinin azaltılması yönünde çalışmalar yapılmış ve sert metaller için uygun kesme şartları tespit edilmiş olup takımda zorlanmış titreşim oluşturularak kesme modeli modellenmiştir [29].

Bugüne kadar yapılan bilimsel araştırmalar değerlendirilirse, tornalama işlemi esnasında kesici takımda oluşan titreşimlerin işleme performansı üzerinde olumsuz etkiler yaptığı görülmektedir. Dolayısıyla talaşlı üretimde kesici takımda oluşan titreşimlerin işleme süresince kontrol edilmesi önemli bir olgudur.

Bu çalışmada ise, torna tezgahında kesme işlemi esnasında, kesme parametrelerinde ve kesici takım geometrisinde değişiklik yapılarak kesici takımda oluşan titreşimin yüzey pürüzlülüğüne etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bu incelemenin sonucunda elde edilen titreşim ivme seviye grafikleri (titreşim ivmesi-zaman) analiz edilip, işlem sonrası elde edilen yüzey pürüzlülüğü grafikleri ile karşılaştırılıp yorumlanmıştır. Çalışmanın sonunda, titreşimin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin olup olmadığı değerlendirilip sonuçlar ve öneriler bölümünde açıklanmıştır. Bu deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler talaşlı imalat sanayisinde kullanıldığı taktirde, ülke ekonomisine katkısı büyük olacaktır.

3. TİTREŞİM

3.1. Titreşim Kavramına Giriş ve Titreşimin Önemi

İnsanoğlu endüstride makineleri kullanmaya başladığından bu tarafa makinelerin titreşimleri ile ilgilenmeye başlamıştır. Özellikle makinelere motorlar tarafından hareket sağlanmaya başlanması ile titreşim problemleri ortaya çıkmış ve bu problemleri ortadan kaldırmak için çözüm yolları aramaya başlamışlardır. Mühendisler titreşimi azaltmak, izole etmek veya kontrol altına almak için çalışmalar yapmışlardır. İlk önceleri makine titreşimi ölçümleri, fabrikada çalışan tecrübeli elemanlar tarafından ses dinlenerek veya elle dokunarak yapılmış, ağır ve hantal sistemlerde titreşimleri analiz etmişlerdir. Titreşimi azaltmak için yapılan ilk çalışmalar makine tasarımında gelişmeler sağlanmış, özellikle uygun malzeme seçimi önem kazanmıştır. Daha sonra standartlara uygun ürünler üretmeye yönelmişlerdir. Titreşimin kaliteli ürün üretmekte sorun çıkarması ve sistemlerin ömrünü kısaltması nedeni ile titreşimi daha detaylı olarak mercek altına almaya başlamışlardır. 19. yüzyıl sonlarına doğru yeni teknolojiler gelişmiş olup piezo-elektrik ivme algılayıcılar yardımı ile titreşimi elektrik sinyallerine dönüştürülerek ölçümde elektroniğin avantajlarından yararlanmışlardır. Günümüzde sistemlerdeki titreşimleri önlemek ve bu sistemlerin titreşimlerini belirlemek için hala çalışmalar yapılmakta olup, su ve ses yöntemiyle de titreşim ölçümleri yapılmaya başlanmıştır. Ayrıca günümüzde periyodik olarak titreşim ölçümleri yapılarak sistemlerin arızaları tespit edilmekte ve sistemin bozulmasına imkan vermeden bakımları yapılmaktadır [3].

Sistemlerdeki titreşim, her zaman istenmeyen bir durum değildir. Bazı kullanım yerlerine göre titreşim ve titreşimi oluşturan bu sistemler günlük hayatta birçok alanda yardımcı olabilmektedir (örneğin; asfalt sıkıştırma makineleri, kum eleme elekleri, taş kırma kompresörleri, masaj aletleri, zımpara makineleri vb.). Sistemlerin titreşimden yararlanmanın yanı sıra, titreşim daha çok, endüstride kullanılan sistemlerin ömürlerini sınırlayıcı etki olarak karşımıza çıkmaktadır. Titreşim, sistemlerde istenmeyen bir durumdur. Çünkü dinamik sistemlerde boşa enerji harcar,

gürültü çıkarır ve üretim esnasında titreşimden dolayı istenmeyen kalitede ürün ortaya çıkarabilir. Ayrıca, çalışma ortamında titreşen sistemlerle temas eden insanların sağlığını olumsuz etkilemesine neden de olabilir. Bunun yanında son yıllarda önemini artırmış olan uyarıcı bakım dediğimiz periyodik olarak sistemlerin titreşim analizi yapılarak bakım ve arıza tespiti yapılmaktadır. Bu tespit yapılırken bir cisme etki eden kuvvetler sonucunda meydana gelen titreşimi 0 (sıfır) ile belli bir frekans üst değeri arasında ve belli bir sayıdaki frekans bileşenlerindeki genliklerini gösteren ve titreşimin spektrumu (frekans-zaman, hız-zaman, deplasman-zaman, ivme-zaman vb.) adı verilen grafikler kullanılır. Titreşim spektrumuna bakarak, sistemlerin elektrik motorunda mekanik boşluk, motor elektrik arızası, rulman arızası, kaymalı yataklarda aşınma, dişli arızaları, takım tezgahlarında ayna ve fener mili dişlileri veya iş başlığında oluşan boşluktan dolayı meydana gelen arızalar, santrifüj motorlarında ve fanlarda kanat arızaları gibi birçok arıza tespit edilebilir. Bir benzetme yapılacak olursa, hastanın kalp titreşiminin spektrum analizi (EKG) alınıp hastanın kalp fonksiyonları analiz edilip yorumlanıyorsa dinamik sistemlerin de EKG'si alınıp sistemin fonksiyonları hakkında yorumlar yapılabilir.

Titreşimler genellikle hareketli parçalara sahip makinelerin ve bunların temasta bulunduğu parçaların içindeki dinamik kuvvetlerin etkisi sonucu ortaya çıkar. Sistem işlevini yapmak için harcadığı kuvvetlerin bir kısmını gövdesini veya bağlı olduğu yapıyı titretmek için harcar. Bu olay sistemlerde enerji kaybı anlamını taşır. Ayrıca sistemlerde parça aşınmasına ve malzeme yorulmasına neden olmaktadır. Sistemlerin bozulma ve kırılma nedenlerinin çoğu titreşimden kaynaklanabilir.

Dinamik sistemler, sistemlere hareketi veren motorların kendi bünyelerinde oluşturduğu titreşimi sistemlere ilettiği gibi, çevre şartlarından veya sistemin tasarım hatasından kaynaklanan istenmeyen titreşimler de söz konusu olabilir. Ayrıca sistemlerde dengesizlik, bağlantı hataları, aşırı sürtünme gibi birçok nedenden dolayı da titreşim meydana gelebilir.

Metal kesme, imalat işlemlerinde en çok kullanılanlardan birisi olup, bu işlem sırasında dış etkenlerden ve sistemin yapısından kaynaklanan etkenlerden dolayı

ürün istenilen standartlarda elde edilemez. Kesme işlemi sonrasında istenilen kalitede ürün elde edebilmek için olumsuz etkilerin ortadan kaldırılması için hala çalışmalar devam etmektedir.

Ürün kalitesini etkileyen olumsuz etkilerden birisi de titreşimdir. Titreşimin kesme esnasında ürünün yüzeyinde oluşturduğu etkilerden dolayı istenilen kalitede ürün elde edilemez. Talaşlı imalat atölyesinin en önemli tezgahlarında birisi olan torna tezgahı elektrik motorundan aldığı hareketle sistemi harekete geçirmektedir. Bilgisayar sayısal denetimli torna tezgahları özel gövde tasarımı ile titreşimi absorbe eden takozlarla zemine rijit bir şekilde bağlanırlar. Fakat bu tezgahlarda sistemin oluşturduğu titreşimi sıfıra indirmek mümkün değildir. Ayrıca en önemlisi, yük altında çalışırken, kesici takımda titreşim meydana gelir. Talaş kaldıran kesici takımın oluşturduğu titreşim, kesme kuvvetlerinden ve tezgahın yapısından kaynaklanan titreşimlerin bütünüdür. Ayrıca takım tutucunun boyu, kesici takım uç yarıçapı, kesme açısı, kayma açısı vb. birçok kesme parametrelerinin tornalama işlemi esnasında titreşime neden olduğu bilinmektedir.

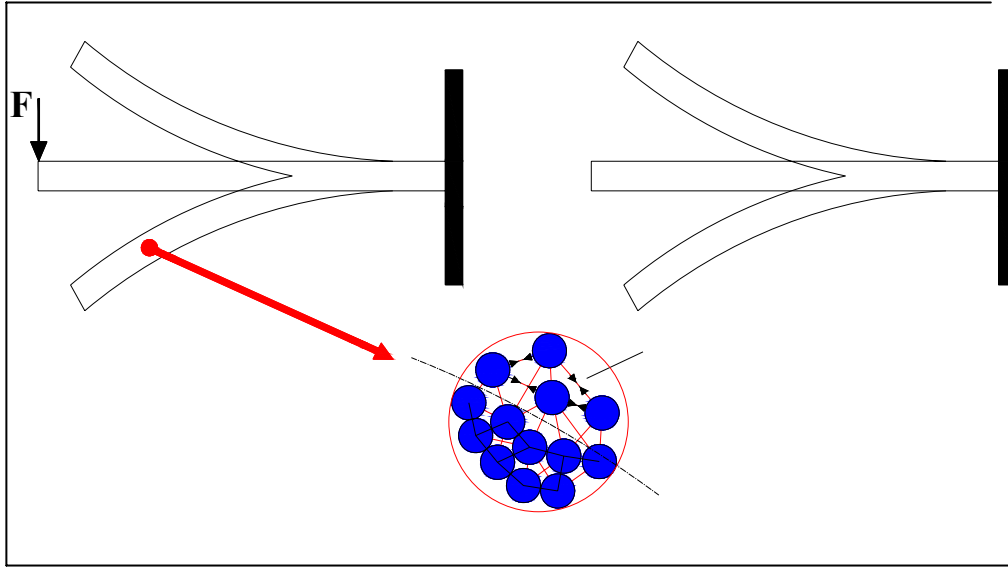
3.2. Titreşimin Tanımlanması

Mekanik sistemlerin salınım ya da titreşimleri fizikte oldukça önemli çalışma alanlarından birini teşkil eder. Gerçekte her sistem titreşim yeteneğine sahiptir ve çoğu sistem değişik şekillerde serbestçe titreşebilir. Küçük sistemlerin doğal titreşimi hızlı, büyük sistemlerin doğal titreşimi yavaş olur. Örneğin bir sivrisineğin kanatları saniyede yüzlerce kez titreşip ışıtilebilir bir nota üretirken, tüm yer yüzü bir deprem ile sarsıldıktan sonra bile ortalama saatte bir sarsıntı ile titreşmeye devam eder. Bütün bu olayların sahip olduğu ortak özellik periyodik olmasıdır. Yer değiştirme ya da hareketin, kendini sürekli tekrarlayan bir şekillenimi vardır ve bu şekillenim karmaşık veya basit şekilde olabilir. Fiziksel bir kriter olarak titreşim oldukça çok sayıda kendini tekrar eden hareket olarak tanımlanabilir [31].

Titreşimin bir başka tanımı ise bir mekanik sistemin hareketini veya konumunu tanımlayan büyüklük şiddetinin zamanla değişimidir. Bir başka deyişle bu

büyükliğün ortalama değerden veya bir referans değerinden, zaman içinde sırayla, daha büyük ve daha küçük olmak üzere değışimidir [32].

Titreşim hareketi referans bir konum etrafında veya konum etrafında ortaya çıkan mekanik bir salınım hareketidir. Fizikte harmonik hareket adı altında tarif edilen titreşim, bir kütlenin belli bir merkez etrafında çevrimsel hareketidir ya da bir makine parçasının her hangi bir yöndeki ileri geri hareketi diye de tarif edilmektedir. Titreşim sistemleri oluşturan malzemelerin yapısından ve kuvvete karşı verdiği tepkiden kaynaklanır. Titreşim, malzemenin atomik yapısındaki statik dengeyi bozan bir kuvvet etkisi ile meydana gelir. Bu statik dengeyi bozan kuvvet ortadan kalktıktan sonra atomlar arasındaki bağ kuvveti malzemeyi eski statik dengeye getirmeye çalışır. Bu elastik bağ kuvveti malzemeyi statik denge konumuna getirmek için ivmelenir. Bu ivmenin etkisi ile malzeme eski statik konumunu geçer ve ters yönde ivme kazanır. Eski statik denge konumunu ivme etkisi ile geçen malzeme tekrar bağ kuvveti ile eski denge konumuna gelmek için ters yönde ivmelenecektir. Bu olay devamlı tekrarlandığı için malzeme statik denge konumu etrafında hareket eder. Malzemenin atomları arasındaki sürtünme yok sayılırsa bu hareket sonsuza kadar devam eder. Bu tür titreşimlere serbest titreşim denir (Şekil 3.1). Serbest titreşimde, başlangıçta başlangıç hareketinin verilip sonradan kuvvetin ortadan kalkması sonucunda sistemin yapısında bulunan bağ kuvvetleri ve atomlar arası sürtünme kuvveti ivmelenme hareketini yavaşlatacak ve zamanla sistemdeki titreşim sifıra yakın olacaktır. Serbest titreşime; salıncakta sallanan çocuğa ilk hareketin verilip bırakılması, sazın teline vurulup bırakılması veya bir yüzücünün traplenden sıçradıktan sonra traplenin aşağı ve yukarı hareketine devam ederek yavaşlayıp statik konumuna geri gelmesi örnek teşkil edebilir. Bu örnekte salıncaktaki çoğunun yavaşlaması yer çekimi kuvveti etkisi sayesinde olurken sazın telinin ve traplenin ilk konumuna gelmesi ise malzeme yapılarındaki bağlar sayesinde olur.



Şekil 3.1. Serbest titreşim [33].

3.3. Titreşimin Sınıflandırılması

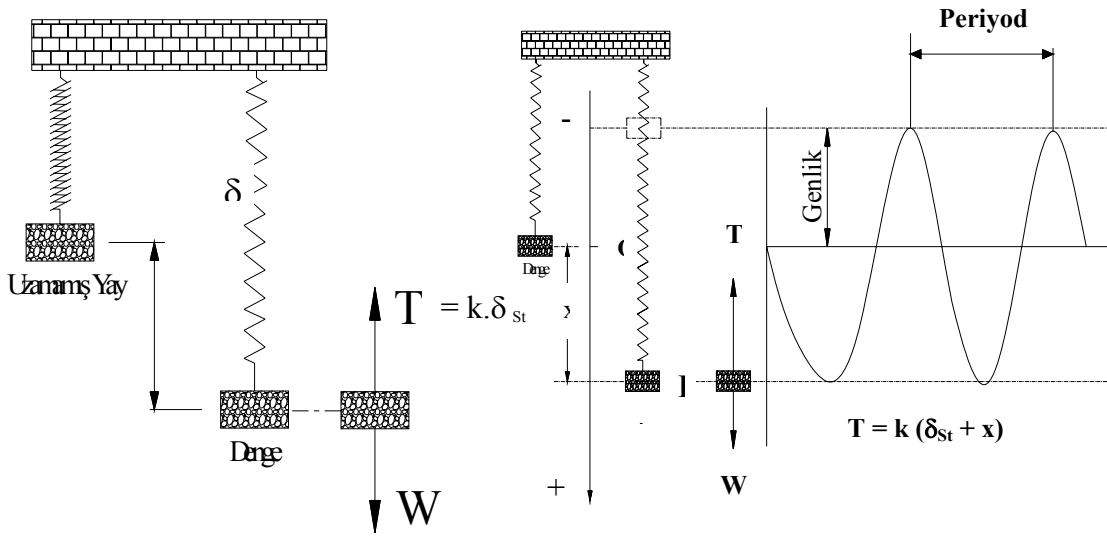
Titreşimin imalat sırasında ortaya çıkan birkaç tipi vardır. Bunlar genel olarak serbest titreşimler, zorlanmış titreşimler, kendi kendini uyaran titreşimler, yenilebilen titreşimler, termomekanik titreşimler ve mod çiftlemesi olarak adlandırılırlar. Bu sınıflamanın dışında titreşimler, doğrusal ve doğrusal olmayan titreşimler, belirli ve rasgele titreşimler olmak üzere de sınıflandırılabilirler [34].

Titreşim hareketi Klotter tarafından yönü bir defadan fazla değişen hareket olarak tanımlanmış olup periyodik hareket veya periyodik olmayan aperiodyk hareketler olarak tarif edilmiştir [3].

Bu çalışmada titreşimler aşağıdaki gibi grublandırılıp açıklanmaya çalışılmıştır.

- Sönümsüz serbest titreşimler
- Sönümsüz zorlanmış titreşimler
- Sönümlü serbest titreşimler
- Sönümlü zorlanmış titreşimler

Sönümsüz serbest titreşim Şekil 3.2’de görüldüğü gibi izah edilebilir. Tavana asılı bulunmakta olan yaya bir kütle bağlanmıştır. Bu kütle yayı belli bir miktar uzatarak denge konumuna getirmiştir. Denge konumunda bulunan sisteme aşağı yönde bir kuvvet uygulanarak uzayan yay kuvveti ortadan kaldırılınca yayda bulunan k sabitinin etkisi ile sistem tekrar denge konumuna gelmeye çalışacaktır. Yukarı doğru hareketlenen kütle kazanmış olduğu ivmenin etkisi ile daha önceden sağlanmış olan denge konumunu geçerek yayı sıkıştıracaktır. Sistemde bulunan kütle, yukarı doğru kazanmış olduğu ivmeyi kaybettikten sonra yer çekiminin ve kütlenin de ağırlığı ile birlikte bu sefer aşağı doğru bir salınım içerisine girer. Kütle inebildiği maksimum alt seviyeye iner. Daha sonra tekrar tersi yönde ivme kazanarak yukarı çıkar ve bu hareketlilik sürtünmenin bulunmadığı bir ortamda sürekli olarak devam eder. Bu olaya “sönümsüz serbest titreşim” adı verilir.



Şekil 3.2. Sönümsüz serbest titreşim [32]

Titreşim sisteminin ideal kütle-yay modeli olarak alındığında bu sistem denge konumundan ayrıldıktan sonra belirli bir ilk hızla veya hızsız olarak kendi haline bırakılırsa kütle aşağı ve yukarı gidip gelmeye başlar. Titreşim hareketini yapan kütleye dışarıdan herhangi bir etki olmadığından dolayı meydana gelen hareket sönümsüz titreşim olayıdır. Bu sistemde yayda ve havadaki sürtünme kuvveti sıfır kabul edilmelidir. Hareketin aşağı ve yukarı yönlerdeki hareketini tamamlaması için geçen zamana titreşimin periyodu denir. Birim zamandaki periyoduna ise titreşimin

frekansı denir. Sistem harekete geçtikten sonra kuvvet ortadan kalkınca ve sistem kendi haline bırakılırsa sistemin yapısından dolayı yaptığı titreşimin frekansına doğal frekans denir. Frekansın birimi Herz (Hz)'dir. Sistemin statik denge konumuna göre maksimum yer değiştirme miktarına titreşimin genliği denir (Şekil 3.2). Bir sistemde titreşim hareketinin devamı sadece yapısından dolayı geriye döndürücü ivme kuvvetleri sayesinde oluyorsa serbest titreşim adını alır. Eğer sisteme periyodik bir kuvvet uygulanıyorsa ortaya çıkan titreşime zorlanmış titreşim denir. Bir sistemin doğal frekansına zorlayan kuvvetin frekansı çok yaklaşır veya çakışırsa rezonans oluşur. Yani sistem titreşiminin genliği sonsuza gider. Bu da istenmeyen bir durumdur. Bunun için sistemlerin doğal frekansı bilinmeli ve zorlayan kuvvetin frekansı ile karşılaştırılmamalıdır. Sistemde sürtünmenin etkisi ihmal edilirse titreşim sönümsüz olur. Aslında hiçbir sistem sönümsüz değildir. Bir sistemde serbest titreşim hafif sönümlü ise genliği yavaş yavaş azalır ve bir müddet sonra hareket kendiliğinden durur. Sönümlü zorlanmış bir titreşimin kendini oluşturan periyodik kuvvet uygulandığı sürece titreşim devam eder.

Zorlamalı titreşimin frekansı ile sistemin doğal titreşiminin frekansının birbirlerine çok yakın olduğu durumlarda sönümleme özelliği çok düşük sistemlerde titreşimin genliği çok yüksek olabilir. Eğer bu genlik mekanik sistemlerde meydana gelirse çok zararlı olabilir ve sistemin bozulmasına neden olabilir. Zorlayan kuvvetin frekansını sistemin doğal frekansından uzaklaştırılarak sistemin genliğini düşürebiliriz ve bu sayede rezonans da önlenmiş olur.

3.4. Titreşimin Ölçülmesi

Titreşim hissedilemeye ve tanınmaya başladığından bu tarafa imalat sanayisinde titreşimi yok edebilmek için çalışmalar yapılmış ve halen yapılmaktadır. Eskiden tecrübeli elemanlar sayesinde elle veya ses dinlenerek kontrol edilen titreşim, günümüzde elektronik cihazlarla yapılmaktadır.

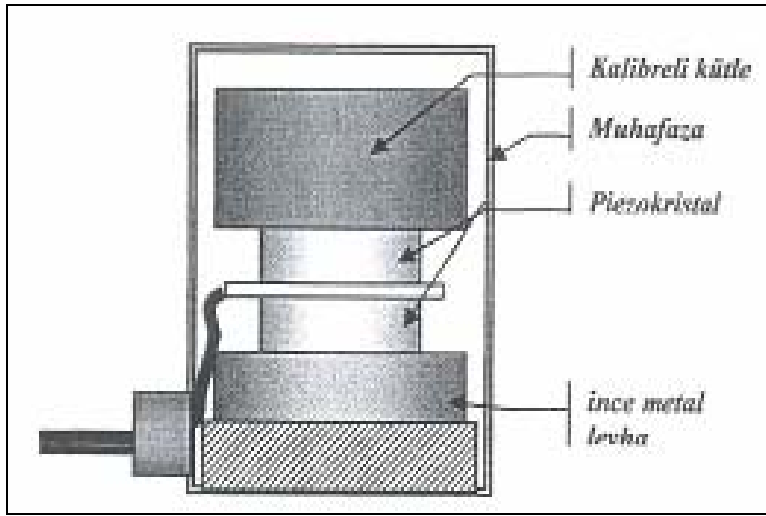
21. yüzyıl teknolojisinde titreşim, dinamik sistemlerde oluşabilecek arızayı önceden tespit etmekte ve önleyici bakımda titreşim kontrolleri önemli rol oynamaktadır.

İmalat sanayisinde kullanılan takım tezgahlarının titreşiminin sıfıra yakın olması arzu edilir. Çünkü tezgah ve kesicilerde oluşacak titreşimin yüzey pürüzlülüğüne etki ettiği bilinmektedir. Titreşim genellikle hareketli parçaların ve bunlarla temasta bulunan sistemlerin içindeki dinamik kuvvetlerin etkisi ile oluşmaktadır.

Son zamanlarda elektronik teknolojisinin de gelişmesi ile birlikte buna paralel olarak titreşimin ölçülebilmesi için birçok titreşim ölçüm araçları da yaygınlaşmış ve teknoloji ile birlikte gelişim göstermiştir. Bir sistemde titreşimin ölçülebilmesindeki en önemli parametre titreşimin frekansı ve ivmesidir. Titreşim ölçüm tekniğinde sensör ve transdüser birbirlerinin yerine çok kullanılan terimlerdir. Titreşim genliği ve açısı olan bir kemiyettir. Bunun için bir vektör olarak düşünülmeli ve uzayda bir kartezyen koordinat sistemine iz düşümleri düşürülerek bileşenlerine ayrılmalıdır. Bu vektörel büyüklükler genlik yani noktanın yer değiştirmesi, hız ve ivme olarak düşünülmelidir [30].

Bir sistemin titreşimini ölçebilmek için titreşimin spektrum analizine ihtiyaç vardır. Titreşimin spektrumu bir cisme etki eden kuvvetler sonucunda meydana gelen titreşimin (0) sıfır ile belli bir frekans üst değeri arasında belli bir sayıdaki frekans bileşenlerindeki genlikleri gösteren grafiklerdir. Spektrum analizi spektrumu elde etmek için enerji dönüştürücü dediğimiz ölçüm probuna ihtiyaç vardır. Titreşim ölçüm tipine göre üç farklı sensör kullanılır. Bunlardan birincisi Eddy prob titreşim yer değiştirme sensörüdür. Bu sensörün uç kısmındaki bobinin oluşturmuş olduğu manyetik alan çizgileri yanındaki rotordan etkilenererek sıkışma ya da gevşeme yapar. Direnç üzerinde akım değişimine neden olan bu durum voltaj değişimi nedeni ile yer değiştirme değerinin ölçülmesini sağlar. Genellikle şaft ile yatak arasındaki değişimlerin ölçüldüğü kaymalı yataklarda kullanılır. İkincisi ise hız ölçer titreşim hız sensörüdür. Bir yay ile tespit edilmiş metalik çubuk etrafını çevrelemiş bobin içerisinde sensörün bulunduğu ortamdaki titreşime bağlı olarak hareket eder. Manyetik alan çizgilerini etkileyen bu çubuğun neden olmuş olduğu akım değişimi titreşim miktarıyla doğrudan ilgilidir. Bu sensör tipi, hareketli parça içerdiğinden sık sık kalibrasyon ihtiyacı doğurur. Üçüncüsü ve en çok kullanılanı ise ivme ölçer titreşim ivme sensörüdür.

İvme sensörünün çalışması şu şekilde açıklanabilir. İki yüksek duyarlılıktaki sismik kütle arasına yerleştirilen piezo-elektrik kristal sismik kütlelerin ortam titreşimine bağlı olarak yapmış olduğu sıkıştırma ile akım üretir. Şekil 3.3’de görüldüğü gibi aralarında ince akım toplayıcı plaka bulunan kristaller, alt taraftan bir şaseye bağlanır; üst tarafı ise, çok hassas bir şekilde ağırlığı bilinen bir parçaya yapıştırılır. Üst taraftaki ağırlık, titreştikçe $F=M(\text{Kütle}) \times A(\text{İvme})$ prensibine göre kendi kütlesine ve ivmesine bağlı olarak kristali ezer. Bu A ivmesiyle titreşen üst taraftaki ağırlık, kristali ezince F kuvvetine orantılı olan bir akım (I) meydana gelir. Bağıntı kurulacak olursa, ivme (A) oluşan akım (I)’ya orantılıdır. Bu akım, bir dirençten (R)’den geçilirse, burada oluşacak voltaj mV(milivolt) seviyesinde olur. Bu milivolt seviyesindeki voltajlar ölçüm cihazları tarafından genlikler olarak cihazın ekranında çizgi şeklinde gözükür [35].



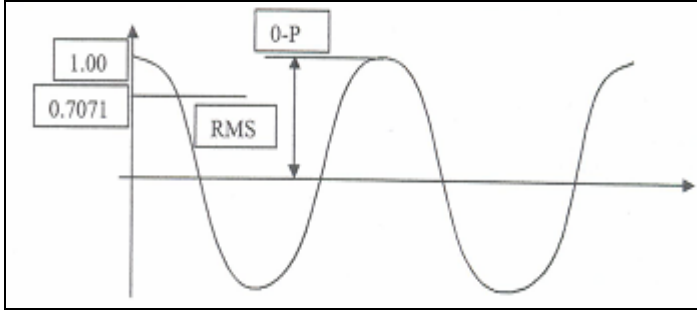
Şekil 3.3. Titreşim ivme sensörü (Akselometre) iç yapısı [35].

Sensörlerin yapıları itibarı ile ölçüm noktasından üç şekilde ölçüm değeri alınır. Birincisi elle tutulan problemler olup bunlar elle kavramaya yarayacak bir sap içersine yerleştirilmiş ve sivri bir uca sabitlenmiş tutacaklı problemlerdir. Bunlar uygulamalarda çok popüler olmalarına karşı hatalı ölçüm değerlendirmeye neden olduğundan ve elle tutulduğundan titreşimi sönümleme ihtimaline karşı verimli bir ölçüm yapamaz. İkincisi ise manyetik problemlerdir. Bu problemler elle ölçüm yapılan problemlere göre daha iyi ölçüm yapmalarına rağmen manyetik çekim alanlarından yararlanarak

yapışmalarından dolayı ölçüm noktasında ve yüzeye tam oturmasında sorunlar çıkarabilmektedir. Bu da titreşim frekansının tam olarak algılanmasında yeterli değildir. Üçüncüsü vidalı problar olup, ölçüm noktalarının üzerine vidalı montaj edilip en doğru ölçümü alma şeklidir. TSE ve ISO standartları tarafından en doğru prob bağlama yöntemi olarak kabul edilen yöntemdir. Vidalı prob bağlama yöntemi, ölçüm hassasiyeti açısından en çok tavsiye edilen yöntemdir.

Titreşim ölçüm cihazları çok kısa bir süre zarfında bugünkü halini almıştır. İlk önceleri ölçülen titreşimlerin incelenmesinde bir teybe ses kaydeder gibi, sinyaller banda kayıt edilirdi. Günümüzde kullanılan cihazlarda hem hafızasında saklama özelliği olup sinyaller bilgisayara aktarılabilmekte ve hem de yazıcıdan grafikleri alınabilmektedir (Resim 3.1). Titreşim ölçüm cihazları ivme sensörlerinden aldığı milivoltajları genliklere çevirir. Bu cihazlar FFT (Fast Fourier Transform) sistemi ile çalışır. Cihazın içindeki bilgisayar programının kullandığı algoritmanın matematiksel kolaylıklarından yararlanılarak kısa sürede yapıyor olmasıdır. Cihaz, Layn denilen FFT işleminde gelişi güzel titreşimlerin kaç adet Fourier bileşenine ayrıldığını gösterir. Yani cihaz gelişi güzel titreşimleri zaman düzleminde alıp bunu dört yüz (400) adet sinüs ve dört yüz (400) adet kosinüs bileşeni olarak ifade edecek ve bunların her bileşendeki genliğin seviyesini bulup bunu bir çizgi olarak ifade edecektir. Bu çizgiler titreşim ölçüm cihazı ekranında gözükür. Bu çizgiler genlik olarak ifade edilir ve bu genliklerin seviyesinden bahsedilirken RMS seviyesinden bahsedilir. ABD’de 0-P (Sıfır noktası ile pik) kullanılmasına karşın ISO kullanan ülkelerde titreşimin hızının veya ivmesinin RMS (root-mean-squared) seviyesi kullanılır. RMS titreşim seviyesi, bir spektrumdaki her pikin karesi alınıp, hepsi toplandıktan sonra ortalamalarının karekökü alındığında elde edilen değeridir. RMS seviye, 0-P seviyenin 0,7071’i kadardır (Şekil 3.4.).

Cihazlarda bulunan frekans aralığı ise frekans ölçüm aralığını ifade eder. Ayrıca cihazlar tek kanallı ve üç kanallı olabilmektedir. Üç yönde titreşim ölçümü yapabilmek için üç kanallı ölçüm probunun kullanılması gerekebilir



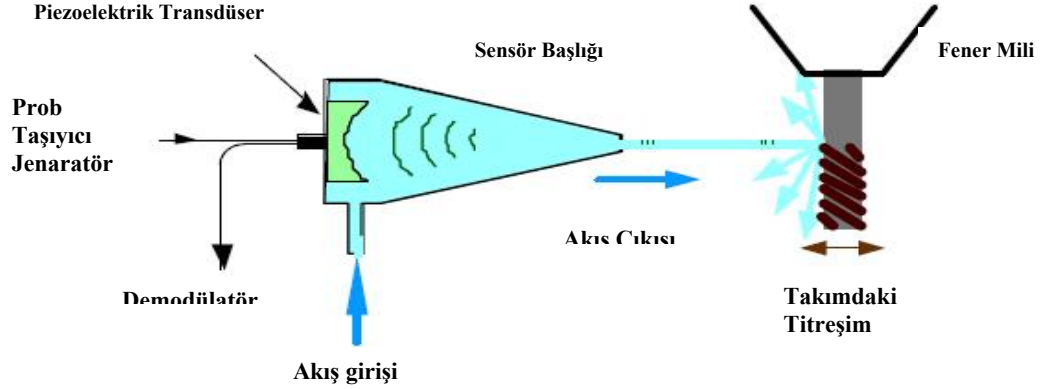
Şekil 3.4. Bir genliğin pik seviyesi ile RMS seviyesinin karşılaştırılması [35].

Titreşim vektörel bir büyüklüktür. Titreşimin gerçek büyüklüğünü doğru olarak belirlemek için kartezyen koordinat sisteminin her üç eksen de mutlaka ölçüm yapmak gerekmektedir. Bu üç eksen de ölçüm aynı anda yapılmalıdır. Zira faz farkından dolayı sağlıklı ölçüm yapılamaz. Bunun için üç eksen de ölçüm yapabilen sensörler geliştirilmiştir.

Günümüz teknolojisinde dönen parçalardaki titreşimi ölçmek için su dalgasından yararlanarak ölçüm yapabilen sensörler de vardır. Şekil 3.5’de görüldüğü gibi dönen milin üzerine sensör başlığından sıvı gönderildiğinde sıvının geri tepkimesiyle sensör başlığı içerisindeki elektronik algılayıcıya iletilen dalgalar dönen mildeki yer değiştirmenin mesafesini belirtmektedir.



Resim 3.1. Titreşim ölçüm cihazı [35].



Şekil 3.5. Sıvı yöntemi ile titreşim ölçmek [36].

3.5. Titreşime Neden Olan Kuvvetler

Dinamik sistemlerde titreşimler dış kuvvetler ve bu sistemin dış kuvvetlere karşı cevap verme özelliğinden kaynaklanır. Dolayısıyla dış kuvvetler veya sistemin bu kuvvetlere cevap verme özelliği değiştirilerek sistemin titreşim özelliği değiştirilebilir. Bir sistemde zorlanmış hareketler doğrusal ve açısal hareketlerin toplamı şeklinde de olabilir. Bir titreşim analizinde; aşınmış yataklar statik veya dinamik dengesizlik, sistemdeki parçalardaki gevşeklik yüzey pürüzlülüğünün yüksek değerde olması gibi nedenlerden dolayı titreşim meydana gelir.

Talaş kaldırma işlemlerinde ise titreşim, takım tezgahının gövde yapısından, yataklardaki boşluk ve aşınmalardan, parçanın bağlanma şeklinden, kesici takımın geometrik yapısından, uygulanan kesme parametreleri vb. sebebiyle meydana gelir [34].

BSD'li bir torna tezgahında titreşim;

- Makine, takım tutucusu ve iş parçası bağlantısında ki yetersiz rijitlik,
- Çok büyük kesme kuvveti,
- Kör takım kullanımı,
- Yetersiz yağlama ve soğutma,
- Yanlış kesici ve talaş kaldırıcı seçimi,
- Çok büyük radyal kuvvet,

- Sürtünme ve bozuk yüzey,
gibi sebeplerden meydana gelir.

Günümüz sanayisinde kullanılan torna tezgahında oluşan titreşimin analiz edilmesi için kesme ve talaş kaldırma işleminin iyi kavranması ve bu işlem esnasında oluşan kuvvetlerin bilinmesi gerekir. Kesme işlemi iş parçasından daha sert yapıda olan kesici kenarların iş parçası malzeme gövdesine dalarak kesici takım yüzeyleri tarafından iş parçası malzemesinin ikiye ayrılması işlemidir. Bu nedenle kesme işlemlerini yapan kuvvetlerin bilinmesi gerekmektedir.

Metal kesme işleminde talaş kaldırma sırasında, takım tezgahı-kesici takım-iş parçası arasındaki ilişkinin kurulması “kesme” olayının iyi kavranmasını gerektirir. Metaller ve metal alaşımlarının işlenmesinde kullanılan takımların kesici kenarları yeterince keskin olmasına rağmen, talaş kaldırma sırasında oluşan gerilmeler karşısında oldukça zorlanırlar. Bu sebeple takımın dayanabileceği optimum kesit ve kesmeyi kolaylaştıracak ideal açıları (ideal takım geometrisi) bulmak için pek çok araştırma yapılmıştır.

Kesme olayı, iş parçası üzerinden atom kümelerinin arasındaki bağı koparıp sanki bir ekmeği ikiye böler gibi iş parçası üzerinden parçacıklar koparılması olarak tarif edilebilir. Kesici takım kesme işleminden sonra iki yüzey meydana getirir. Birincisi iş parçası yüzeyi ikincisi ise iş parçasından koparılan talaşın arka yüzeyidir [37].

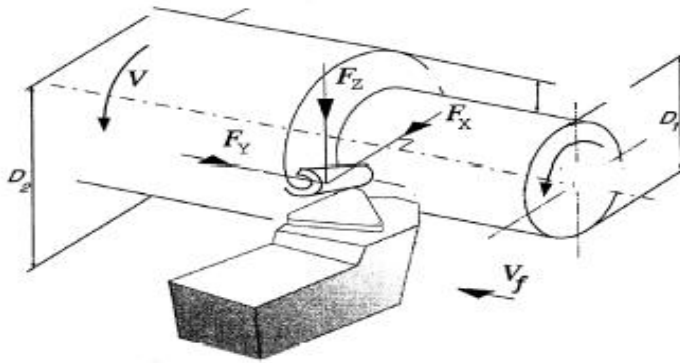
Torna tezgahında tornalama işlemi karmaşık yapıya sahiptir. Kesici takımın kesme işlemini yapabilmesi için, Şekil 3.6’da gösterildiği gibi, x , y , z eksenleri yönünde kuvvetlere ihtiyaç vardır.

Kesici takım dönen iş parçasından talaş kaldırırken kesme kenarında kesme kuvveti oluşur. Şekil 3.6’da F_z ile gösterilmiş olan bu kuvvet tornalama esnasında kesme işlemini oluşturan kuvvettir ve asıl kesme kuvveti (F_c) olarak ifade edilir. Bu

kuvvetin konumu iş parçası eksenine diktir. F_c kuvveti kesici takımı ve takım tutucusunu düşey yönde momente zorlar. F_c kuvveti bitirilmiş iş parçası yüzey kalitesi için de son derece önemlidir.

Diğer bir kuvvet ise tornalama anında kesici takımın ilerleme dediğimiz hareketini gerçekleştiren şekilde F_y ile ifade edilen kuvvettir. Teknikte F_f olarak ifade edilir. Bu kuvvet kesici takımı iş parçası eksenine paralel yönde iterek kesici takım tutucusunda moment oluşturur.

Üçüncü kuvvet olan iş parçası eksenine dik olan ve şekilde F_x ile gösterilmiş olan yönde uygulanan kuvvettir. Bu kuvvet en çok iş parçasından talaş kaldırmak için kesici takımın talaş kaldırma derinliğine ulaşmaya kadar yüksek değerlerde olur. Ayrıca bu kuvvet iş parçası yüzeyindeki dalgalanmalardan da etkilenir [38].



Şekil 3.6. Kesme işlemindeki kuvvetleri [36].

3.5.1. Talaş kaldırma işleminin dinamiği

Talaş kaldırma, belirli boyut şekil ve yüzey kalitesine sahip bir parça meydana getirmek için, ucu keskin bir takımla ve güç kullanarak iş parçası üzerinden tabaka şeklinde malzeme kaldırma işlemidir. Ayrılan malzeme tabakasına talaş denir. Fiziksel bakımdan talaş kaldırma işlemi elastik ve plastik şekil değiştirmeye dayanan, sürtünme, ısı oluşumu, talaşın kırılması ve büzülmesi, işlenen parça

yüzeyin sertleşmesi takım ucunun aşınması gibi olayların meydana geldiği karmaşık bir fiziksel olaydır [38].

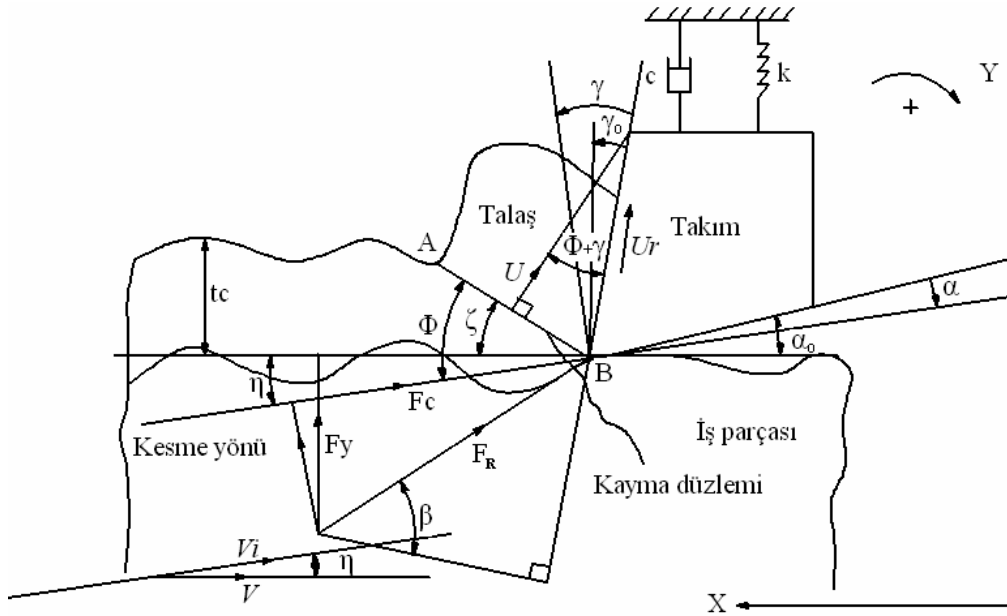
Malzemedan talaş kaldırılması, takım kesici ucunun/kenarının iş parçası yüzeyine temas etmesi ve bu etki bölgesinde, talaş kaldırma enerjisi talaş kaldırıldığı tezgahtan iş parçasına iletilmesi ile sağlanır. Bu sebeple “Takım Tezgahı-Kesici (Takım)-İş Parçası Malzemesi” üçgeni arasındaki ilişki çok iyi kurulmalı ve “kesme parametreleri” dediğimiz bu ilişkiyi şekillendiren değişkenler iyi değerlendirilmelidir.

Bu parametrelerin değerlendirilmesi ile, ham parçadan nihai ürüne ulaşılmasında, talaş kaldırma işleminin açıklanması ve karşılaşılan problemlerin elimine edilmesi için takım-iş parçası-takım tezgahı ilişkilerinin nasıl düzenleneceğinin belirlenmesi, ekonomik işleme şartlarının ortaya konulmasıdır. Talaş kaldırmada gerekli etki hareketleri “iş parçasından, takımdan veya her ikisinden” iki veya üç ekseninde gerçekleşir.

Torna tezgahları işlevlerinden dolayı, çok çeşitli yükler altında çalışırlar. Bu tezgahlar çalışma esnasında çeşitli yüklere karşı dinamik davranış gösterirler. Takım tezgahının tasarımı yapılırken bu dinamik yapısı göz önüne alınır. Örneğin gövdeler yapılırken titreşimi absorbe edebilme özelliğinde malzeme seçilmesi ve takviye kanatları ile gövdeler kuvvetlendirilmesi gibi birçok özellik sayılabilir.

Metal kesme işlemi mekaniğinde önceki çalışmalarda kullanılan ideal bir sürekli talaş oluşum modeli Şekil 3.7’de gösterilmektedir. Bu modeli kullanan iki bilim adamı, kesme bölgesi veya birincil deformasyon bölgesinin kayma düzlemi adı verilen bir düzlem ile ifade edilebileceğini öne süren Ernst ve Merchant’dır [38].

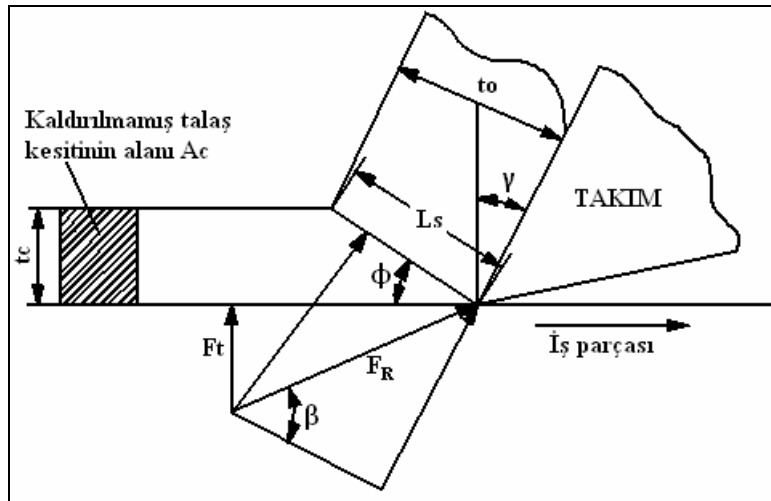
Bir parçanın üzerinden belirli bir malzeme tabakası kaldırılması için, takımın o malzemeye nüfuz etmesi gerekir. Bu işlem ancak takıma uygulanan kuvvetlerin yeterli ve takım malzemesinin parça malzemesinden daha sert olması halinde gerçekleşir.



Şekil 3.7. Kesme modeli [38].

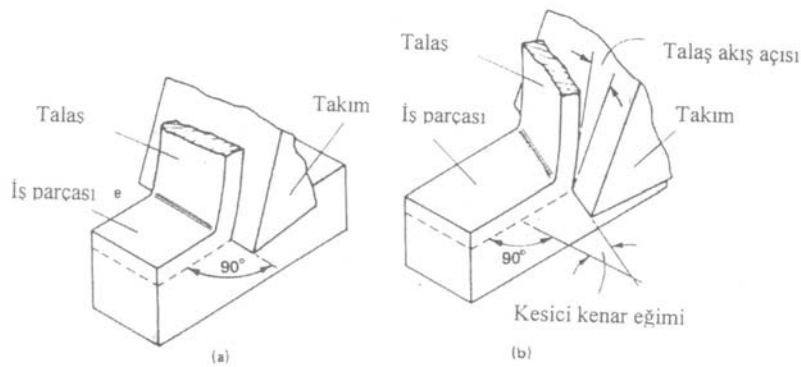
Talaşlı imalatta kesme dinamiğini anlamak için talaş oluşumunu anlamak gerekir. Tornalama işlemlerinde kesici takımın kesici köşesinin iş parçası malzemesine nüfuz etmesi ile iş parçası malzemesi elastik ve plastik (kalıcı) şekil değişimine uğrar. Temelde malzemenin çok kısa bir zaman süreci içinde kayma bölgesinde gerilmesi ile talaş iş parçasından ayrılır. İş parçası malzemesinin gerilim altındaki gerilme tutumu, oluşacak talaş tipini belirler.

Tornalama işleminde kesici takım radyal yönde belirli talaş derinliğine kadar iş parçasına nüfuz eder. Eksen etrafında dönen iş parçasından kesici uç malzemeyi ikiye bölmeye zorlar. Bu hareket esnasında kesici takım aynı anda ilerleme yönünde de hareket halindedir. Şekil 3.8’de görüldüğü gibi kesici takım ilerleme hareketi ve kesme hareketinin etkisi ile önündeki iş parçası malzemesini kayma düzlemi dediğimiz düzlemden ikiye böler. Bu işlem kesme işlemi esnasında kesme kuvvetlerinin etkisi ile gerçekleşir. Bu kesme işlemi esnasında kayma düzleminin sonra talaşın kesici takım yüzeyinden akması gerekir. Kayma düzlemi kesici takımın talaş açısı ile ilişkilidir. Çünkü kayma düzleminin açısı artar ise talaş akışı daha rahat olur. Kayma düzleminin açısı azalmasında ise hem kesme kuvveti artar hem de talaş akışı zor olur.



Şekil 3.8. Sürekli talaş oluşumunda kayma düzlemi modeli (Φ kayma düzlemi açısı) [38].

Takımın kesme kenarının iş parçası kesici takım hareketine dik olduğu kesme durumuna dik (ortogonal) kesme denir. Takımın kesme kenarının iş parçası kesici takım hareketiyle eğik açı yaptığı kesme durumuna da eğik (oblique) kesme denir. Şekil 3.9’da dik ve eğik kesme durumları görülmektedir.



Şekil 3.9. Kesme modelleri
a) dik kesme b) eğik kesme

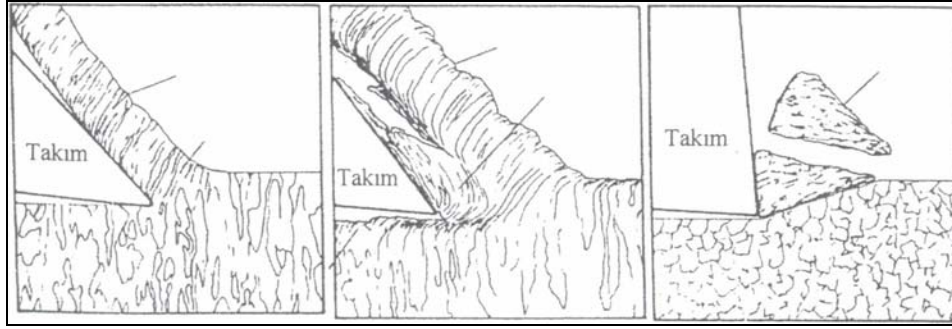
3.5.2. Talaş kaldırma işleminde kesici takım geometrisinin etkisi

Talaş kaldırma işleminin istenilen şekilde olması için tornalama işleminde birçok faktör etkilidir. Bu faktörlerin en önemlilerinden biri de kesici takım geometrisidir.

Kesici takım geometrisinin talaş oluşumu sırasında hem talaş kalınlığı hem de kayma düzlemi üzerinde etkisi vardır. Kesici takımın üzerinde bulunan çeşitli açılar kesici takım geometrisini oluşturur. Tornalama işleminde talaş açısı, boşluk açısı ve kama açısı gibi açılar kesici takım geometrisini oluşturur. Bu açıların en önemlisi kayma düzlemi ile kesici takımın hareket yönü arasındaki açıdır. Kayma açısının değişimi talaş kalınlığını değiştirir. Talaş kalınlığının değişimi de kesme kuvvetini etkiler.

Takım üzerindeki önemli geometrik parametreler takım uç yarıçapı, yan talaş açısı, arka talaş açısı, ön ve boşluk açılarıdır. Talaş açısı konumları pozitif, negatif ve nötr olarak adlandırılır. Pozitif talaş açısı yüksek kayma açısı sağlar ve kesme kuvvetlerinin azalmasına yardımcı olur. Ayrıca talaşın iş parçasından akarak uzaklaşmasına yardımcı olduğu için iyi bir yüzey kalitesi bırakır. Negatif talaş açılı takımlar kayma açısını azalttığı için aynı kesme şartlarında pozitif kayma açılı takımlardan daha yüksek kesme kuvvetleri meydana getirir. Kesintili kesmede negatif talaş açılı takımlar pozitif talaş açılı takımlardan daha büyük darbe direnci sağlar [34].

Talaşlı imalat esnasında malzemedan kesiciler yardımı ile talaş kaldırılırken bu kaldırılan talaş kesme şartlarına bağlı olarak değişik şekillerde oluşur. Bu talaş şekilleri iş parçası ve kesici takım malzemesine ve kesici takım geometrisine bağlıdır. Bu talaş şekilleri sürekli talaş, sürekli BUE ve kesikli talaş şeklinde olmaktadır. Şekil 3.10'da talaş şekilleri görülmektedir. Sürekli talaş sünek malzemelerde oluşur. Yüksek şekil değiştirme yetenekli malzemelerde talaş düz olarak akarken (akıcı talaş), yeteneğin azalmasına paralel olarak talaş yüzeyi katmerleşmeye veya segmentleşmeye (dilimlenmeye) başlar ve kalıcı, periyodik pürüzsüzlük gösterir. Sürekli talaş, oluşumundaki yüksek gerilme nedeni ile soğur, sertleşir ve yüksek sertlik değerlerine erişerek kesici takımın aşınmasına katkıda bulunur. Süreksiz talaş ise, kırılgan malzemelerin işlenmesinde kayma bölgesinde, kesme koşullarının neden olduğu yüklemde oluşan çatlak ilerleyerek küçük parçacıkların kopmasına neden olur (Şekil 3.10-c).



Şekil 3.10. Talaş tipleri [38].

a) Sürekli talaş b) Sürekli yığılma ağızlı talaş c) Kesikli talaş

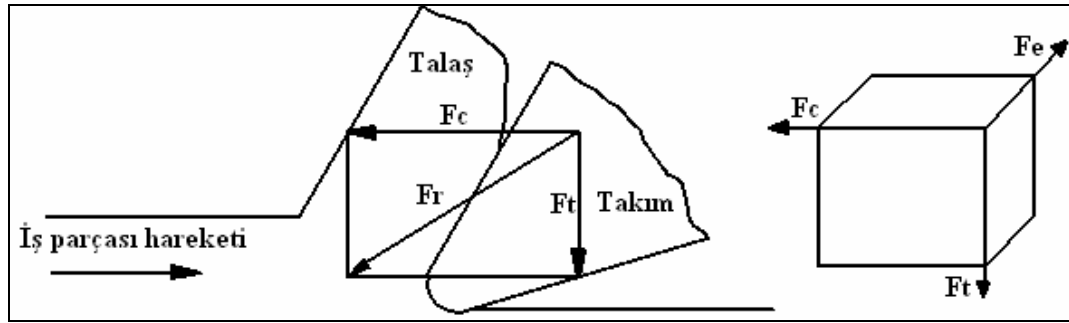
Kesici takımın boşluk açısı da önemli geometrik bir parametredir. Çünkü boşluk açısının az olması iş parçası yüzeyine sürterek hem yüzeyin kalitesini etkiler hem de dalgalı yüzeyde kesici takımın arka kısmı yüzey tepelerine temas ederek kuvvet değişimlerine neden olur. Bu kuvvet değişimleri kesici takımda titreşime neden olur. Kesme işleminde özellikle ilerleme ve talaş kalınlığının talaşın boyutları ve şekli üzerine doğrudan etkisi vardır. Yaklaşma açısı talaşın uzunluğunu genişliğini ve akış yönünü belirlemede büyük rol sahibidir. Kesici takım uç yarıçapının talaş kalınlığı üzerinde etkisi de büyüktür. Kesme işleminde oluşan talaşın boyut ve şekil değişikliği kesme kuvvetlerinde değişiklik yapmaktadır. Kesme kuvvetlerindeki değişiklikte kesici takımda titreşim olarak kendini gösterir.

3.5.3. Titreşime neden olan kesme kuvvetleri ve diğer nedenler

Talaş kaldırma esnasında oluşan kesme kuvvetleri, kesme işlemi performansını, üretilen parçanın kalitesini, kesici takımın aşınmasını ve üretim maliyetini etkilemektedir. Talaş kaldırmak için uygulanan bu kuvvetler tezgaha güç veren motorun çeşitli devirlerde ve kademelerde gücünü kesici takım – iş parçası çiftine iletmesi ile performansını açıklar. Kesici takım üzerine etki eden bu kesme kuvvetleri talaş kaldırma işleminin en önemli aşamasından birini oluşturur. Yıllardır kesme kuvvetlerinin etkileri üzerine araştırmalar yapılmış olup halen kesme kuvvetlerinin etkileri üzerine araştırmalar devam etmektedir.

Kesici takımın ilerleme hızı, kesicinin açıları ve kesme hızı kesme kuvvetlerini etkilediğinden bu kuvvetlerin bilinmesi tezgah tasarımında önemli rol oynar. Bu kesme kuvvetlerini dinamometreler yardımı ile ölçülür. Bu dinamometrelertakım tutucu elamanların yer değiştirme miktarlarını dikkate alarak ölçme yaparlar.

Dik kesme işleminde, takım tarafından talaşa uygulanan bileşke kuvveti F_r , takımın kesici kenarına normal olan yüzeyi içinde uygulanır (Şekil 3.11). Bu kuvvet genellikle deneysel olarak iki dik bileşenlerin ölçümünden elde edilir. Bunlardan biri kesme yönündeki kuvvet (F_c), diğeri ise kesme yönüne dik olan kuvvettir (F_t) [39].



Şekil 3.11. Bileşke kesme kuvvetinin F_c ve F_t bileşenleri [38].

Talaş kaldırma işlemi karmaşık bir yapıya sahiptir. Talaş kaldırma işlemini gerçekleştiren kesme kuvvetleri bir çok nedenden dolayı işlem boyunca değişime uğrar. Bunlar kesici takım geometrisi, kesme parametreleri ve tezgahın yapısından kaynaklanan nedenlerden dolayı olabilir. Talaş kaldırma esnasında kesme kuvvetlerinin değişime uğramadan aynı değerde kesme yapması arzu edilir. Çünkü kesme kuvvetlerindeki değişimin kesici takımda titreşime neden olduğu bilinmektedir. Tornalama esnasında kesici takımın geometrisi, kesme parametreleri, iş parçası malzeme yapısı, talaş oluşumu, tezgahın rijitliği ve kesici bağlama şekli gibi bir çok nedenden dolayı titreşim oluşabilir.

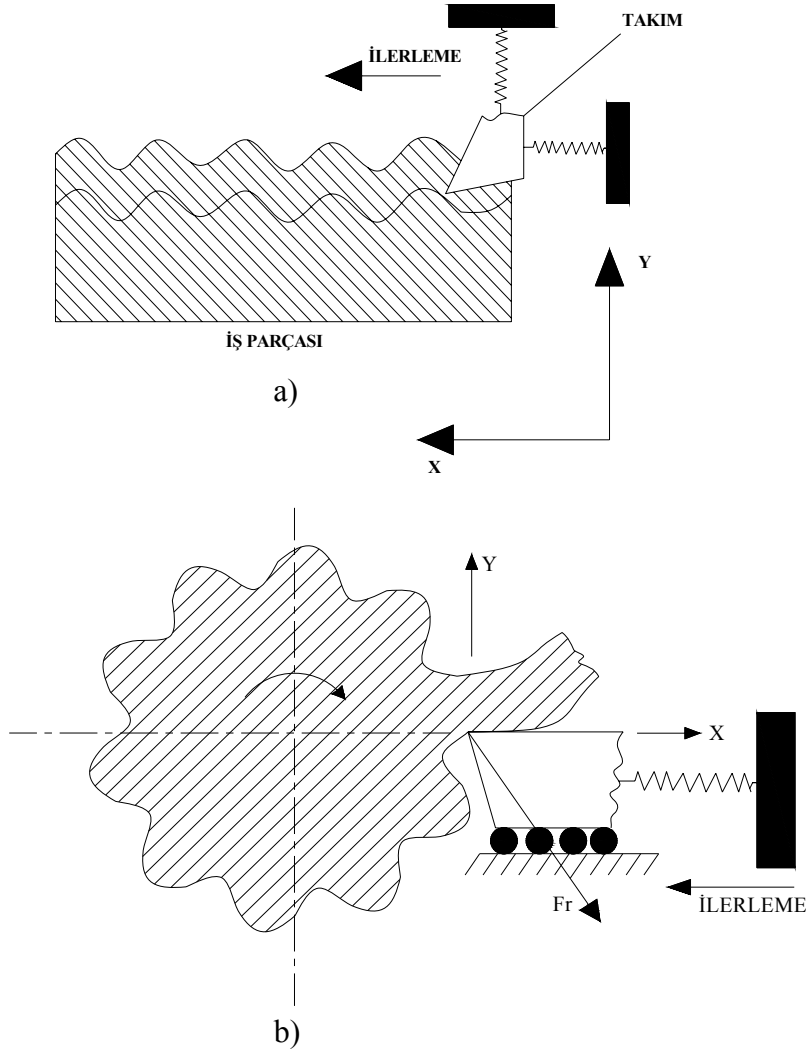
Titreşim eğilimi kesme kuvvetlerinin bir sonucudur. Titreşim, kesici takım veya iş parçasının yer değiştirmesinden kaynaklanabileceği gibi çalışma şartlarındaki değişimlere bağlı olarak kesme işlemindeki değişikliklerden ve malzeme şartlarında

Kesme işlemi sırasında oluşan titreşim dört gruba ayrılabilir:

- i-* Bazı darbe ve şoklarla başlayan titreşimler: Bu titreşimler takım tezgahının yüksek sönümleme özelliğinden dolayı sönümlendirilir.
- ii-* Takım tezgahı kızaklarındaki kaçıklar, eksen kaçıklıkları, iş parçasının yanlış bağlanması gibi sebeplerden dolayı periyodik olarak oluşan titreşimler: Bu titreşim zorlamalı titreşimdir. Takım tezgahını yeniden tasarlamak ve iş parçasını düzgün bağlamak bu titreşimleri ortadan kaldırabilir veya en aza indirgeyebilir.
- iii-* Kesme işlemindeki BUE oluşumu sebebiyle oluşan titreşimler, kesik talaş oluşumu sonucu oluşan periyodik zorlamalı titreşimler: İşlenecek parçaya uygun kesme parametreleri ve kesici takım seçilmesi titreşimi minimum seviyeye indirgeyebilir.
- iv-* Kendiliğinden tahrikli titreşimler: Kesici takım bir önceki pasoda oluşturduğu dalgalı yüzeyden talaş kaldırırken takımın aşağı-yukarı yani boşluğa ve tepeye inip-çıkması bu titreşimi oluşturur (Şekil 3.13.).

Kesme işlemi sırasında kesme kuvvetlerinin değişimi takım titreşimini oluşturur. Bu kuvvetler doğrusal olmayıp devamlı değişim gösterirler. Takım titreşiminde kesme kuvvetleri değişimi kapalı bir döngüdür [38].

Tornalama işleminde kesici takımın ve takım tutucunun titreşimine kesme kuvvetleri etki etmektedir. Bu kuvvetlerin büyüklüğü ve periyodik olarak uygulanması titreşimin en büyük nedenidir. Bir başka titreşim nedeni de kesici takımın işlem esnasında uç kısmında oluşan BUE oluşumudur. Bu yığılma talaşın sürtünmeden ve yığılma miktarının değişiminden de kesme kuvvetlerinde değişim olması titreşime neden olur.



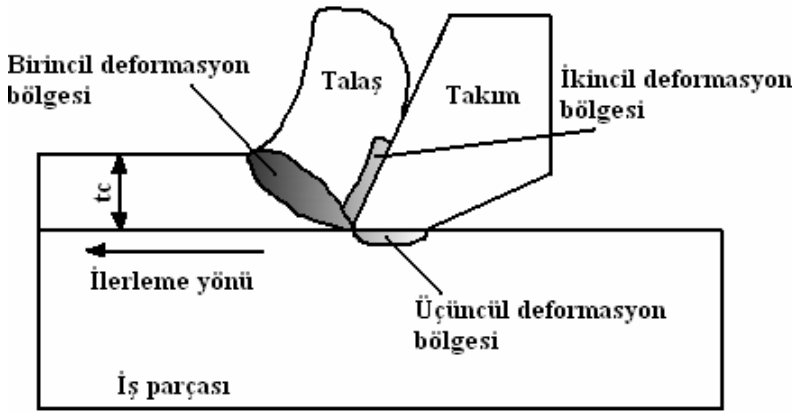
Şekil 3.13. Kendiliğinden tahrikli titreşimler [38].

- a) Bir önceki pasodan sonra ilerleme yönünde oluşan titreşim
- b) Bir önceki pasodan sonra radyal yönde oluşan titreşim

Tornalama işleminde kesici takımın ve takım tutucunun titreşimine kesme kuvvetleri etki etmektedir. Bu kuvvetlerin büyüklüğü ve periyodik olarak uygulanması titreşimin en büyük nedenidir. Bir başka titreşim nedeni de kesici takımının işlem esnasında uç kısmında oluşan BUE oluşumudur. Bu yığılma talaşın sürtünmeden ve yığılma miktarının değişiminden de kesme kuvvetlerinde değişim olması titreşime neden olur.

Talaş kaldırma işleminde kesici takımı etkileyen unsurlardan biri de, iş parçası ile kesici takım arasındaki sürtünmeyle oluşan ısıнын kesici takımı olumsuz

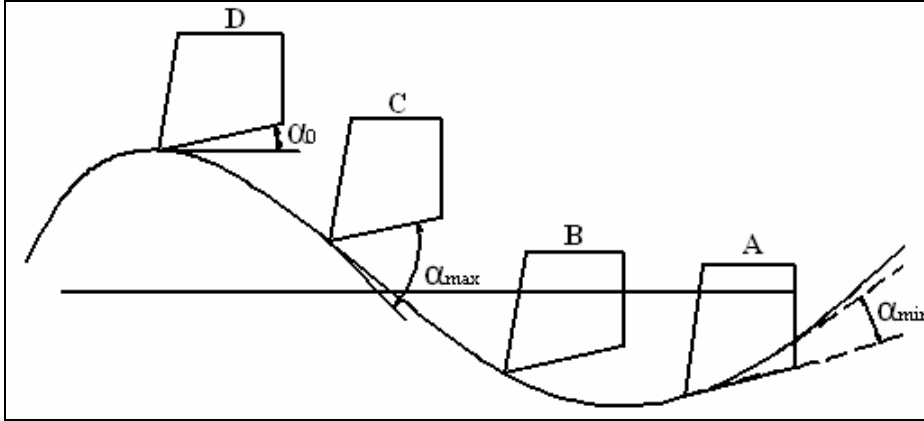
etkilemesidir. Kesici takım ile iş parçası arasında oluşan bu deformasyon bölgeleri kesme işleminin geometrisini, talaş oluşumunu ve takım aşınmasını etkiler. Şekil 3.15’de bu deformasyon bölgeleri gösterilmiştir. Bu olaylar esnasında oluşan sürtünmeden dolayı, kesme kuvvetlerinde değişiklikler meydana gelir. Kesme işlemi esnasında kesme kuvvetlerindeki değişim de titreşime neden olur.



Şekil 3.14. Deformasyon bölgeleri [38].

Kesme işlemi esnasında kesici takımın boşluk açısı da önemlidir. Boşluk açısının düşük olduğu durumlarda kesici takım dalgalı yüzeyde çukur bölgelere girerken kesici ucun malzemeye dalmasına engel olabilir. Bunun için boşluk açısı uygun seçilmelidir. Aksi halde kesici takım kesme işlemi yapamayacak sadece sürtünme oluşacaktır. Bu durum kesme kuvvetlerinde değişikliğe neden olur (Şekil 3.16). Kesme kuvvetlerinde meydana gelen bu değişiklik kesici takımda titreşim oluşturur.

Kesme kuvvetlerini etkileyen nedenlerden birisi de takım tutucunun uzunluğudur. Eğer kesici takım boyu gerekenden uzun olursa kesici takıma uygulanan kuvvet oranındaki değişimler, takım tutucuda moment değişimi meydana getirerek titreşim sönümlenme olayını geciktirebilir.



Şekil 3.15. Kesme işleminde boşluk açısı değişimleri [34].

Ayrıca kesici takımın takım tutucuya montajı da önemlidir. Çünkü rijit bir şekilde bağlantı yapılmamışsa kesici takım tutucusu ile kesici takım arasındaki boşluktan veya gevşemeden dolayı titreşim oluşabilir.

Kesme işlemi esnasında kesme kuvvetlerini etkileyen unsurlardan birisi de kesici takımın uç yarıçaplarıdır. Kesme işleminde kesici uç yarıçapı hem iş parçası yüzey kalitesi hem de kesme kuvvetlerini etkiler. Uç yarıçapının büyük olması kesme yüzeyinin geniş olması anlamına geldiğinden bu daha fazla kesme kuvveti ve sürtünme demektir. Ayrıca kesme işleminde kesici uç yarıçapı iş parçası üzerinde yarıçapı genişliğinde dalga izleri bırakır. İş parçasının yüzeyinde oluşan bu büyük dalgalarda titreşime neden olmaktadır [39].

4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

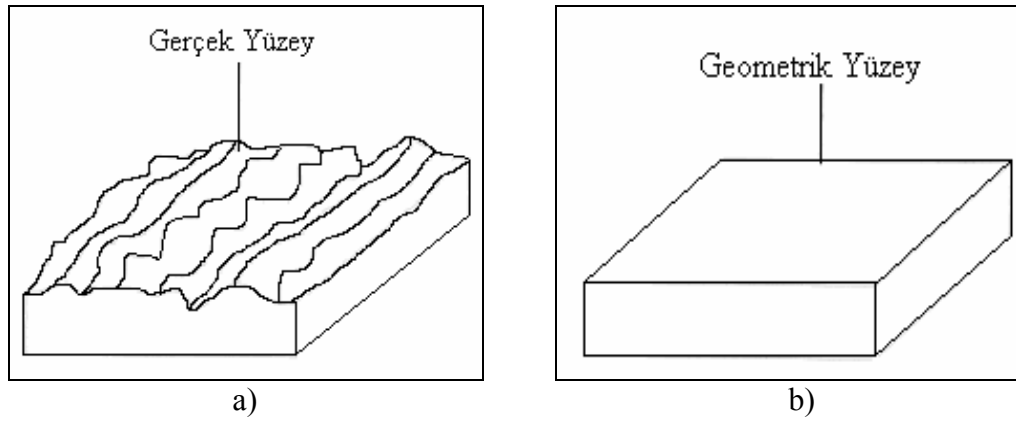
4.1. Yüzey Yapısının Özellikleri

Talaş kaldırma işleminin amacı, parçalara şekil vermenin yanında bunların geometri, boyut ve yüzey bakımından yapım resimlerinde gösterilen toleranslar dahilinde imal etmektir. Günümüzde seri üretime geçilmesi ile birlikte standart ürünler üretmek şart olmuştur. Bu standart ürünlerin üretilmesinde ölçü tamlıklarının yanında yüzey kalitesi de öne çıkan etkenlerden birisidir. Malzeme bilimi, yüzey kalitesini iyileştirmek için yeni malzeme arayışlarının sürdürmektedir. Yüzey kalitesini iyileştirmek için yalnızca malzeme alanında gelişmeler olmamaktadır. Kesici takım malzemesi, geometrisi, takım tezgahı, takım tutucu, soğutma sıvısı ve işleme şekli gibi pek çok alanda gelişmeler olmaktadır.

Üretilen üründe yüzey yapısı, bitirilmiş yüzey, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey karakteristik terimleri sınıflandırmalar ve semboller tasarımcıların, teknikerlerin ve diğer çalışanların iletişim kurmasına imkan vermektedir. Kısmi özellikleri verilen bir yüzeyin yapımı için belirlenen özelliklerin doğru olarak yorumlanmasını sağlar [40].

Modern talaş kaldırma yöntemlerinde boyutsal tamlılığın yanında yüzey kalitesi de önemli bir unsurdur. Birbirleriyle çalışan yüzeylerin kalitesi bu parçaların aşınmasında önemli bir etkindir. Standartlara göre, bir nesne bir yüzey tarafından sınırlanır ve bu yüzeyin nesneyi başka bir yüzeyden, alandan veya maddeden ayırmasına gerçek yüzey adı verilir ve geometrik bakımdan mükemmel yüzey olarak düşünülür. Gerçek yüzey, cismi sınırlayan ve çevresindeki ortamdan ayıran yüzeydir (Şekil 4.1). Yüzey yapısı, sapmaları ifade eder. Sapmalar tekrarlı veya rasgele olabilir. Geometrik bakımdan mükemmel yüzey olarak düşünülen yüzeye geometrik yüzey adı verilir. Projelerde veya diğer teknik belgelerde anma biçimi olarak tarif edilen ideal yüzeydir (Şekil 4.2) [40].

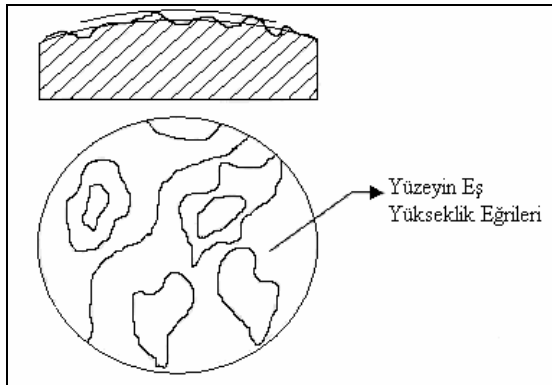
Yüzey pürüzlülüğü, kullanılan imalat metotlarıyla ve başka etkilerle ortaya çıkan mutlak tarzda genellikle başka düzensizliklerle sınırlanan oldukça küçük aralıklı yüzey düzensizlikleridir. En uygun takım geometrisi ve kesme hızı ile sağlanabilen en iyi yüzey pürüzlülüğü ideal yüzey pürüzlülüğünü verir. Kesici takımda BUE oluşumu, titreşim ve takımın hatalı bağlanması gibi etkenler azaltılırsa ideal yüzey pürüzlülüğü sağlanabilir [41].



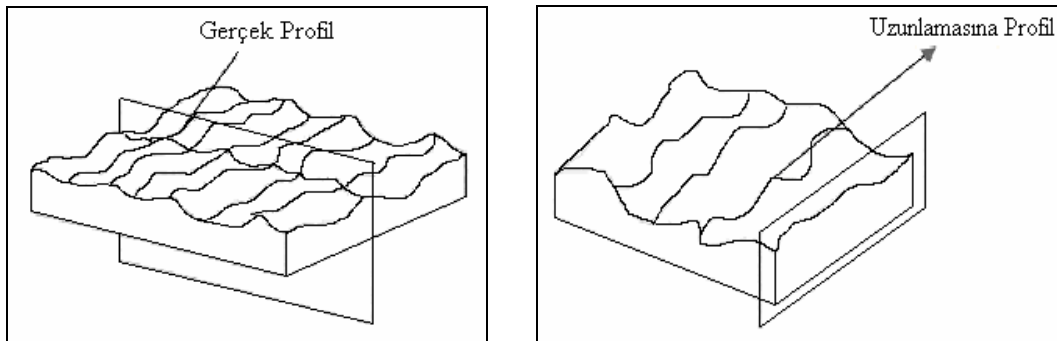
Şekil 4.1. Yüzey Şekilleri [40].

a) Gerçek Yüzey b) Geometrik Yüzey

Gerçek yüzeyin eş aralıklı kesitle meydana getirdiği ara kesitlere yüzeyin eş yükseklik eğrileri denir (Şekil 4.3.). Gerçek profil, bir düzlem ile pürüzlü bir yüzeyin meydana getirdiği ara kesit çizgisidir (Şekil 4.4.). Aperiyojik (uzunlamasına) profil ise rasgele bir fonksiyonla ifade edilebilen periyodik olmayan profiller olup taşlama veya kumlama gibi imalat yöntemi ile elde edilen profildir (Şekil 4.5) [43].



Şekil 4.2. Yüzeyin eş yükseklik eğrileri [40].



Şekil 4.3. Yüzey profil şekilleri [40].

a) Gerçek profil b) Aperiodyik profil

4.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Önemli Olduğu Durumlar

Yüzey pürüzlülüğü bir çok alanda önemli bir parametredir. Bunların bazıları;

- Sürtünmeli yataklar,
- Korozyon ortamında çalışan parçalar,
- Yuvarlanmalı yataklar,
- Boyanmış ve kaplanmış yüzeyler,
- Sızdırmazlık yüzeyleri,
- Plastik enjeksiyon kalıp yüzeyleri,
- Masterlar vb [41].

4.3. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler

Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler;

- Kesici takımdaki titreşimler,
- Kesici takım geometrisi,
- İşlenen iş parçasında medyana gelen titreşim ve balans,
- İlerleme miktarı,
- Kesme hızı,
- Talaş derinliği,
- Kesici uçun üzerine talaşın yapışması (BUE),
- İşlenen malzemenin süreksiz talaş vermesi,

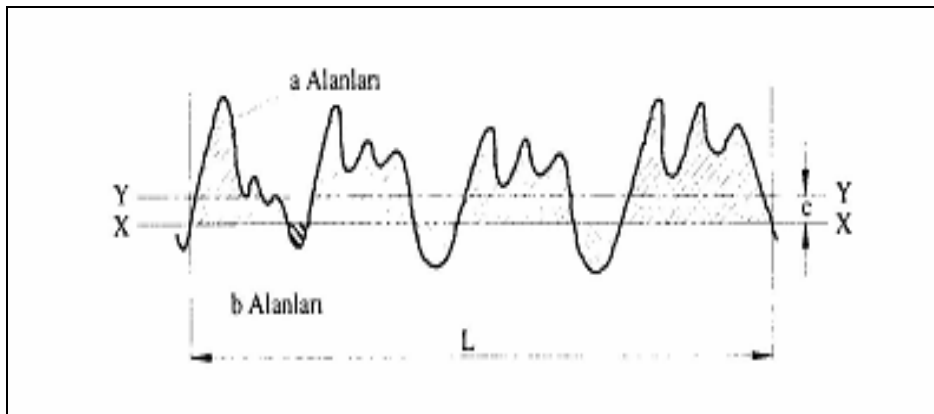
- Bir önceki yüzey kalitesi, şeklinde sıralanabilir [34,42].

4.4. Yüzey Kalitesinin Sayısal Olarak Değerlendirilmesi

Yüzey kalitesi ölçme problemlerini en aza indirmek için ölçülecek yüzeyi üç boyuttan iki boyuta indirgeyerek ve grafiksel ortalamalarıyla sonuca gitmek mümkün olmasına rağmen yüzey kalitesini bu yöntemle pratik olarak ölçmek pek sağlıklı değildir. Bu nedenle grafik metodunu yorumlamak pek kolay olmadığından otoriteler tarafından yüzey kalitesinin sayısal olarak değerlendirilmesinin daha sağlıklı olacağı belirtilmiştir. Yüzey kalitesinin sayısal olarak değerlendirilmesinde genellikle ortalama çizgi ve zarf sistemi olarak bilinen yöntemler kullanılır.

4.4.1 Ortalama çizgi (M) sistemi

Ortalama çizgide elde edilen geometrik profili tasdik eden bir çizgi olarak tanımlanabilir. Bu ortalama çizgi öyle bir yere yerleştirilmiştir ki, bu çizgi ile profil arasındaki ordinatlarının karelerinin toplamı minimum olmalıdır. Dolayısıyla ortalama veya merkez çizgisi pratikte profilin genel yönüne paralel bir çizgi olarak belirlenebilir ve bu çizginin altında ve üstündeki profili oluşturan alanlar (a ve b) birbirine eşittir.



Şekil 4.4. Ortalama çizgi konumunun belirlenmesi [43].

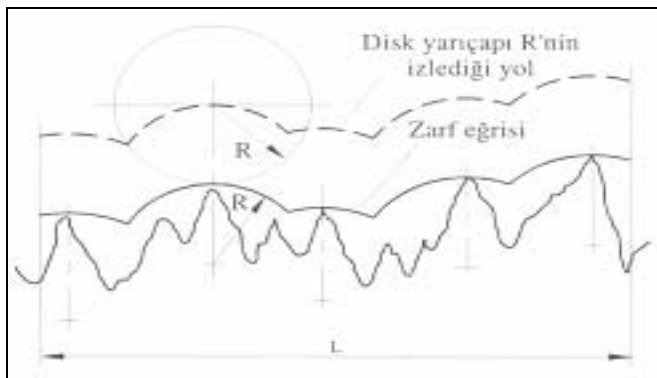
Verilmiş olan bir profil için ortalama çizginin konumu, aşağıda açıklanan yöntemle belirlenebilir. Şekil.4.6'da gösterildiği gibi bir XX doğrusu çizilir. Bu çizgi uygun örnekleme uzunluğu (L)'nin üzerindeki profilin genel yönüne paraleldir. Bir planimetre veya ordinat metodu kullanılarak a ve b alanları ölçülür. Sonra XX ve istenen ortalama çizgi YY arasındaki c mesafesi aşağıdaki eşitlikle belirlenir [34].

$$c = \frac{\sum \text{Alan (a)} - \sum \text{Alan (b)}}{L} \quad (4.1)$$

4.4.2. Zarf sistemi (E)

Zarf sistemi, izlere karşı yuvarlanan bir dairenin yarıçapı tarafından üretilen bir çizgi esasına dayanır. Daire merkezinin hareketinden oluşturulan bu eğri R mesafesi tarafından düşey olarak yerleştirilmiştir. Bu çizgi yüzeyin üzerinde yer alır. Şekil 4.7'de gösterildiği gibi zarf eğrisi, ideal geometrik profile dik açılardan en yüksek profile doğru çizilen ordinatlar tarafından oluşturulur.

Yarıçap R 'nin dairesel yayları ordinatlar üzerindeki merkezleriyle birlikte tepelere doğru çizilerek zarf eğrisini oluşturur. Bu eğrinin oluşumu yüzey kalitesinin grafik çıktısının dikey ve yatay eksenlerde aynı oranda büyütüldüğünü kabul eder. Dikey büyümelerin yataydaki büyümelerden dikkati çekecek kadar fazla olması ve dairesel yayların bozularak eliptik şekil alması olağandır.



Şekil 4.5. Zarf eğrisinin elde edilişi [44].

4.5. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Teknikleri

Optik metot: Bir yüzey üzerine yansıtılan ışının geliş açısı ile yansıma açısı aynı olacaktır. Pürüzlü yüzeylerde ışının dağılımı optik sensörlerle ölçülerek yüzey pürüzlülüğü ölçülmektedir.

Temas metodu: Yüzey üzerinde dolaştırılan bir probun sürtünme katsayısı bilinen bir yüzeye göre elde edilen neticelerinin karşılaştırılması esasına dayanır. Mekanik metot: Çelik bilye kullanılarak minimum 500 gram ağırlığın yüzeyde; yüzeyin içine doğru 1 mikronluk yer değiştirmesi ile yapılan yüzey pürüzlülüğünün ölçme tekniğidir.

X ışını metodu: Mikroskop altında yüzey düzensizliklerinde küçük açılarla gönderilen X ışınları ile 0,00254-0,0508 μm arasındaki pürüzlük değerleri ölçülebilir.

Elektron mikroskobu metodu: Elektron mikroskobu en küçük düzensizlikleri ölçme gücüne sahip olmasına rağmen ölçme boyutunun küçük tutulması zorunluluğu ve görüntünün kopyalanması gibi sorunlar bu metodu sınırlamaktadır.

Hidrolik metot: Belli eğim ve uzunluktaki bir düzlemde ve belli hacimde yağ damlasının akış süresi ile pürüzlülük değeri arasında kurulan bir ilişki ile pürüzlülük değeri ölçülmesi esasına dayanır.

Yüzey dinamometresi metodu: İki yüzey arasındaki sürtünme katsayısı, parçaların pürüzlülük değerine bağlıdır. İki parça birbiri üzerinde kaydırılarak ve uygulanan kuvvet dinamometre ile ölçülerek pürüzlülük hakkında bilgi edinilebilir.

Replika metodu: Parça üzerindeki konumu nedeniyle ölçüm yapılacak yüzeye erişilemediği durumlarda yüzeye selüloz - asetat filmi, asetonla yumuşatılarak sertleşene kadar temizlenmiş yüzeye bastırılırsa elde edilen maske yüzey karakteri hakkında % 80 oranında bilgi verir.

İzleyici uçlu cihazlar: Çok sivri bir izleyici ucun parça üzerinde değerlendirme uzunluğu boyunca hareket ettirilmesi ve hareket esnasında oluşan titreşimlerin büyütülerek hareketli bir şerit üzerine aktarılması veya elektronik cihazlar yardımıyla yorumlanması esasına dayanır. İzleyici ucun inceliği ölçüm esnasında doğruluk

açısından önem arz ettiğinden 0,00004 mm çapında iğneler kullanılmaktadır. Kullanımı en kolay ve ideal bir ölçüm sistemidir [41].

Elektro fiber optik metot: Yüzey pürüzlüğü ölçülecek malzeme X,Y yönünde hareket edebilen tablaya bağlanarak yatay konuma getirilir. Fiber optik algılayıcı ile parça yüzeyine dik olarak ışın gönderilir. Parça yüzeyinin pürüzlülüğüne göre dağılan ışınlar fiber optik algılayıcılara bağlanmış foto algılayıcılarla yorumlanarak pürüzlülük değeri bulunur [45].

5. MALZEME VE METOT

5.1. Deneysel Çalışmalar

5.1.1. Deney numuneleri

İş parçası malzemesi olarak imalat sanayisinde geniş kullanım alanı olan AISI 1050 (DIN 1.1210) karbon çeliği kullanılmıştır. Bu malzemenin spektral analizi KOSGEB malzeme laboratuvarında yapılarak kimyasal kompozisyon belirlenmiş ve sonucu Çizelge 5.1’de verilmiştir. Ham deney malzemesi Ø40x250 mm boyutlarındadır. Malzemenin yüzeyi, dış yüzey tabaka sertleşmesi ihtimaline karşılık 0,5 mm talaş derinliğinde geleneksel torna tezgahında silindirik tornalama işlemine tabi tutulup dış yüzeydeki olumsuzluklar giderilmiştir. Son olarak, deney malzemesinin tek tarafına punta deliği açılmış ve böylece deney numuneleri, kesme kuvveti ölçme deneyleri için hazır hale gelmiştir.

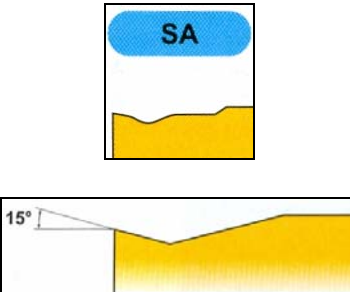
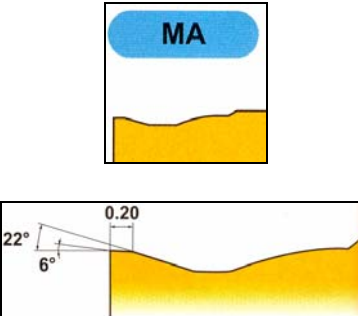
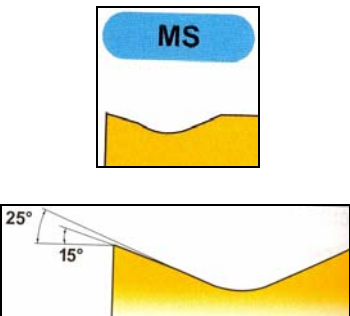
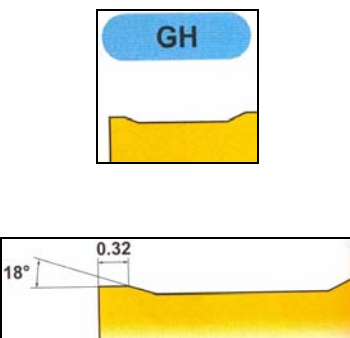
Çizelge 5.1. Deney numunelerinin kimyasal bileşimi

C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr
0,430	0,212	0,730	0,0197	0,0390	0,0776
%Mo	%Ni	%Al	%Co	%Cu	%Fe
0,00752	0,0972	0,0110	0,00603	0,297	98,06

5.1.2. Kesici takımlar ve takım tutucu

ISO 3685’te belirtilen deney şartlarına uygun olarak 75° yanaşma açısına sahip SNMG 120408 R formunda sementit karbür kesici takımlar ile buna uygun PSBN 252512 formunda takım tutucu kullanılmıştır. Deneylerde Mitsubishi firmasının üretimi olan SA, MA, MS, GH kodlu değişik talaş kırma formuna sahip kaplamalı kesici takımlar kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kesici takımlar ve özellikleri Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Kesici takımların özellikleri ve kullanma alanları [30].

Talaş Kırıcı Formu	Açıklama	Kullanılan Uç
	Genel Çelik ve Alaşımli Çeliklerin İnce İşlenmesinde -Çift taraflı talaş kırıcıdır. -Küçük kesme derinliklerinde üst düzey talaş kontrolü, kopyalama ve arka yüzey tornalama işlemlerini de kapsar.	SNMG-SA 
	Genel Çelik ve Alaşımli Çeliklerin Orta İşlenmesinde -Çift taraflı talaş kırıcıdır. -Pozitif düzlük , keskin kesme etkisi sağlar.	SNMG-MA 
	Paslanmaz ve Yumuşak Çeliklerin Orta İşlenmesinde -Çift taraflı talaş kırıcıdır. -Keskin kenar, yüksek performans sağlar.	SNMG-MS 
	Genel Çelik ve Alaşımli Çeliklerin Orta-Kaba İşlenmesinde -Çift taraflı talaş kırıcıdır. - Kesikli işleme ve büyük hacimde talaş kaldırmaya müsaade eder. -Geniş düzlük ve geniş talaş cebi kombinasyonu, yüksek ilerleme değerlerine müsaade eder.	SNMG-GH 

Çizelge 5.3. Kesici takımın özellikleri

Kalite		Sertlik (HRA)	Burulma Direnci (GPa)	Kaplama
Mitsubishi	ISO			
UC6010	P10-P20	90,5	2,0	Üç Katlı TiCN Al ₂ O ₃ -TiN

5.2. Takım Tezgahı

Deneylerde kullanılan numune iş parçaları Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makina Eğitimi Bölümü, Talaşlı Üretim Anabilim Dalı CNC Atelyesinde bulunan FANUC kontrol ünitesine sahip “Johnford TC-35” sanayi tipi CNC torna tezgahında işlenmiştir. CNC torna tezgahının gücü 10 KW olup, tezgah iş mili değişken kademesiz hıza sahiptir ve 3500 rev/min’e kadar çıkabilmektedir.

5.3. Ölçme Cihazları

5.3.1. Titreşim ölçme cihazı

Deneylerde Commtest VB 300 Titreşim analiz cihazı (spektrum Analizörü) kullanılmıştır. Cihazla ölçüm almadan önce deney kodu cihaza kaydedilip, kesme işlemi anında deney koduna göre titreşim RMS seviyesi ölçüm değeri alınmıştır. Titreşim cihazının teknik özellikleri Çizelge 5.4’te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Commtest VB 300 titreşim cihazının teknik özellikleri

Frekans ölçüm aralığı	1-20000 Hz
Seviyeleri karşılaştırma biçimi	ISO2372-ISO10816’e göre otomatik
Faz ölçüm analizleri	Spektrum, zaman düzlemi, demodulation, yörünge ve sınır çizme, capraz kanal
Test türleri	Vurma testi, Run-up/Coast Down test, zaman senkronize ortalama

Titreşim sensörü (ivmemetre) 25 mm taşma uzunluğu olan takım tutucunun uç kısmına mıknatıslanmış ve her deney için aynı noktadan kesme yönündeki titreşim ivme seviyeleri alınmıştır. Titreşim tek yönlü ölçülmüştür. Titreşim ivme seviyesi

(RMS) her deneyde ayrı ayrı ölçülmüş ve titreşim sensörü teknik özellikleri Çizelge 5.5’de verilmiştir.

Çizelge 5.5. Titreşim sensörü teknik özellikleri

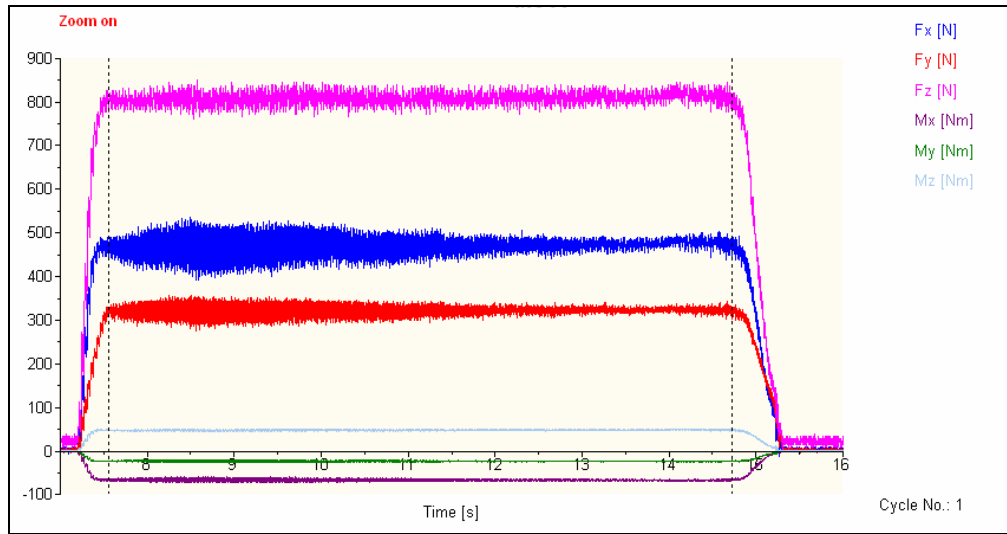
Hassasiyet	100 mV/g
Gövde	Paslanmaz çelik
Frekans ölçüm aralığı	0,5 Hz ile 15 kHz
Dinamik ölçüm aralığı	± 50 g
Kullanım sıcaklık aralığı	-50°C ile 121°C
Bağlantı türü	Konektör bağlantılı

5.3.2. Kuvvet ölçme cihazı

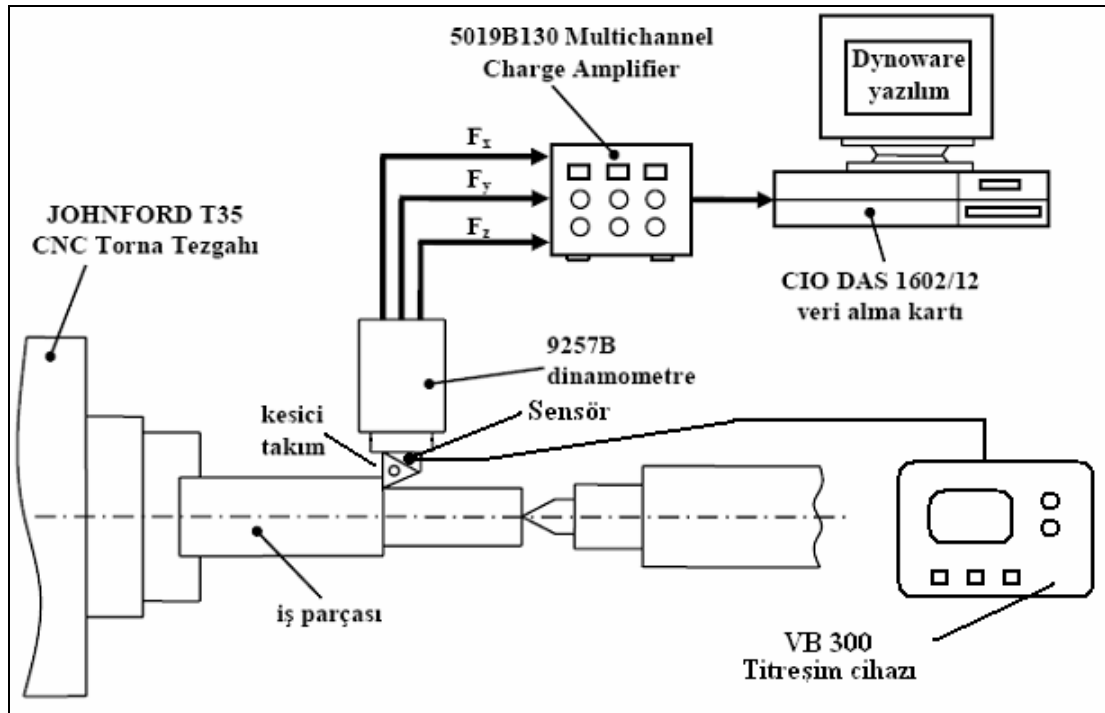
Deneylerde teknik özellikleri Çizelge 5.6’da verilmiş olan KİSTLER 9257B tipi dinamometre kullanılmıştır. Her bir deney için; kesme derinliği sabit, ilerleme ve kesme hızlarında değişiklik yapılarak kesme kuvvetlerinin grafikleri Şekil 5.1’deki gibi elde edilmiştir. Kesme işlemi sonunda kesme kuvvetlerinin kararlı olduğu bölgenin başlangıç ve bitiş değerleri esas alınarak, ortalama F_c , F_a , F_p kuvvetleri belirlenmiştir. Şekil 5.1.’deki örnek grafikte de görülen $F_x = F_a$, $F_y = F_p$, $F_z = F_c$ ’ye karşılık gelen kuvvetleri işaret etmektedir. Dinamometrenin tezgaha bağlantısı ve deney düzeneği şematik olarak Şekil 5.2’de ve Resim 5.1’de görülmektedir.

Çizelge 5.6. Kistler 9257B dinamometrenin teknik özellikleri

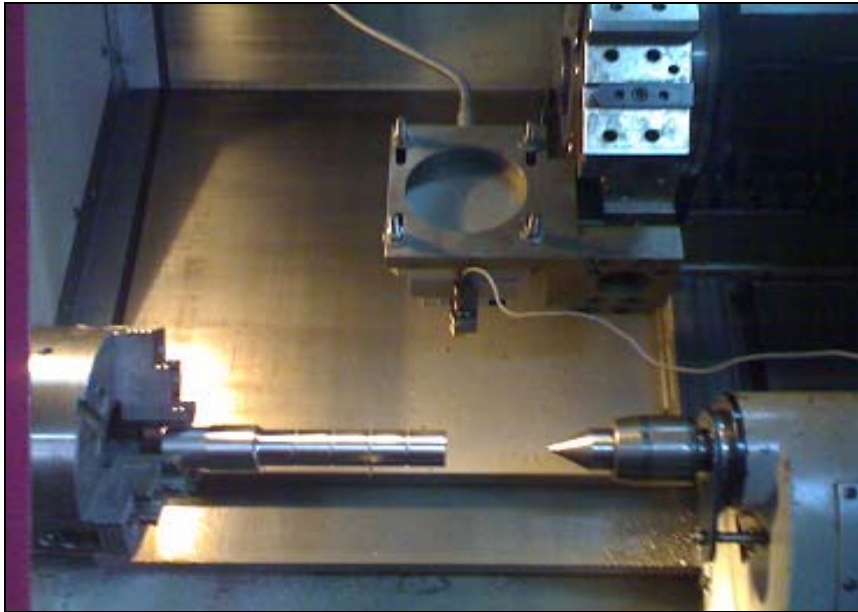
Kuvvet aralığı (kN) (F_x, F_y, F_z)	-5...10
Tepki verme (N)	<0.01
Hassasiyet (pC/N) F_x, F_y	-7,5
F_z	-3,5
Doğrusallık	%1 FSO
Histerezis	%0,5 FSO
Doğal frekans $f_0(x,y,z)$ (kHz)	3,5
Çalışma sıcaklığı (°C)	0...70
Kapasitans (pF)	220
20 °C’deki yalıtım direnci (Ω)	> 1013
Topraklama sınıfı (Ω)	> 108
Koruma sınıfı	IP 67
Ağırlık (kg)	7,3



Şekil 5.1. Kistler 9257B tipi dinomometro ile zaman bağlı ölçülen kesme kuvvetleri



Şekil 5.2. Kesme deneyleri için hazırlanan deney düzeneği



Resim 5.1. Dinamometre ve titreşim sensörünün takım tutucuya bağlantısı

5.3.3. Yüzey pürüzlülük ölçme cihazı

Numunelerin işlenmiş yüzeyleri üzerinde yüzey pürüzlülüğü ölçümleri için “Mahr” marka Perthometer M1 tipi, masa üstü ve yazılı çıktı alınabilen yüzey pürüzlülük ölçme cihazı kullanılmıştır. Çizelge 5.7’de kullanılan yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.7. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri

Model	M1
Tarama hızı	0,5 m/sn
Tarama kuvveti	0,75 mN
İğne uç yarı çapı	2 μ m
Ölçüm aralıkları	100-150 μ m
Profil çözünürlüğü	12 mm
Filtre	Gaussian
Örnekleme uzunluğu (Cut-off length)	0,25 – 0,8 – 2,5 (mm)
Ölçme uzunluğu (L)	1,75 – 5,6 – 17,5 (mm)
Ölçülebilen parametreler	Ra, Rz, Rmax
Dil	Seçilebilir 10 Avrupa, 3 Asya dili
Güç kaynağı	Entegre, NiCd şarj edilebilir pil
Boyutlar	190 x 170 x75 mm
Yaklaşık ağırlık	90 gr

5.4. Deney Değişkenleri

Kesme parametreleri belirlenirken takım üretici firma verileri ve ISO 3685'teki öneriler dikkate alınarak, dört farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme belirlenmiştir. Uç yarıçapı 0,8 mm kesici takım için ISO 3685'in önerdiği uygun talaş derinliği 2,5 mm seçilmiştir. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri Çizelge 5.8'de verilmiştir.

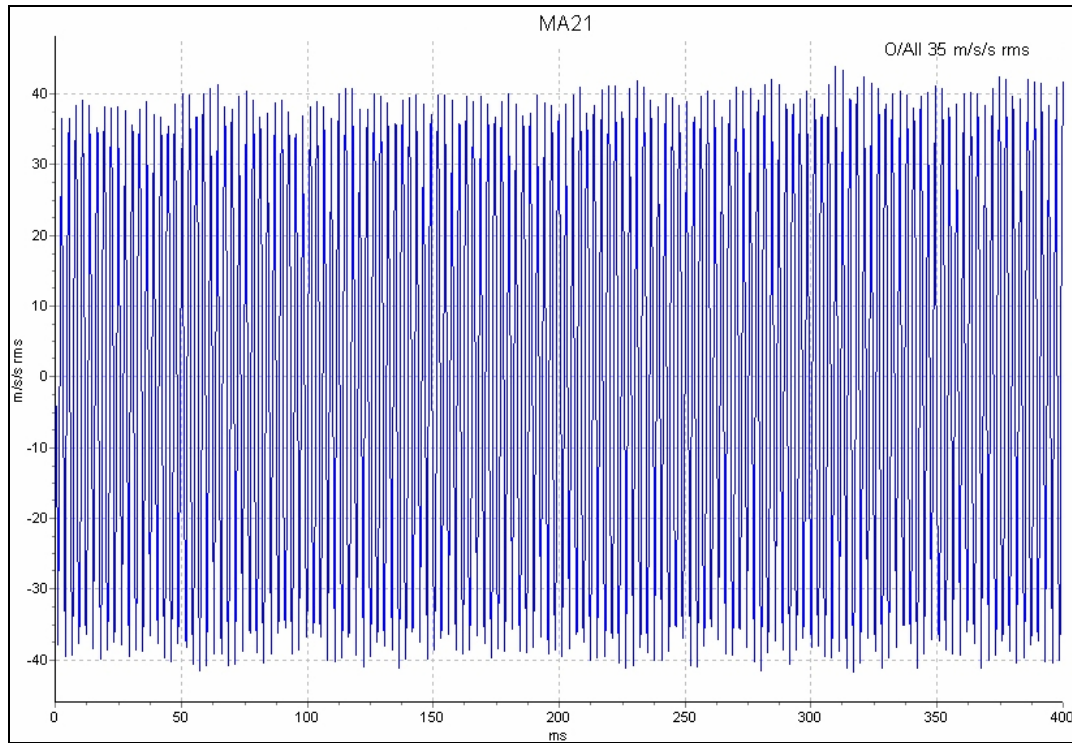
Çizelge 5.8. SA, MA, MS ve GH talaş kırıcı formuna sahip kesici takım için deney değişkenleri

Talaş Derinliği a (mm)	Kesme Hızı V (m/min)	İlerleme f (mm/rev)	Talaş Kırıcı Formuna Bağlı Deney Kodları			
2,5	200	0,15	SA 11	MA 11	MS 11	GH 11
		0,25	SA 12	MA 12	MS 12	GH 12
		0,35	SA 13	MA 13	MS 13	GH 13
	250	0,15	SA 21	MA 21	MS 21	GH 21
		0,25	SA 22	MA 22	MS 22	GH 22
		0,35	SA 23	MA 23	MS 23	GH 23
	300	0,15	SA 31	MA 31	MS 31	GH 31
		0,25	SA 32	MA 32	MS 32	GH 32
		0,35	SA 33	MA 33	MS 33	GH 33
	350	0,15	SA 41	MA 41	MS 41	GH 41
		0,25	SA 42	MA 42	MS 42	GH 42
		0,35	SA 43	MA 43	MS 43	GH 43

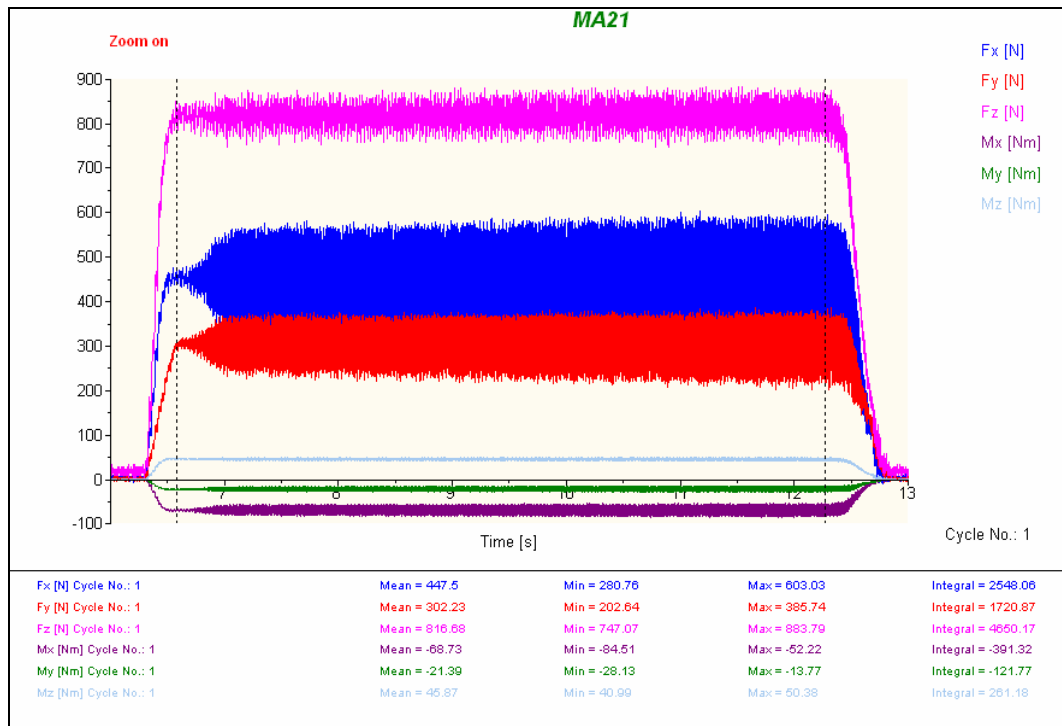
5.5. Deneylerin Yapılışı ve Değerlendirilme Esasları

Bu deneyde kesme parametreleri belirlenirken kesici takım üretici firmasının ve ISO 3685'teki öneriler dikkate alınarak kesme parametreleri belirlenmiştir. Her bir deney

için BSD kodları yazılarak deneyler yapılmıştır. Deney numuneleri üzerinden 50 mm uzunluğunda talaş kaldırılarak işleme süreci içerisinde hem kesme kuvvetleri kaydedilmiş hem de 25 mm taşma uzunluğundaki kesici takım tutucusu üzerinden titreşim değerleri titreşimin ivmesi olarak alınmıştır. Deneylerde dört farklı talaş kırıcı formuna sahip kesici takım kullanılmış olup kesme derinliği sabit tutulmuştur. Her bir kesici formu için dört farklı kesme hızıyla üç farklı ilerleme değerinde 48 adet deney yapılmıştır. Deneylerin tümünde aynı şartları oluşturmak için her deneyde yeni kesici takım kullanılmıştır. Deneylerde $\varnothing 40$ mm x 250 mm boyutlarında ve 50 mm uzunluğunda üzerinde beş adet deney yapılabilecek yüzeyi olan deney numunesi kullanılmıştır. Her bir deney için deney numunesi üzerinden farklı kesme hızlarında ve farklı ilerlemelerde kesme derinliği 2,5 mm olan 50 mm uzunluğunda talaş kaldırılmıştır. Örneğin, tezgah MA 11 kodlu deney için kesme hızı $V_1=200$ m/min, ilerleme $f_1=0.15$ mm/rev ve kesme derinliği $a=2,5$ mm olarak ayarlanıp deneye başlanmıştır. Deneye başladıktan sonra taşma uzunluğu 25 mm olan takım tutucunun uç kısmı üzerine mıknatıslanmış ivme ölçer ile titreşim seviyesi ve aynı zamanda da kesici takım tutucunun monte edildiği dinamometre vasıtasıyla kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Deneyler sırasında dinamometreden alınan kesme parametrelerine örnek olarak MA21 kodlu deneyden elde edilen grafik Şekil 5.4’de gösterilmiştir. Aynı şekilde titreşim ölçerden alınan titreşim ivmesi seviyesi (RMS) örnek ise, yine aynı kodlu deney için, Şekil 5.3’de gösterilmiştir. Daha sonra, deney numunesinin yüzey pürüzlülük değeri yüzey üzerinden üç değişik bölgeden ölçülerek ortalamaları alınmıştır. 48 adet deneyin her biri için yukarıdaki sıra takip edilmiştir. Deneylerden elde edilen kesme kuvvetleri ortalamaları, kesici takımdaki titreşim ivmesi seviyesi (RMS) ve yüzey pürüzlülüğü değerleri grafiklere dönüştürülmüştür. Elde edilen grafikler yorumlanırken, aynı talaş kırıcı formu için dört kesme hızında oluşan RMS seviyesi grafiklerinin eğilimi yine aynı kesici formun iş parçası yüzeyinde oluşturduğu yüzey pürüzlülüğünü gösteren grafiklerdeki eğilimlerle benzerliği karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.3. MA talaş kırıcı formuna sahip kesici takımla kesme sırasında elde edilen Titreşim ivmesi seviyesi (RMS)



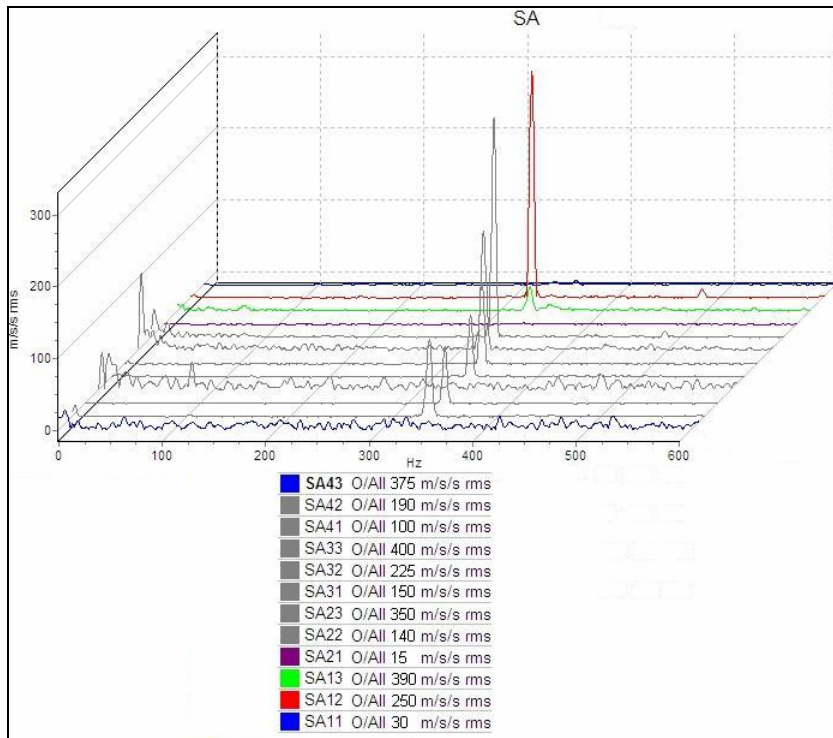
Şekil 5.4. MA talaş kırıcı formuna sahip kesici takımla kesme sırasında elde edilen kesme kuvvetleri

6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

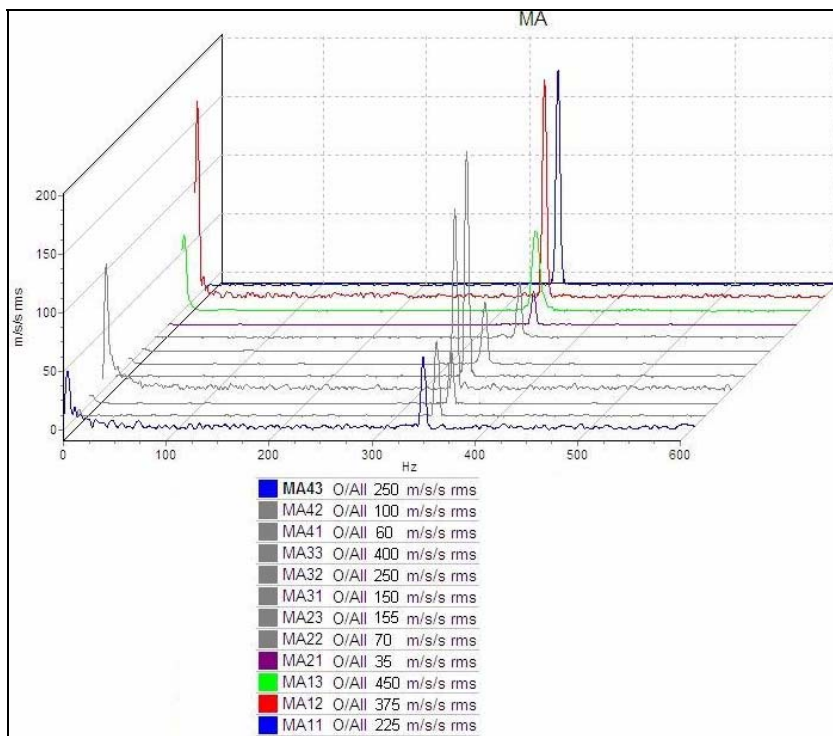
6.1. Değerlendirme Esasları

Üretimde nihai ürünün yüzey kalitesini etkileyen pek çok faktör vardır. İşleme parametrelerinden kesme hızı, ilerleme miktarı ve özellikle kesici takımın uç yarı çapı bunların en önemlileri arasında yer almaktadır [2,6,7,37]. Talaş kaldırma sırasında ortaya çıkan titreşimlerde işlenmiş yüzeyin yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkiye sahiptir [7-10]. Talaşlı imalatta kullanılan takım tezgahlarının kendi mekanik yapılarından kaynaklanan titreşim frekans değerlerinden [11,12] başka kesme parametrelerine bağlı mekanik titreşimler söz konusu olduğu gibi [9,11,12] takım tutucunun geometrisine, bağlantı tipine ve takım bağlama uzunluğuna bağlı olarak bir takım titreşim kaynakları söz konusu olabilmektedir [13-15]. Kontrolsüz bir biçimde karşımıza çıkan bu titreşimler iş parçasının yüzey kalitesini, kesici takımın aşınma davranışını ve kesme kuvvetlerini olumsuz olarak etkilemektedir [15]. Ayrıca kesici takım geometrisinin de titreşim üzerinde, kesici takım-talaş temas uzunluğunu değiştirmek suretiyle etki ettiği düşünülmektedir [37].

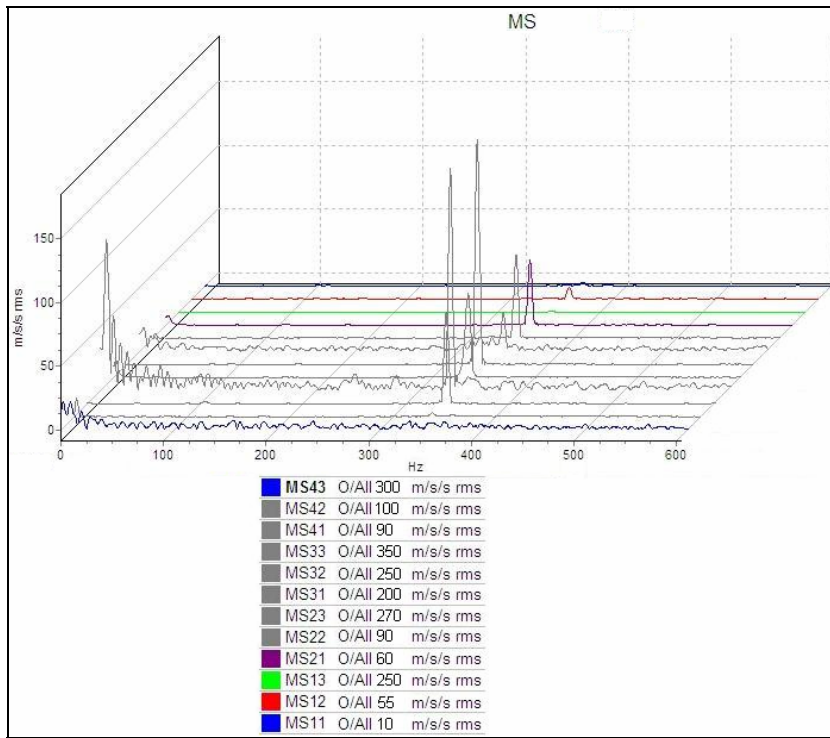
Bu araştırma çerçevesinde yapılan deneysel çalışmalar da, kesici takımın talaş kırıcı formuna bağlı olarak, talaş kaldırma deneyleri sırasında oluşan titreşim ivmesi (RMS) ve frekans (Hz) değerleri Şekil 6.1- Şekil 6.4'deki grafiklerde gösterilmiştir. Bu grafiklerden takım tezgahının değişik faktörlere bağlı olarak oluşturduğu titreşimlere ilave olarak ~350 Hz frekansta RMS değerinin en yüksek seviyeye çıktığı net bir biçimde görülmektedir. Talaş kaldırma sırasında ortaya çıkan ve kesmeye bağlı olarak oluşan titreşimler deneylerin tamamında yaklaşık olarak bu frekansta gerçekleşmiştir. Tüm deneylerde pik noktalarının aynı frekans değerlerinde gerçekleşmesi, kesme işleminin titreşim üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, tüm deneylerde elde edilen kesme titreşiminin maksimum RMS değerlerinin bu frekansta gerçekleşmesi, yapılan deneylerin doğruluğunu ispatlar niteliktedir.



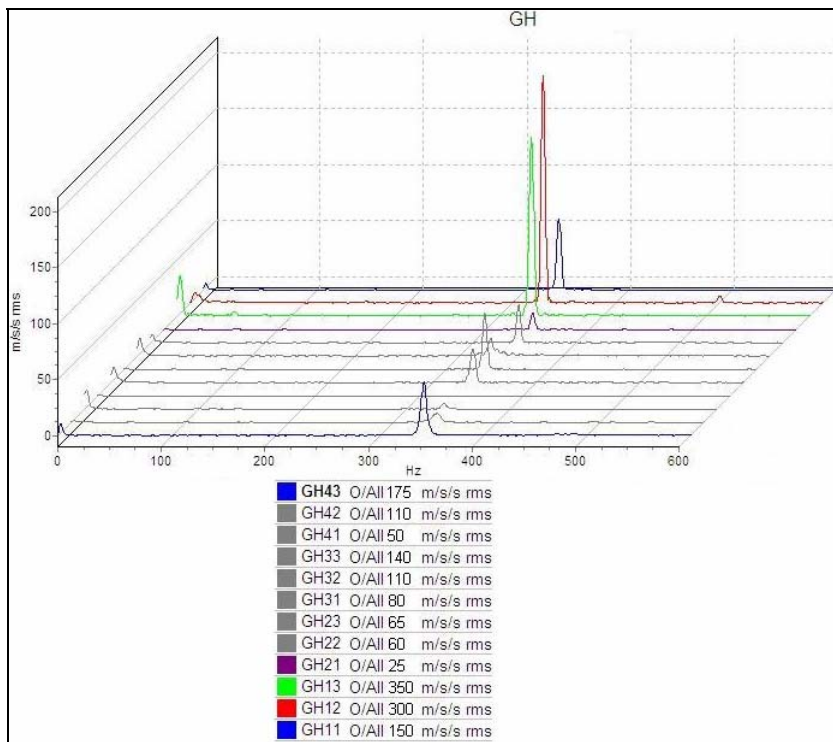
Şekil 6.1. SA tipi talaş kırıcı formuna sahip kesici takımla yapılan deneylerde kesme frekansları



Şekil 6.2 MA tipi talaş kırıcı formuna sahip kesici takımla yapılan deneylerde kesme frekansları



Şekil 6.3 MS tipi talaş kırıcı formuna sahip kesici takımla yapılan deneylerde kesme frekansları



Şekil 6.4 GH tipi talaş kırıcı formuna sahip kesici takımla yapılan deneylerde kesme frekansları

Şekil 6.1- Şekil 6.4'teki grafiklerin doğrulaması ve Bölüm 5.5'de ifade edilen bilgiler ışığında her deneyde elde edilmiş RMS grafiklerinin seviyeleri belirlenerek, bu RMS değerlerinin kesme hızı, ilerleme ve talaş kırıcı formuna bağlı olarak nasıl değiştiği grafiklere aktarılmış ve RMS'ye bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim yorumlanmaya çalışılmıştır.

Ayrıca, talaş kaldırma sırasında ölçülen asıl kesme kuvveti (F_c) değerlerinin kesme parametrelerine bağlı olarak nasıl değiştiğini gösteren grafikler oluşturulmuş ve kesme kuvvetleri ile titreşim arasındaki ilişki de belirlenmeye çalışılmıştır.

Kesme derinliği sabit tutulduğunda, yapılan deneyler sonucunda, kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen asıl kesme kuvveti (F_c), titreşim ivmesi (RMS) ve ortalama yüzey pürüzlülük (R_a) değerleri, Çizelge 6.1-Çizelge 6.4'de her talaş kırıcı formu (SA, MA, MS, GH) için tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 6.1. SA talaş kırıcı formu için kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen F_c , RMS ve R_a değerleri

Deney Kodu	Talaş Derinliği a (mm)	Kesme Hızı V (m/min)	İlerleme (f) (mm/rev)	Kesme Kuvveti F_c (N)	Titreşim İvmesi RMS (m/s/s)	Yüzey Pürüzlüğü R_a (μ m)
SA 11	2,5	200	0,15	894,74	30	1,41
SA 12			0,25	1420,48	250	3,73
SA 13			0,35	1914,4	390	5,10
SA 21		250	0,15	870,16	15	0,98
SA 22			0,25	1399,18	140	2,26
SA 23			0,35	1904,6	350	4,82
SA 31		300	0,15	864,58	150	2,58
SA 32			0,25	1375,49	225	3,16
SA 33			0,35	1889,07	400	5,08
SA 41		350	0,15	879,29	100	1,65
SA 42			0,25	1375,72	190	2,76
SA 43			0,35	1898,07	375	5,00

Çizelge 6.2. MA talaş kırıcı formu için kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen Fc, RMS ve Ra değerleri

Deney Kodu	Talaş Derinliği a (mm)	Kesme Hızı V (m/min)	İlerleme (f) (mm/rev)	Kesme Kuvveti Fc (N)	Titreşim İvmesi RMS (m/s/s)	Yüzey Pürüzlüğü Ra (µm)
MA 11	2,5	200	0,15	839,58	225	3,31
MA 12			0,25	1221,61	375	4,78
MA 13			0,35	1611,57	450	5,38
MA 21		250	0,15	814,27	35	1,55
MA 22			0,25	1190,25	70	2,57
MA 23			0,35	1603,91	155	4,64
MA 31		300	0,15	813,19	150	2,3
MA 32			0,25	1175,18	250	2,97
MA 33			0,35	1533,64	400	5,1
MA 41		350	0,15	774,29	60	1,8
MA 42			0,25	1149,38	100	2,6
MA 43			0,35	1554,18	250	4,72

Çizelge 6.3. MS talaş kırıcı formu için kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen Fc, RMS ve Ra değerleri

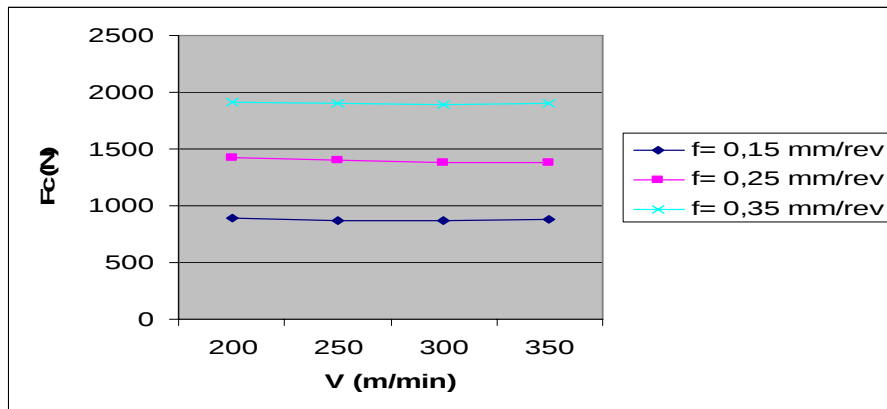
Deney Kodu	Talaş Derinliği a (mm)	Kesme Hızı V (m/min)	İlerleme (f) (mm/rev)	Kesme Kuvveti Fc (N)	Titreşim İvmesi RMS (m/s/s)	Yüzey Pürüzlüğü Ra (µm)
MS 11	2,5	200	0,15	807,61	10	1,32
MS 12			0,25	1162,18	55	2,55
MS 13			0,35	1552,08	250	4,64
MS 21		250	0,15	783,98	60	2,34
MS 22			0,25	1150,04	90	2,96
MS 23			0,35	1586,68	270	4,78
MS 31		300	0,15	791,46	200	3,89
MS 32			0,25	1144,95	250	4,03
MS 33			0,35	1543,96	350	5,5
MS 41		350	0,15	791,18	90	2,64
MS 42			0,25	1159,26	100	2,82
MS 43			0,35	1550,54	300	5,17

Çizelge 6.4. GH talaş kırıcı formu için kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen F_c , RMS ve R_a değerleri

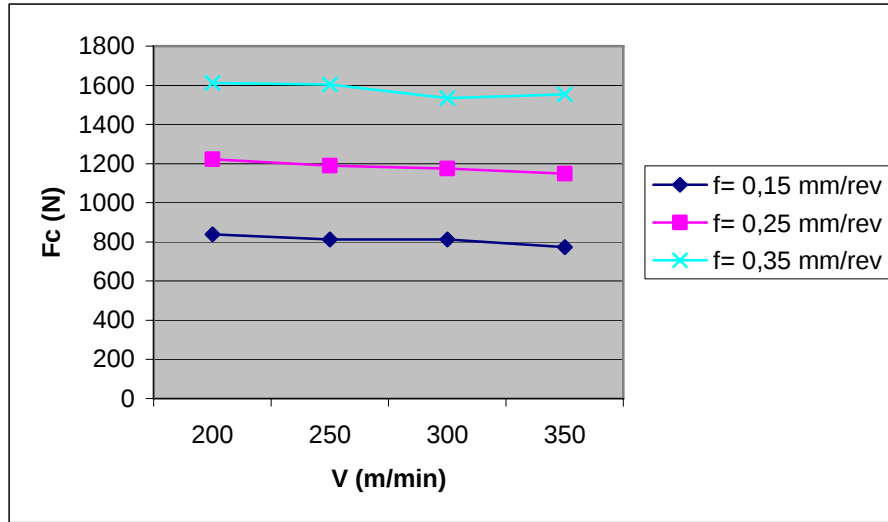
Deney Kodu	Talaş Derinliği a (mm)	Kesme Hızı V (m/min)	İlerleme (f) (mm/rev)	Kesme Kuvveti F_c (N)	Titreşim İvmesi RMS (m/s/s)	Yüzey Pürüzlüğü R_a (μ m)
GH 11	2,5	200	0,15	878,51	150	2,24
GH 12			0,25	1281,16	300	2,94
GH 13			0,35	1671,48	350	5,3
GH 21		250	0,15	875,98	25	1,46
GH 22			0,25	1241,17	60	2,75
GH 23			0,35	1631,79	65	4,30
GH 31		300	0,15	845,23	80	2,76
GH 32			0,25	1211,45	110	3,62
GH 33			0,35	1585,02	140	4,61
GH 41		350	0,15	843,76	50	2,71
GH 42			0,25	1221,71	110	3,55
GH 43			0,35	1595,67	175	4,8

6.2. Kesme Kuvvetlerindeki Değişimin Değerlendirilmesi

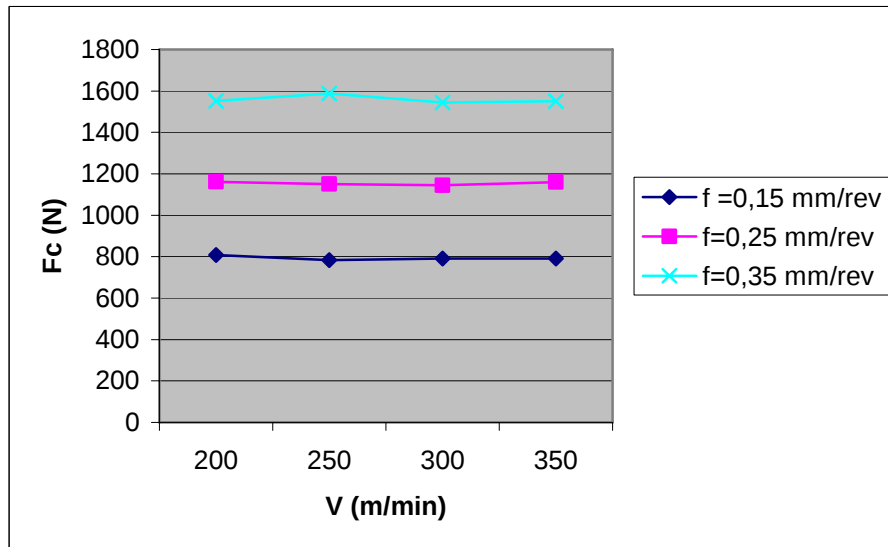
Talaş kaldırma deneyleri sırasında ölçülen asıl kesme kuvvetlerinin kesme parametrelerine (kesme hızı ve ilerleme) bağlı olarak değişimi, SA talaş kırıcı formu için Şekil 6.5, MA talaş kırıcı formu için Şekil 6.6, MS talaş kırıcı formu için Şekil 6.7 ve GH talaş kırıcı formu için ise Şekil 6.8’de grafiklerle gösterilmiştir.



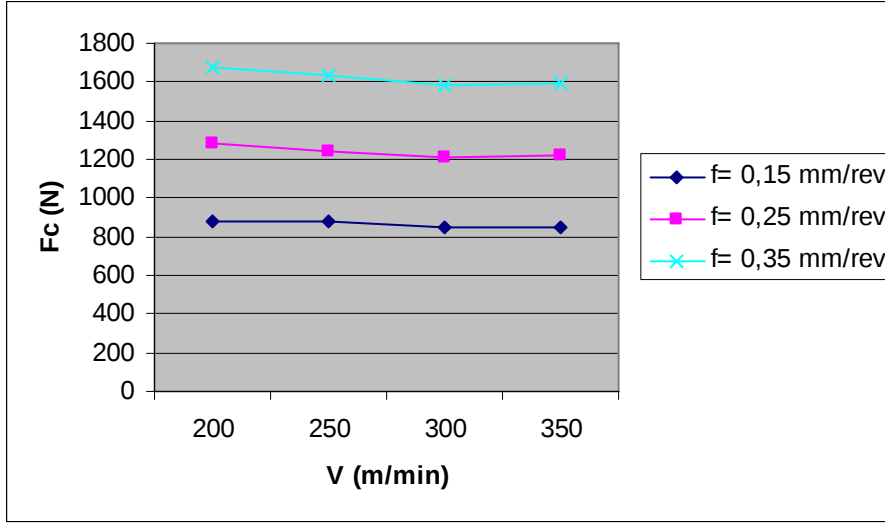
Şekil 6.5. SA talaş kırıcı formuna sahip kesici takımında kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak asıl kesme değerlerindeki değişim



Şekil 6.6. MA talaş kırıcı formuna sahip kesici takımında kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak asıl kesme değerlerindeki değişim



Şekil 6.7. MS talaş kırıcı formuna sahip kesici takımında kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak asıl kesme değerlerindeki değişim



Şekil 6.8. GH talaş kırıcı formuna sahip kesici takımında kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak asıl kesme değerlerindeki değişim

Şekil 6.5 - Şekil 6.8'deki grafikler incelendiğinde talaş kırıcı formlarının hepsi için artan kesme hızlarına bağlı olarak asıl kesme kuvvetlerinin, kayda değer olamasa da, azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Ortaya çıkan eğilim her dört farklı talaş kırıcı formu için de aynıdır. Bu düşme eğilimi, kesme esnasında harcanan enerjinin hemen hemen tamamının kayma düzleminde, kesici takım ucunun çevresinde ısı enerjisine dönüşmesiyle açıklanabilir [46]. Kesme hızının artmasıyla kesme bölgesinde oluşan ısı artacak ve böylece malzemenin plastik şekil değişimi daha az kuvvetle olacaktır.

Kayma düzleminde oluşan ısının büyük bir çoğunluğu (~ % 85) akma bölgesinde kayma dayanımının düşmesine neden olur. Ancak bu ısı transferinin daha da artmasına müsaade edilirse BUE eğilimi başlayacağından, kesme kuvvetlerinde bir değişim gözlemlenebilir [46].

İlerleme miktarı açısından kesme kuvvetlerindeki değişim değerlendirilecek olursa ilerlemedeki artışa bağlı olarak kesme kuvvetlerinde artış gözlenmektedir. İlerleme ve kesme derinliğine bağlı olarak oluşan “talaş kesit alanı” asıl kesme kuvvetini belirleyen en önemli faktördür. Dolayısıyla ilerlemedeki artışla beraber artan talaş kesiti asıl kesme kuvvetindeki artışın temel nedenidir [2,37]. İlerlemenin 0,15

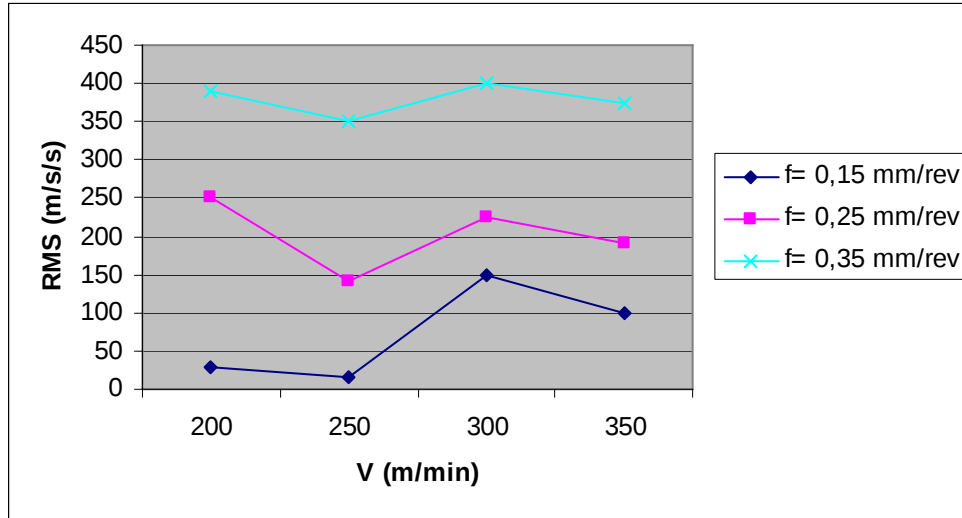
mm/rev'den 0,25 mm/rev'e çıkarılmasıyla ilerlemede sağlanan %60 artışa karşılık kesme kuvvetleri ~ %50, ilerlemenin 0,15 mm/rev'den 0,35 mm/rev'e çıkarılmasıyla ilerlemede sağlanan ~ %135'lik artışa karşılık kesme kuvvetleri ~ %100 artmıştır.

Kesme kuvvetleri açısından en düşük değerin MS talaş kırıcı formunda elde edildiği görülmektedir (Çizelge 6.3 ve Şekil 6.7). Bu durum üretici firma tarafından üretilen talaş kırıcı formlarının özellikleriyle açıklanabilir. Kesme derinliği 2,5 mm olarak sabit alındığından, yapılan deneylerdeki talaş kaldırma işlemi “orta talaş” talaş kaldırma işlemi olarak değerlendirilebilir. Üretici firma tarafından SA talaş kırıcı formu ince talaş işlemleri, GH talaş kırıcı formu ise orta-kaba talaş işlemleri için önerilmektedir. MA ve MS talaş kırıcı formları ise doğrudan orta talaş işlemleri için önerilmektedir [30]. Dolayısıyla deneylerin doğasına daha uygun olan MA ve MS talaş kırıcı formlarında daha iyi sonuçların alınması beklenen bir durumdur. MS talaş kırıcı formunun MA'ya göre daha iyi sonuç vermesi ise yine üretici firma bilgilerinden yola çıkılarak, MS talaş kırıcı formundan beklenen yüksek performansa atfedilebilir.

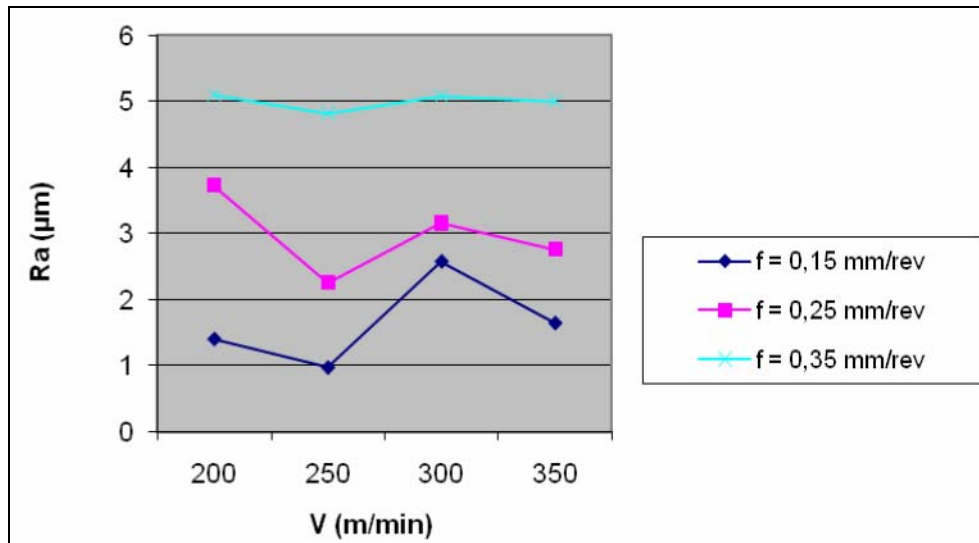
6.3. Talaş Kırıcı Formuna Bağlı Olarak Titreşim İvmesi (RMS) ve Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) İlişkisinin Değerlendirilmesi

6.3.1. SA talaş kırıcı formu için titreşim ivmesi-yüzey pürüzlülüğü ilişkisi

SA talaş kırıcı formuna sahip kesici takımla yapılan deneylerde elde edilen sonuçlara bağlı olarak titreşim ivmesi (RMS) ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) arasındaki ilişki açıklanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, önce kesme parametrelerinden kesme hızı (V) baz alınmış ve SA talaş kırıcı formu için kesme hızına bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim Şekil 6.9'daki, kesme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim ise Şekil 6.10'daki grafiklerde gösterilmiştir.

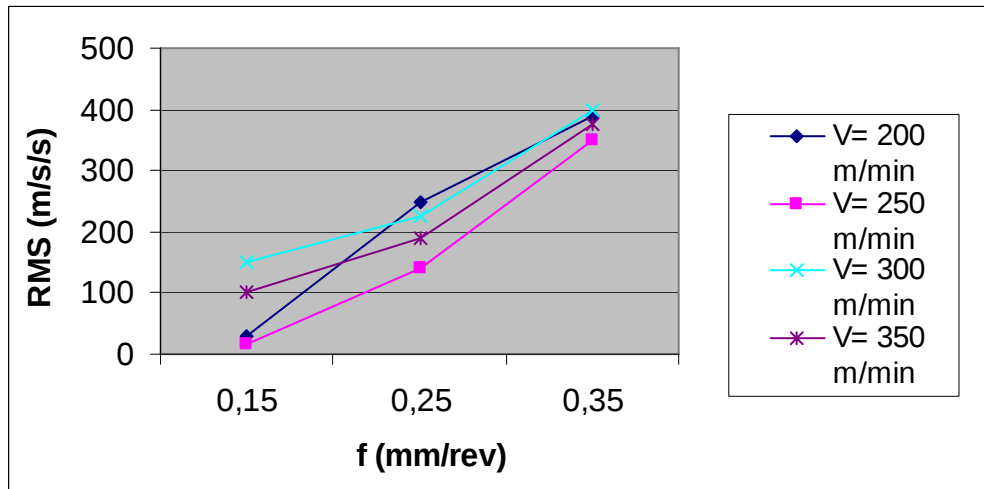


Şekil 6.9. SA talaş kırıcı formuna sahip kesici takımda kesme hızına bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim

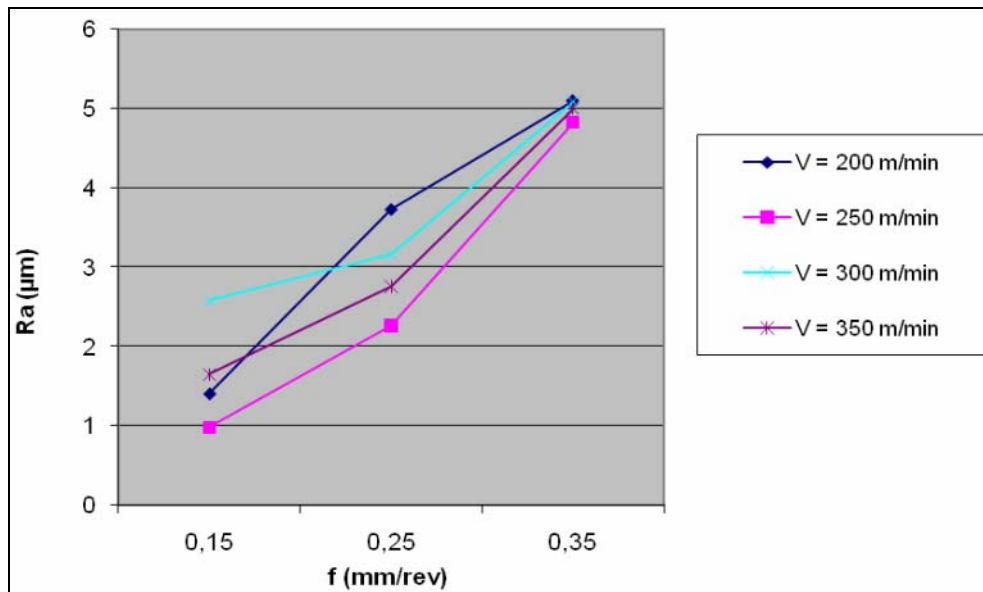


Şekil 6.10. SA talaş kırıcı formuna sahip kesici takımda kesme hızına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim

Yüzey pürüzlülüğü üzerinde en büyük etkiye sahip kesme parametrelerinden biri olan ilerleme miktarının hem yüzey pürüzlülüğü hem de titreşim ivmesi üzerindeki etkilerini değerlendirmek için SA talaş kırıcı formuna ait ilerleme titreşim ivmesi ilişkisi Şekil 6.11’de ilerleme-yüzey pürüzlüğü ilişkisi Şekil 6.12’de ayrıca verilmiştir.



Şekil 6.11. SA talaş kırıcı formuna sahip kesici takımında ilerlemeye bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim



Şekil 6.12. SA talaş kırıcı formuna sahip kesici takımında ilerlemeye bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim

Şekil 6.9 ve Şekil 6.10 birlikte değerlendirildiğinde SA talaş kırıcı formu için titreşim ivmesi (RMS) kesme hızına bağlı değişimi ile yüzey pürüzlülüğünün (Ra) kesme hızına bağlı değişimi arasında anlamlı bir ilişki kurmak mümkündür. Hem RMS hem de Ra kesme hızına aynı duyarlılığı göstermekte ve Şekil 6.9 ile Şekil 6.10'daki grafikler birbirine benzer eğilim sergilemektedir. Titreşim ivmesi ve yüzey pürüzlülüğü kesme hızının 200 m/min'den kesme hızı 250 m/min'e çıkmasıyla önce

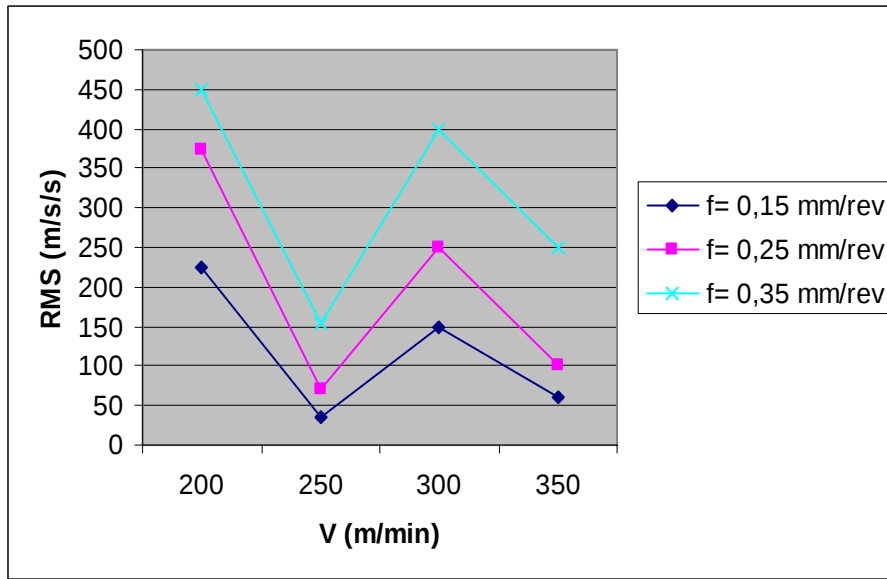
düşmüş daha sonra kesme hızının 300 m/min'e çıkmasıyla tekrar artış eğilimine girmiştir. En yüksek kesme hızı olan 350 m/min'de tekrar bir miktar düşüş olmakla birlikte ne RMS ne de Ra değeri 250 m/min'deki değerine ulaşamamıştır. Bu durum SA talaş kırıcı formu için yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi kesme hızı değerinin 250 m/min olduğuna işaret etmektedir. RMS'deki düşüşe paralel olarak yüzey kalitesi iyileşmekte dolayısıyla azalan titreşimin yüzey kalitesi üzerinde olumlu etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Yüzey kalitesi üzerindeki en yüksek etkiye sahip olan ilerleme değeri [2,37] açısından Şekil 6.11 ve Şekil 6.12'deki grafikler yorumlandığında da benzer eğilimleri görmek mümkündür. İlerlemeye bağlı RMS değişimi (Şekil 6.12) tamamen birbirine paralellik arz etmekte ve ilerlemedeki artışa bağlı olarak RMS ve Ra değerleri artmaktadır. Dolayısıyla bu grafikler de titreşimin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin bir başka göstergesi olmaktadır. En düşük titreşim değeri en düşük ilerlemede elde edilirken, aynı şekilde en iyi yüzey kalitesi değeri de en düşük ilerlemede elde edilmiştir. İlerlemedeki artışla birlikte hem titreşim ivmesi hem de yüzey pürüzlülüğü değerleri artış göstermiştir.

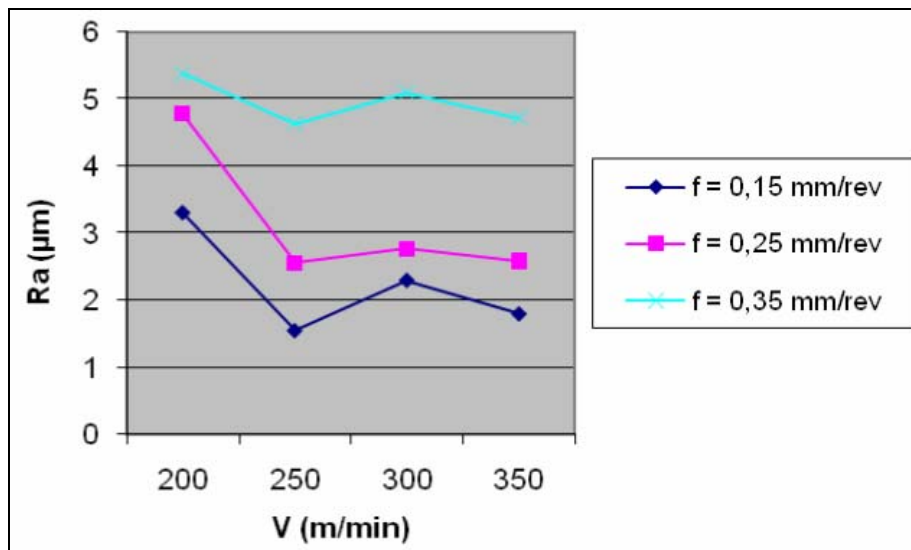
SA talaş kırıcı formunun ince talaş işlemleri için önerildiği dikkate alınacak olursa [30] 0,15 m/rev ilerlemenin ve 250 m/min kesme hızının en iyi sonuçları verdiği söylenebilir.

6.3.2. MA talaş kırıcı formu için titreşim ivmesi-yüzey pürüzlülüğü ilişkisi

MA talaş kırıcı formu için kesme hızına bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim Şekil 6.13'deki, kesme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim ise Şekil 6.14'deki grafiklerde gösterilmiştir.

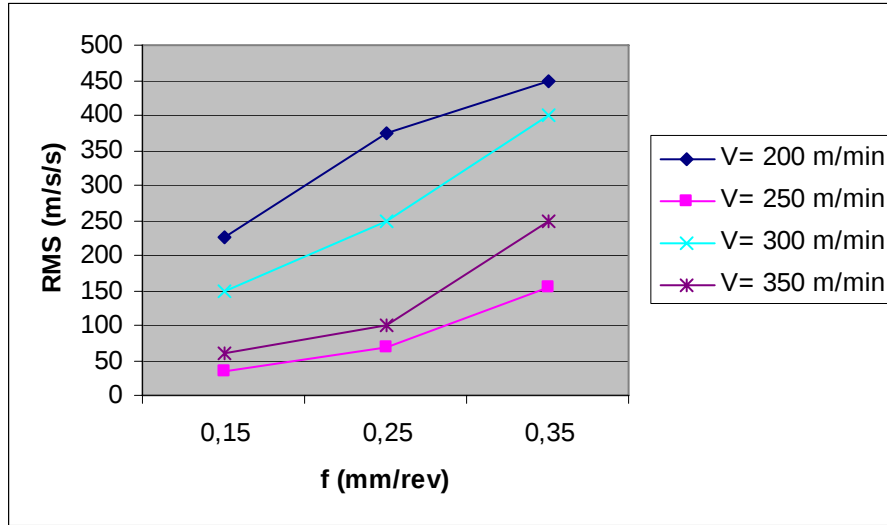


Şekil 6.13. MA talaş kırıcı formuna sahip kesici takımda kesme hızına bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim

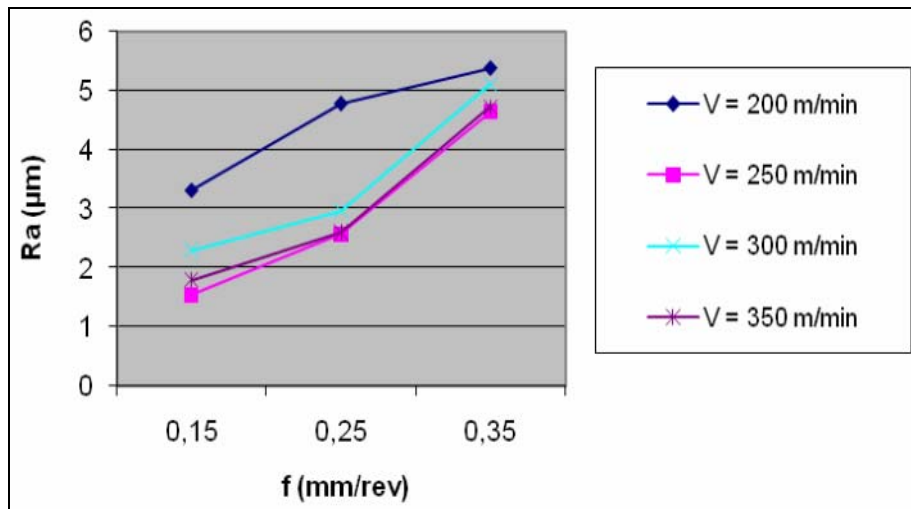


Şekil 6.14. MA talaş kırıcı formuna sahip kesici takımda kesme hızına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim

Yine ilerleme miktarı açısından bir değerlendirme yapılmak istenirse, MA talaş kırıcı formu için titreşim ivmesinin ve ortalama yüzey pürüzlülüğünün ilerleme miktarına bağlı değişimleri Şekil 6.15 ve Şekil 6.16'daki grafiklerde özetlenmiştir.



Şekil 6.15. MA talaş kırıcı formuna sahip kesici takımda ilerlemeye bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim



Şekil 6.16. MA talaş kırıcı formuna sahip kesici takımda ilerlemeye bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim

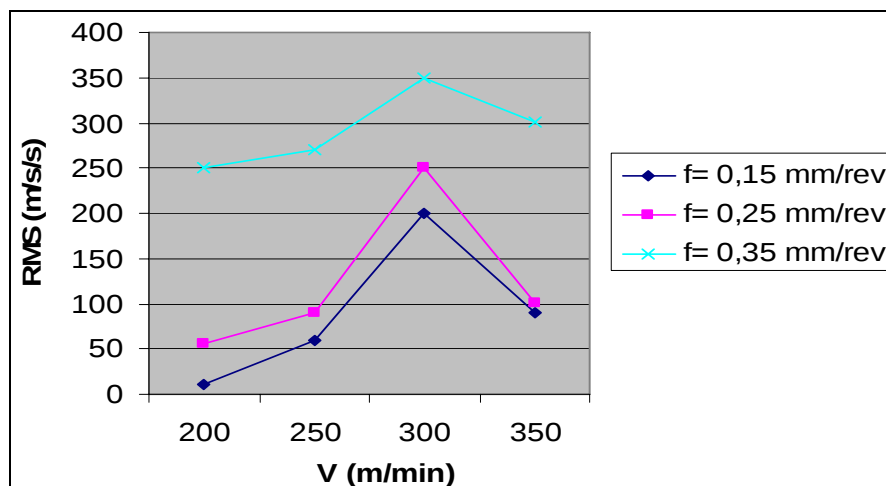
SA talaş kırıcı formundaki benzer eğilimler MA talaş kırıcı formu için de hem kesme hızına bağlı olarak (Şekil 6.13-Şekil 6.14) hem de ilerlemeye bağlı olarak (Şekil 6.15-Şekil 6.16) görülmektedir. MA talaş kırıcı formu için kesme hızına bağlı RMS değişimi kesme hızına bağlı Ra değişimi ile paralellik arz etmektedir. Bu durum titreşimin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin bir göstergesidir. MA talaş kırıcı formunda da en iyi titreşim ve yüzey kalitesi 250 m/min kesme hızında elde edilmiştir.

İlerlemeye bağlı titreşim ivmesi değişimini (Şekil 6.15) ve yüzey pürüzlülüğü değişimini (Şekil 6.16) gösteren grafiklerdeki benzer eğilim yine titreşim-yüzey pürüzlülüğü ilişkisini açıklamaktadır. Artan titreşim yüzey kalitesinin bozulmasına sebep olmaktadır. İlerlemedeki artışla beraber titreşimin ivmesi artmış ve benzer şekilde yüzey kalitesi de giderek bozulmuştur.

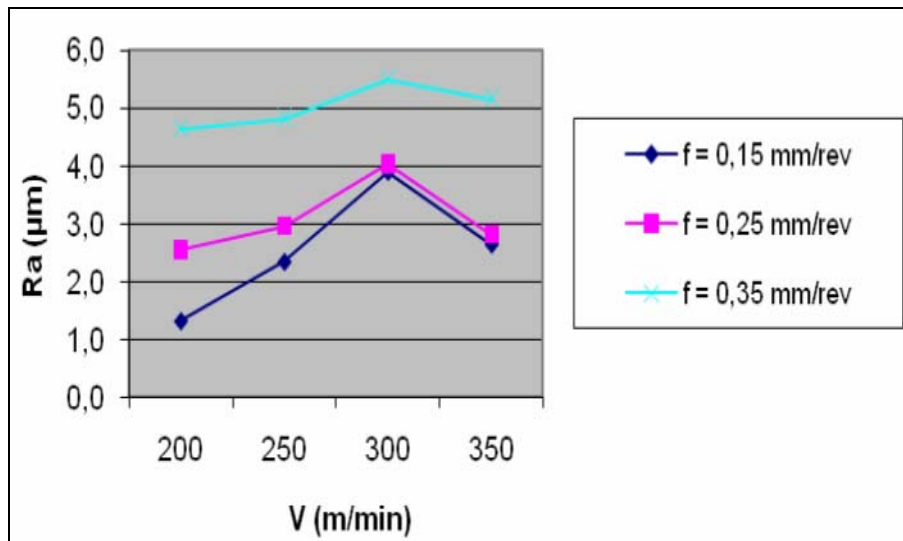
MA talaş kırıcı formu için de en iyi sonuçlar 250 m/min kesme hızında elde edilmiş ve ilerlemenin en düşük değerinde daha olumlu sonuçlar gözlenmiştir. SA talaş kırıcı formundan farklı olarak ilerlemenin 0,15 mm/rev'den 0,25 mm/rev'e çıkarılmasıyla titreşimdeki ve yüzey pürüzlülüğündeki artış daha az olmuştur. Bu durum MA talaş kırıcı formunun orta talaş işlemleri için daha uygun olduğunu göstermektedir.

6.3.3. MS talaş kırıcı formu için titreşim ivmesi-yüzey pürüzlülüğü ilişkisi

MS talaş kırıcı formu için kesme hızına bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim Şekil 6.17'deki, kesme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim ise Şekil 6.18'deki grafiklerde gösterilmiştir.

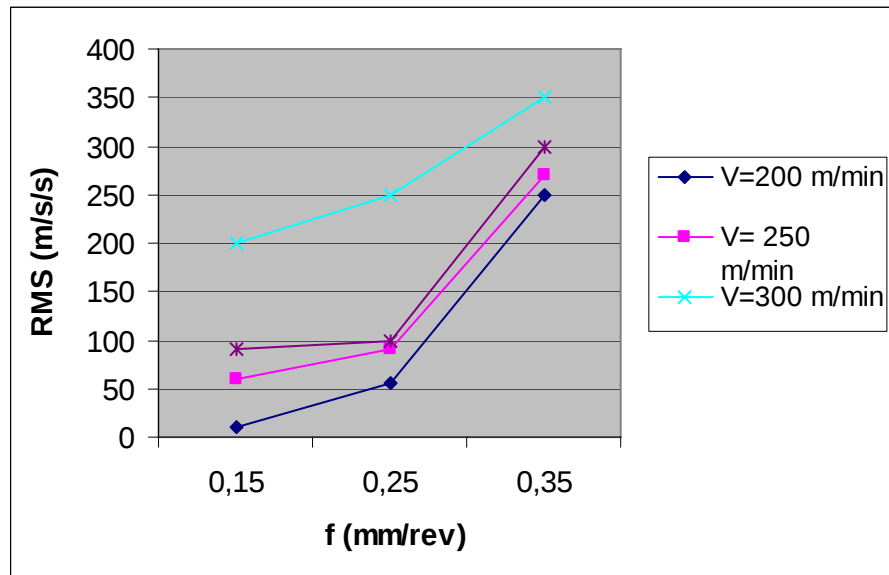


Şekil 6.17. MS talaş kırıcı formuna sahip kesici takımda kesme hızına bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim

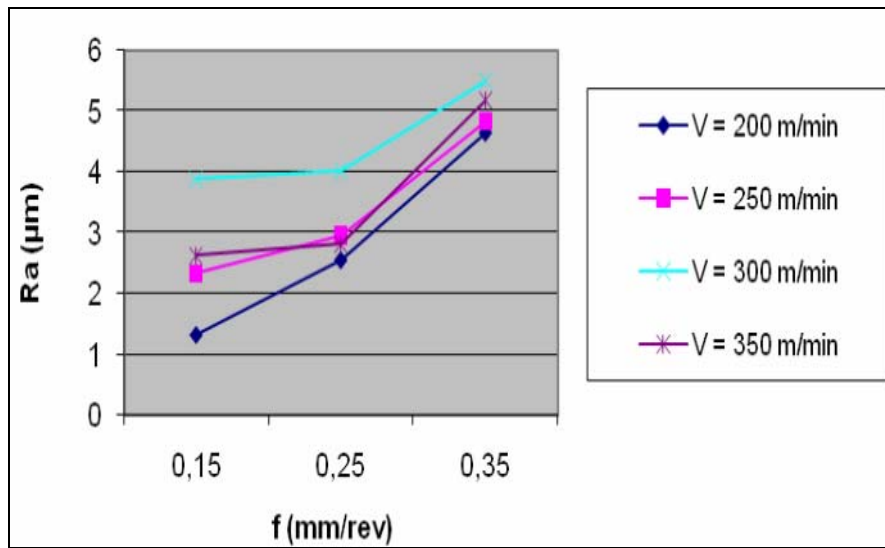


Şekil 6.18. MS talaş kırıcı formuna sahip kesici takımda kesme hızına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim

MS talaş kırıcı formu için ilerleme miktarına bağlı değişimler incelendiğinde; titreşim ivmesi-ilerleme miktarı ilişkisi Şekil 6.19’da, yüzey pürüzlülüğü ilerleme ilişkisi ise Şekil 6.20’de gösterilmiştir.



Şekil 6.19. MS talaş kırıcı formuna sahip kesici takımda ilerlemeye bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim



Şekil 6.20. MS talaş kırıncı formuna sahip kesici takımında ilerlemeye bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim

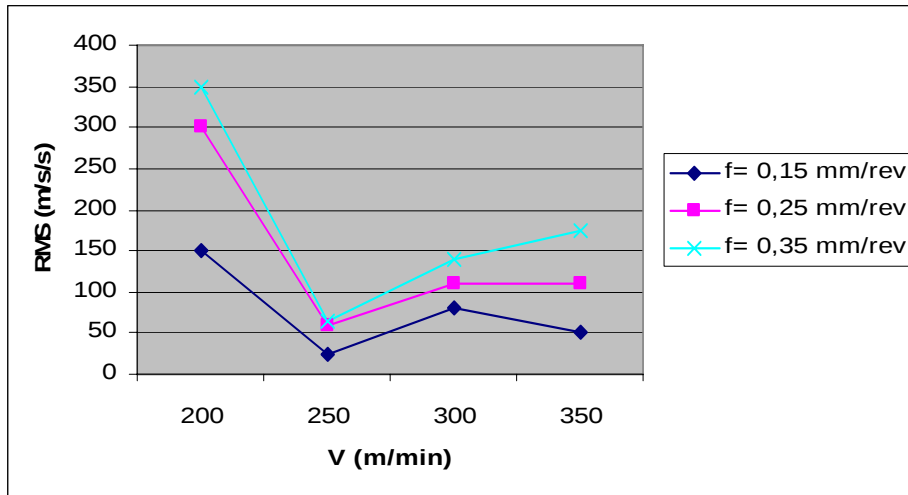
Mitsubishi firması tarafından orta talaş işlemlerinde yüksek performansı ile önerilen MS talaş kırıncı formu, bu çalışmada deney değişkenleri baz alındığında en iyi sonuçları vermesi beklenen talaş kırıncı formudur. Kesme kuvvetleri açısından yapılan değerlendirmede bu olumlu durum gözlenmiştir. Şekil 6.19 ve Şekil 6.20'deki grafikler incelendiğinde yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi sonuçların da bu talaş kırıncı formuyla elde edildiği görülmektedir.

Kesme hızı açısından Şekil 6.17 ve Şekil 6.18'deki grafiklerin eğilimi ile ilerleme açısından Şekil 6.19 ve Şekil 6.20'deki grafiklerin eğilimi tamamen birbirine benzer şekildedir. Bu durum SA ve MA talaş kırıncı formundaki kesiciler de gözlenen durumun bir kez daha ispatı niteliğindedir. Yani, kesme parametreleri titreşim ivmesini etkilerken titreşimdeki eğilime benzer şekilde yüzey kalitesini de etkilemektedir. SA ve MA talaş kırıncı formundan farklı olarak MS talaş kırıncı formunda en iyi sonuçlar 200 m/min kesme hızında elde edilmiştir. Bu talaş kırıncı formu için 300 m/min kesme hızı değeri en kötü sonucu sergilemiştir. Oldukça yüksek bir kesme hızı olan 350 m/min kesme hızında özellikle 0,15 mm/rev'de 0,25 mm/rev ilerleme değerinde elde edilen sonuçlar en iyi sonuçlar olmakla beraber oldukça iyi görülmektedir. Bu durum yüksek kesme hızlarında bu talaş kırıncı formunda yüksek performans alınacağının bir göstergesidir.

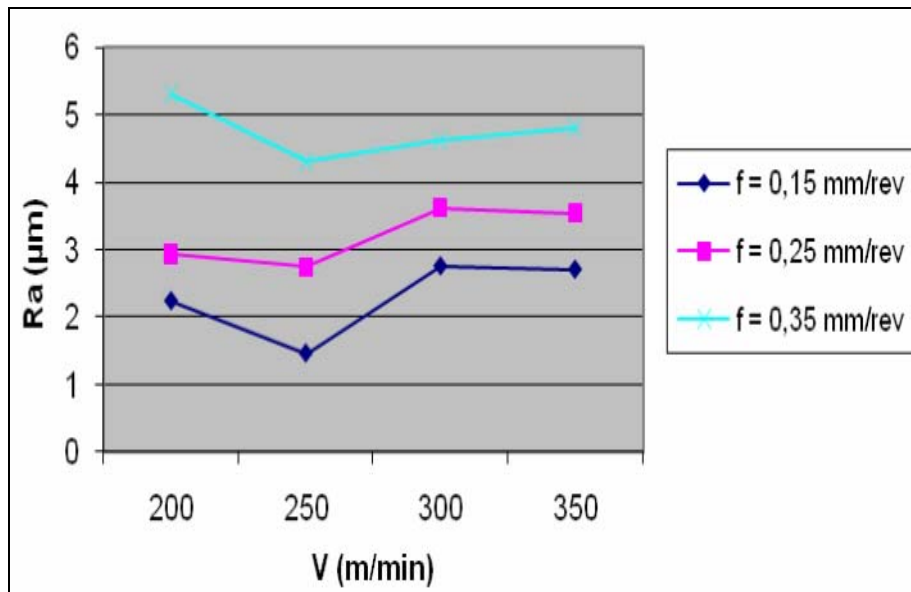
Şekil 6.19 ve şekil 6.20'deki ilerlemeye bağlı grafikler incelendiğinde, MA talaş kırıcı formundakine benzer olarak, 0,15 mm/rev ile 0,25 mm/rev ilerleme değerinde alınan değerler birbirine yakın görülmektedir. Bu durum MS talaş kırıcı formunun da orta talaş işlemlerinde başarıyla kullanılabileceğinin bir göstergesidir.

6.3.4. GH talaş kırıcı formu için titreşim ivmesi-yüzey pürüzlülüğü ilişkisi

GH talaş kırıcı formu için kesme hızına bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim Şekil 6.21'de, kesme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim ise Şekil 6.22'de grafiklerle gösterilmiştir.

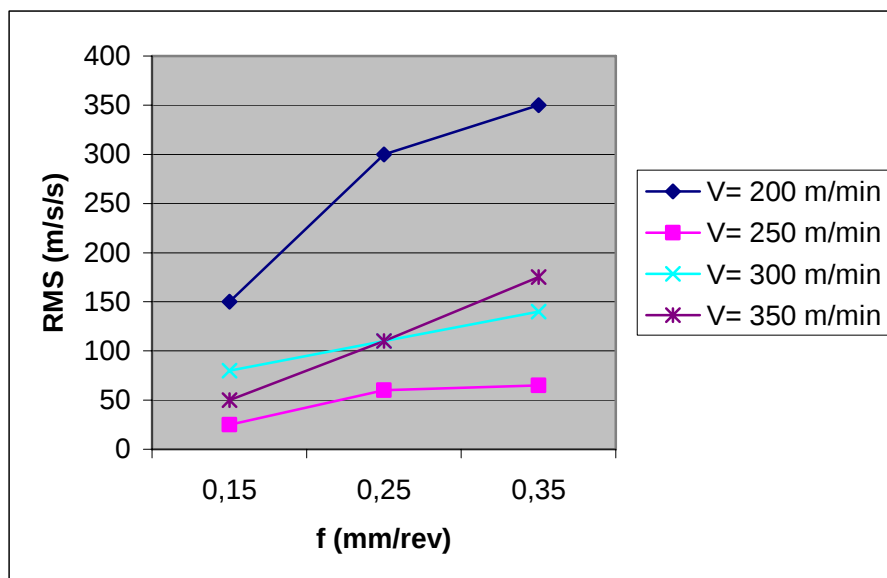


Şekil 6.21. GH talaş kırıcı formuna sahip kesici takımda kesme hızına bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim

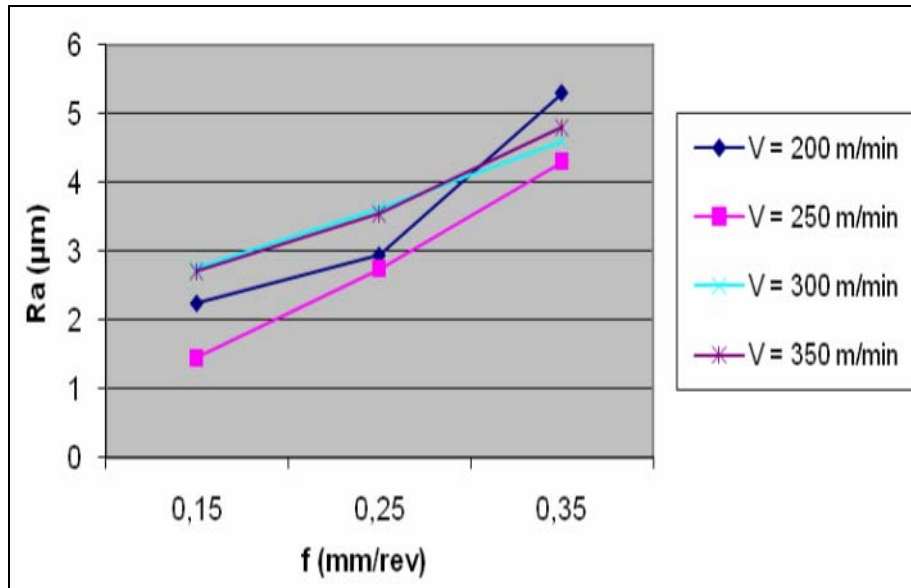


Şekil 6.22. GH talaş kırıncı formuna sahip kesici takımda kesme hızına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim

GH talaş kırıncı formu için ilerlemenin titreşim ivmesi üzerindeki etkisi Şekil 6.23'deki grafiklerde ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi ise Şekil 6.24'deki grafiklerde gösterilmiştir.



Şekil 6.23. GH talaş kırıncı formuna sahip kesici takımda ilerlemeye bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim



Şekil 6.24. GH talaş kırıcı formuna sahip kesici takımında ilerlemeye bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim

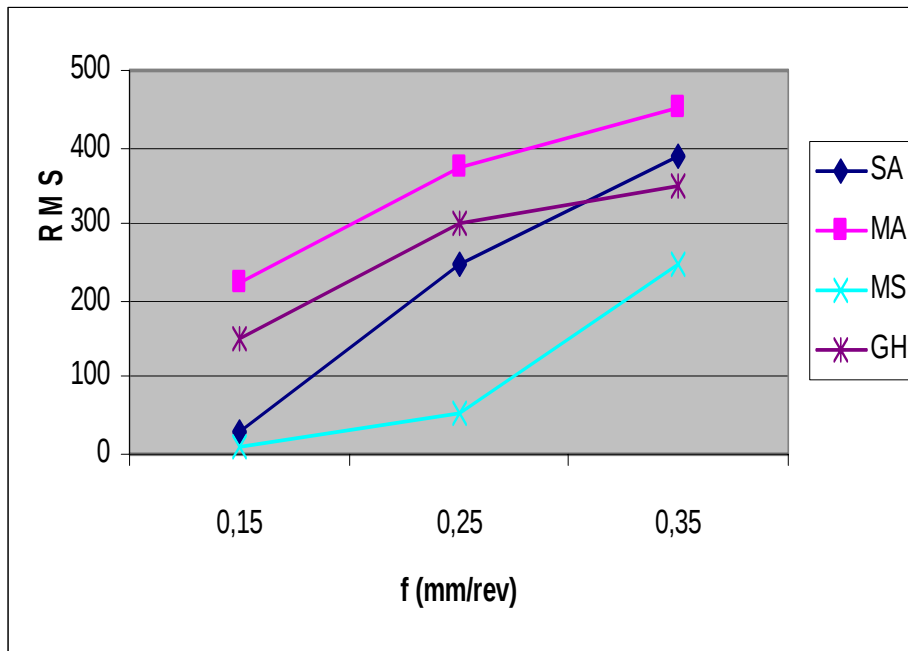
GH talaş kırıcı formu Mitsubishi tarafından orta kaba işlemler için önerilen bir talaş kırıcı formudur. Bu özellikleri ile daha yüksek kesme hızlarında ve daha büyük ilerleme değerlerinde daha iyi sonuç vermesi beklenmektedir. Şekil 6.21 ve Şekil 6.22'deki grafikler incelendiğinde diğer üç talaş kırıcı formunda olduğu gibi titreşim ivmesi ile yüzey pürüzlülüğü arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. Bu durum titreşimin yüzey pürüzlülüğü üzerinde doğrudan etkisi olduğunu gösteren bu çalışmanın son ispatıdır.

GH talaş kırıcı formu için en yüksek titreşim ivmesi değerleri (RMS) ve en kötü yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) en düşük kesme hızında elde edilmiştir. En iyi sonuçlar ilk iki talaş kırıcı formunda olduğu gibi 250 m/min'deki kesme hızında elde edilmiştir. Ancak bu talaş kırıcı formu için 250 m/min, 300 m/min ve 350 m/min'lik kesme hızlarında elde edilen değerler birbirine yakınlık arz etmektedir. Titreşim ivmesi değerleri açısından her üç ilerleme değeri için (0,15 mm/rev, 0,25 mm/rev, 0,35 mm/rev) birbirine yakın sonuçlar sergilemiştir (Şekil 6.21). Bu durum GH talaş kırıcı formunun daha kaba işlemlerde kullanılabileceğinin göstergesidir.

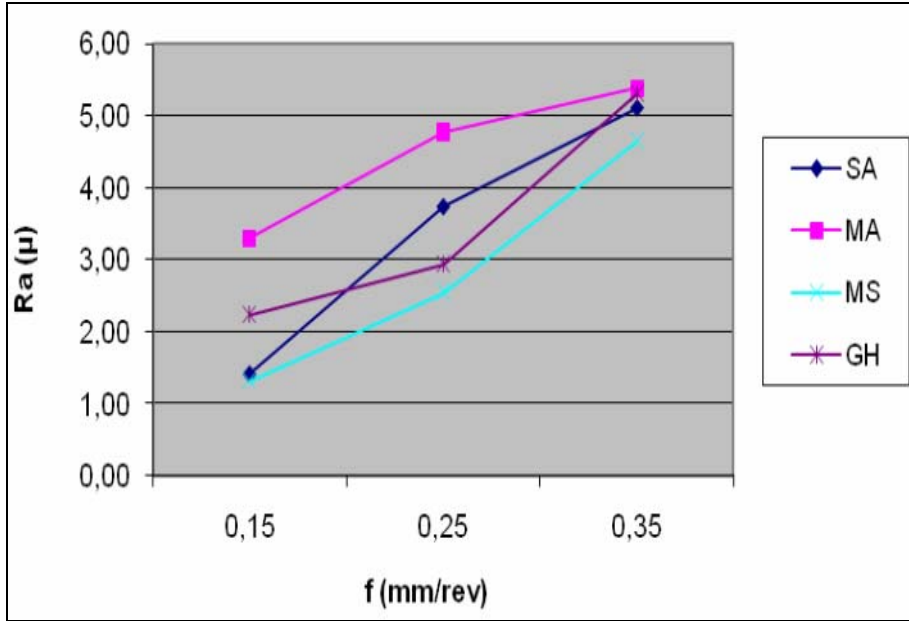
Şekil 6.23 ve Şekil 6.24'deki ilerlemeye bağlı oluşturulan grafikler, her ilerleme değeri için ideal kesme hızının 250 m/min olduğunun bir başka kanıtıdır. 300 m/min ve 350 m/min kesme hızlarında hem RMS hem de yüzey pürüzlülük değeri birbirine yakın seyretmiştir. Bu durum bu talaş kırıcı formunun yüksek kesme hızlarında da kullanılabileceğini açıklamaktadır. Şekil 6.24'deki grafikler her dört kesme hızında da birbirine yakın sonuçlar sergilemektedir.

6.4. Talaş Kırıcı Formların Birbirleriyle Karşılaştırılması

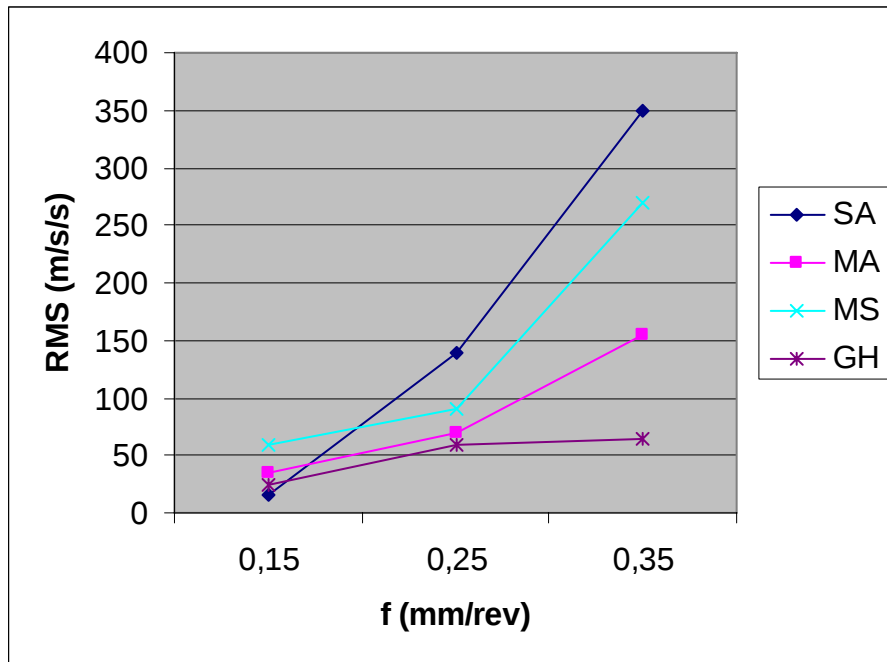
Bu araştırmalardaki deneysel çalışmada kullanılan dört talaş kırıcı formunun titreşim ivmesi ve yüzey kalitesi açısından mukayese edilmesi amacıyla yine dört farklı kesme hızı için ayrı ayrı olarak oluşturulmuş ilerleme-titreşimin ivmesi ve ilerleme-yüzey pürüzlülüğü ilişkisini gösteren grafikler Şekil 6.25-Şekil 6.32'de verilmiştir.



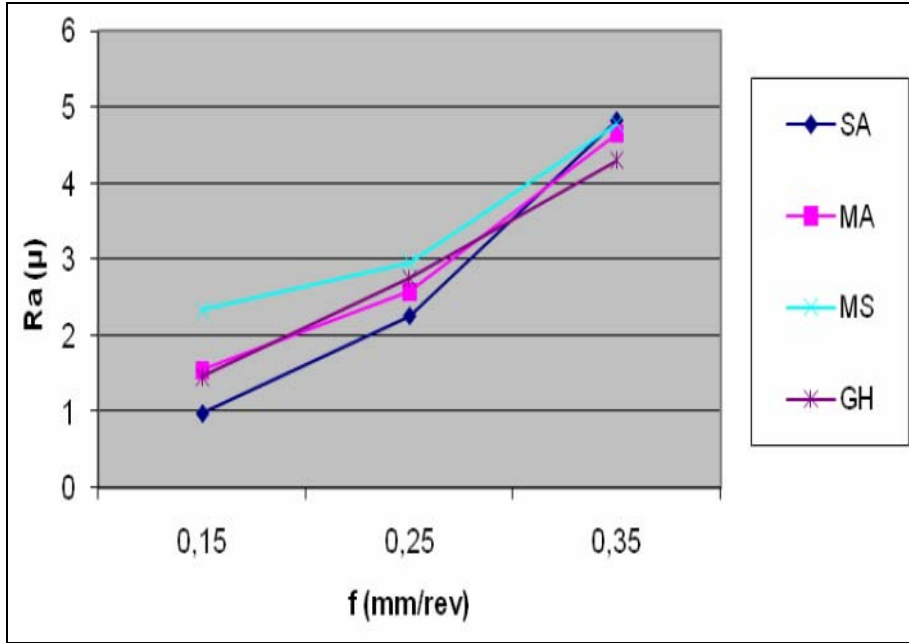
Şekil 6.25. 200 m/min kesme hızında, farklı talaş kırıcı formlarına sahip kesici formlarında ilerlemeye bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim



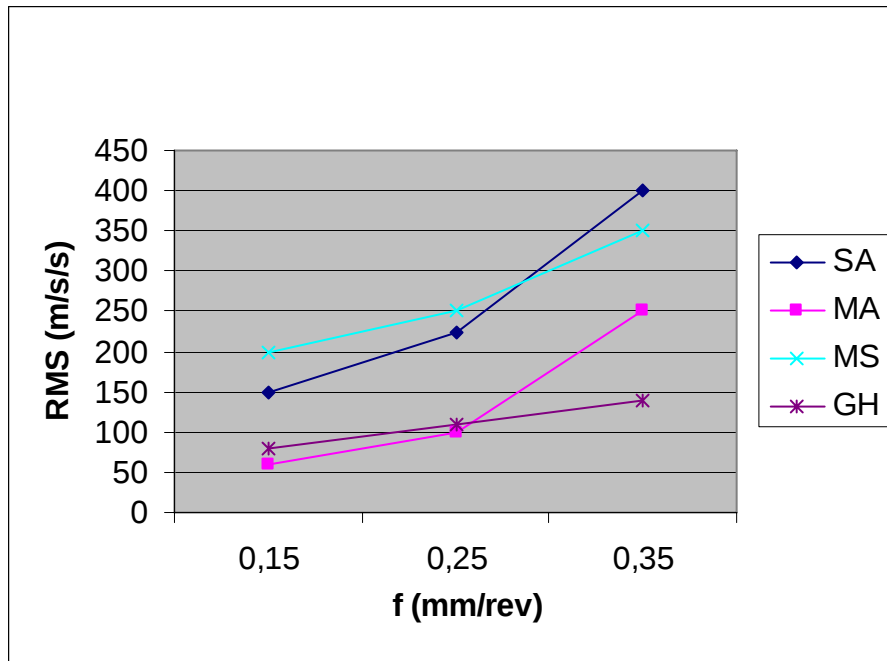
Şekil 6.26. 200 m/min kesme hızında, farklı talaş kırıcı formlarına sahip kesici formlarında ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim



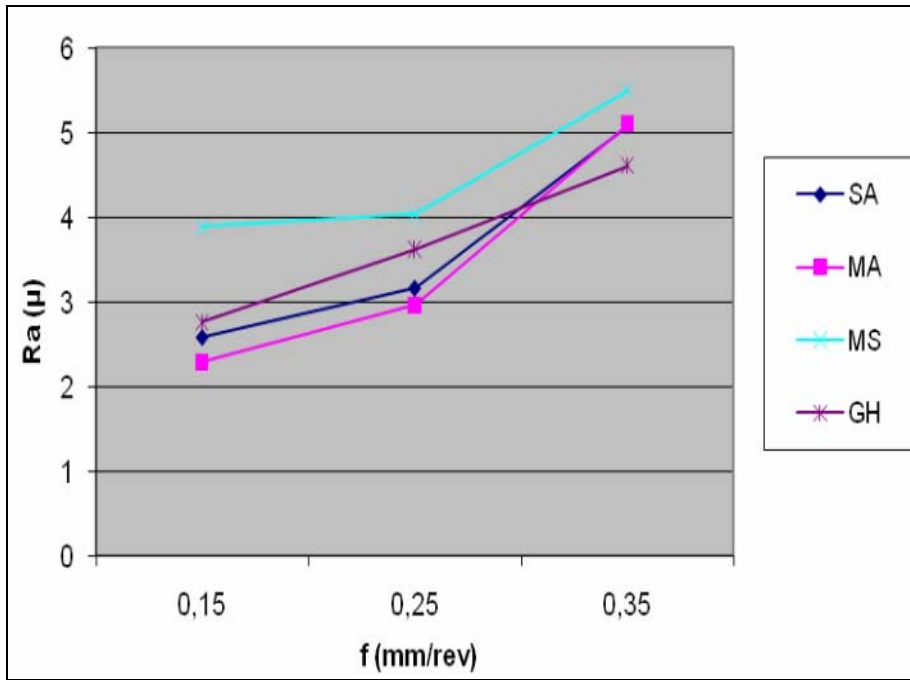
Şekil 6.27. 250 m/min kesme hızında, farklı talaş kırıcı formlarına sahip kesici formlarında ilerlemeye bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim



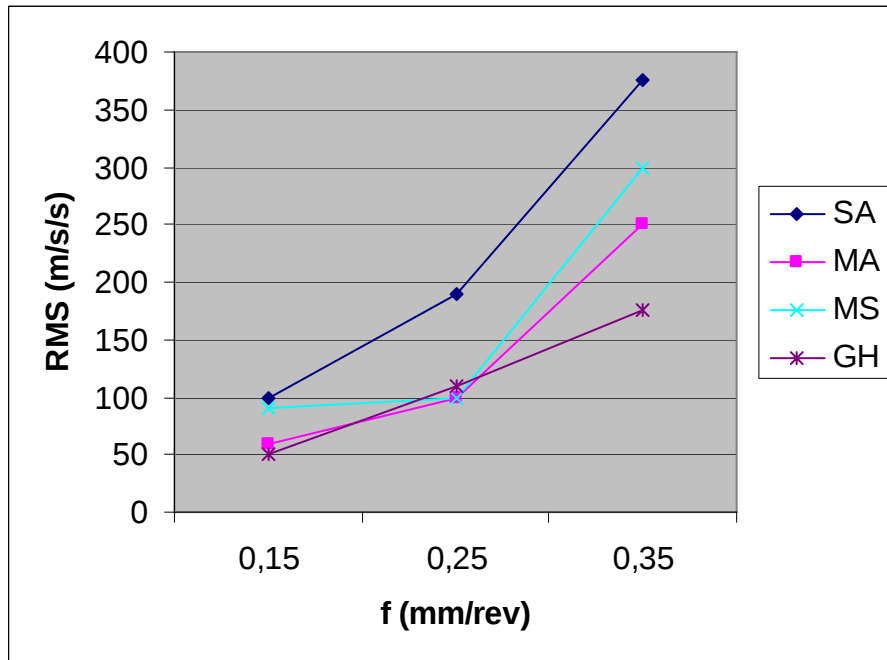
Şekil 6.28. 250 m/min kesme hızında, farklı talaş kırıcı formlarına sahip kesici formlarında ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim



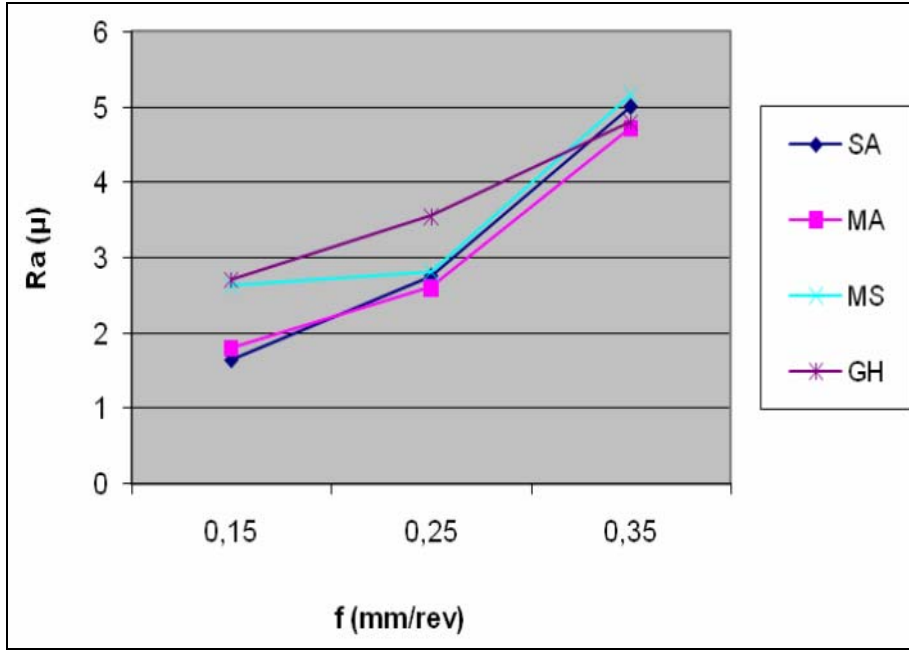
Şekil 6.29. 300 m/min kesme hızında, farklı talaş kırıcı formlarına sahip kesici formlarında ilerlemeye bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim



Şekil 6.30. 300 m/min kesme hızında, farklı talaş kırıcı formlarına sahip kesici formlarında ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim



Şekil 6.31. 350 m/min kesme hızında, farklı talaş kırıcı formlarına sahip kesici formlarında ilerlemeye bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim



Şekil 6.32. 350 m/min kesme hızında, farklı talaş kırıci formlarına sahip kesici formlarında ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim

Her bir kesme hızı için f-RMS ve f-Ra grafikleri çapraz olarak karşılaştırıldığında, grafiklerin benzer eğilimi titreşim-yüzey pürüzlülüğü ilişkisini açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Artan RMS değeri ile birlikte yüzey pürüzlülüğü değeri de artış göstermiştir.

200 m/min kesme hızı ile oluşturulan Şekil 6.25 ve Şekil 6.26'da grafikler incelendiğinde MS talaş kırıci formunun bu kesme hızlarında diğer kesme hızlarına göre bariz üstünlüğü göze çarpmaktadır. Bu hızda ve özellikle en düşük ilerleme değerinde ince talaş için önerilen SA talaş kırıci formu da kabul edilebilir niteliktedir.

Kesme hızı 250 m/min'e çıktığında RMS değeri açısından SA talaş kırıci formu özellikle yüksek ilerlemelerde diğerine göre daha kötü sonuçlar vermektedir. Bu kesme hızının en çarpıcı özelliği, özellikle yine ortalama ilerleme değeri olan 0,25 mm/rev ilerlemede yüzey pürüzlülüğü açısından birbirlerine çok yakın sonuçlar göstermesidir (Şekil 6.28). Bu durumda her dört talaş kırıci formu için ortak olarak,

250 m/min kesme hızı ve 0,25 mm/rev ilerleme optimum değer olarak göze çarpmaktadır.

Kesme hızı 300 m/min'e çıkmasıyla en iyi sonuçların dört talaş kırıcı formu arasında MA talaş kırıcı formunda elde edildiği görülmektedir (Şekil 6.29-Şekil6.30). 300 m/min kesme hızında ilerlemenin düşük tutulmasıyla SA, MA ve GH talaş kırıcı formlarında titreşim ve yüzey kalitesi açısından iyi sonuçlar elde etmek mümkün görülmektedir.

Bu araştırmada kullanılan en yüksek kesme hızı olan 350 m/min'de düşük ilerleme için bütün talaş kırıcı formlarında birbirine yakın RMS ve Ra değeri elde edilebilmektedir. SA talaş kırıcı formu bu kesme hızında yüksek titreşim ivmelerine sebep olmuş GH talaş kırıcı formu ise her üç ilerleme için daha lineer bir ilişki sergilemiştir. Bu hızda yüzey kalitesi açısından 0,15 mm/rev ilerlemede SA ve MA talaş kırıcı formları diğer talaş kırıcı formlarından daha iyi performans sergilemiştir.

Bu araştırmadaki en ağır çalışma şartları olan 350 m/min kesme hızı ve 0,35 mm/rev ilerleme değerlerinde tüm talaş kırıcı formları birbirine çok yakın yüzey kalitesi değerleri sergilemiştir. Bu durum bu çalışma için seçilen talaş kırıcı formlarının birbirine çok yakın amaçlarda kullanılabileceğine işaret etmektedir. Çalışmada kullanılan kesici takımların tamamı aynı kaliteye (P10-P20) [30] sahip olduğuna göre; üretici firmanın talaş kırıcı geometrileri için verdiği bilgiler, bu çalışma ile bir anlamda doğrulanmıştır.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Talaş kaldırma işlemlerinde, titreşime neden olan faktörlere bağlı olarak, kesici takımında oluşan titreşimin yüzey kalitesi üzerindeki etkileri değerlendirmeyi amaçlayan bu çalışmada dört farklı kesme hızı (200 m/min, 250 m/min, 300 m/min ve 350 m/min), üç farklı ilerleme değeri (0,15 mm/rev, 0,25 mm/rev ve 0,35 mm/rev) ve dört farklı talaş kırıcı formu kullanılarak talaş kaldırma deneyleri yapılmıştır. Talaş kaldırma işlemleri kuru şartlarda ve kesici uç yarıçapı (0,8 mm) ile kesme derinliği (2,5 mm) sabit tutularak gerçekleştirilmiştir. Talaş kaldırma sırasında Kistler 9257 B model piezo kristal esaslı dinamometre ile kesme kuvvetleri ve VB 300 model titreşim ölçüm cihazı ile titreşim ivmesi (RMS) ölçülerek kaydedilmiştir. İşlenen deneyleri müteakip, işlenmiş yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülük (R_a) değeri Marh Perthometer M1 marka cihazla ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçlar baz alınarak, kesme parametreleri ile titreşim ivmesi (RMS) ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki grafiklerle yorumlanmaya çalışılmıştır. Aynı şekilde kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi de grafiklerle yorumlanmıştır. Bu açıklamalar ışığında bu çalışmadan elde edilen önemli bulgular aşağıda özetlenmiştir:

- Kesme sırasında en yüksek RMS seviyesine ulaşan bu titreşimler tüm deneylerde ~ 350 Hz. frekansta ortaya çıkmıştır.
- Deneylerin tamamında hem kesme hızı-titreşim ivmesi ve kesme hızı-yüzey pürüzlülüğü hem de ilerleme-titreşim ivmesi ve ilerleme-yüzey pürüzlülüğü grafikleri RMS ve R_a açısından karşılaştırıldığında, grafiklerdeki birbiriyle örtüşen eğilim titreşim-yüzey pürüzlülüğü ilişkisini açıkça ortaya koymaktadır. Titreşim ivmesinin artan değerleri ile birlikte yüzey pürüzlülüğü değerleri de artış göstermiştir. Bu durum titreşimin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki olumsuz etkisini açıkça ortaya koymaktadır.

- Talaş kaldırma ekonomisini doğrudan etkileyen asıl kesme kuvveti ile kesme parametreleri arasındaki ilişki değerlendirildiğinde; artan kesme hızları ile kesme kuvvetleri düşme eğilimine girerken artan ilerleme değerleri ile kesme kuvvetleri artış eğilimi göstermiştir.
- İlerlemedeki ~% 60'lık artışa karşılık kesme kuvvetleri ~% 50, ilerlemedeki ~%135'lik artışa karşılık ise kesme kuvvetleri ~% 100 artmıştır.
- Kesme kuvvetleri açısından en düşük değerler MS tipi talaş kırıcı formunda elde edilmiştir. Bunun nedeni MS tipi talaş kırıcı formu en keskin uç geometrisine sahip olması ile açıklanabilir.
- Talaş geometrisini belirleyen faktörlerden biri olan talaş kırıcı formu titreşim üzerinde etkili olmuş ve farklı talaş kırıcı formlarında farklı titreşim ivmesi ve yüzey pürüzlülük değeri elde edilmiştir.
- İnce talaş için önerilen SA talaş kırıcı formu için bir değerlendirme yapılacak olursa, bu form için titreşim ivmesi ve dolayısı ile yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi kesme hızı değerinin 250 m/min olduğu görülmüştür. Bu talaş kırıcı formu için, titreşim ivmesindeki düşüşe paralel olarak yüzey kalitesi iyileşmekte ve azalan titreşim yüzey kalitesi üzerinde olumlu etkiye sahip olduğu görülmektedir.
- SA talaş kırıcı formu için en düşük titreşim ivme seviyesi en düşük ilerlemede elde edilirken en iyi yüzey kalitesi değeri de en düşük ilerlemede elde edilmiştir.
- MA talaş kırıcı formunda en iyi titreşim ivmesi en iyi yüzey kalitesi değeri 250 m/min kesme hızında elde edilmiştir.
- MA talaş kırıcı formu için en iyi sonuçlar en düşük ilerleme olan 0,15 mm/rev'de alınmakla beraber, ilerlemenin 0,15 mm/rev 'den 0,25 mm/rev'e çıkmasıyla yüzey kalitesindeki bozulma ve titreşim ivmesindeki artış fazla

olmamıştır. Bu talaş kırıcı formu orta ilerleme değerlerinde de rahatlıkla kullanılabilir özelliktedir.

- Orta talaş işlemlerinde yüksek performansıyla önerilen MS talaş kırıcı formu, bu çalışmada kesme kuvvetlerinin yanı sıra yüzey kalitesi açısından da olumlu sonuçlar sergilemiştir.
- MS talaş kırıcı formu için en iyi sonuçlar 200 m/min kesme hızında alınmakla beraber en yüksek kesme hızı değeri olan 250 m/min kesme hızında da oldukça iyi sonuçlar sergilemiştir.
- Orta-kaba talaş kaldırma işlemleri için önerilen GH talaş kırıcı formu, en düşük kesme hızı olan 200 m/min'de en kötü sonucu sergilemiştir. Kesme hızının artmasıyla beraber performansı iyileşmiş 250 m/min, 300 m/min ve 350 m/min'de elde edilen değerler birbirine yakın ve daha iyi olmuştur.
- GH talaş kırıcı formu, artan ilerleme değerlerine karşılık titreşim ivmesi ve yüzey pürüzlülüğü değerinde birbirine yakın sonuçlar sergilemiştir. Bu durum GH talaş kırıcı formunun daha kaba işlemlerde kullanılabileceğinin bir göstergesidir.
- Farklı kesme hızlarında talaş kırıcı performansları değerlendirildiğinde; 200 m/min kesme hızında en iyi sonuçlar MS talaş kırıcı formuyla, ikinci en iyi sonuçlar SA talaş kırıcı formuyla elde edilmiştir.
- Her dört talaş kırıcı formu için 250 m/min kesme hızı ve 0,25 mm/rev ilerleme değeri, ortak olarak en iyi sonuçların gözlemlendiği en uygun değerlerdir.
- 300 m/min kesme hızında en iyi sonuçlar MA talaş kırıcı formuyla elde edilmiş, MS talaş kırıcı formu bu hızda en kötü sonuçları sergilemiştir. İlerlemenin düşük tutulmasıyla SA ve GH talaş kırıcı formlarından da iyi sonuçlar elde etmek mümkün görülmektedir.

- En yüksek kesme hızı olan 300 m/min’de her üç ilerleme değeri için GH talaş kırıcı formu daha lineer bir ilişki göstermiş. Dolayısıyla GH talaş kırıcı formu daha düzenli bir eğilim sergilemiştir.

7.2. Öneriler

Talaş kaldırma işlemlerinde titreşim-yüzey kalitesi ilişkisini açıklamayı hedefleyen bu çalışma aşağıda öngörülen öneriler ışığında geliştirilebilir:

- Yüzey kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olan uç yarıçapı değişken bir parametre olarak alınıp bu parametrenin titreşim ve yüzey kalitesi ilişkisi araştırılabilir.
- Takım tutucu bağlama uzunluğu (taşma uzunluğu) değiştirilmek suretiyle titreşim değişimleri araştırılabilir.
- Sönümleyici takım tutucular kullanılmak suretiyle titreşimin azalması ve dolayısıyla yüzey kalitesinin iyileştirilmesi amaçlanabilir.
- Titreşimin en büyük problem olduğu delik tornalama işlemlerinde titreşim-yüzey kalitesi ilişkisi araştırılabilir.
- Talaş yüzeyinde talaş akışını etkileyen kaplama malzemelerin titreşim üzerindeki etkisi incelenebilir.
- Oldukça karmaşık yapıya sahip olan titreşim kavramının kesme sırasında analizleri teorik olarak incelenerek titreşim-yüzey kalitesi modelleri oluşturulmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Erdoğan, M., “Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri”, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 1-4 (1998).
2. Çakır, C.M., “Modern Talaşlı İmalatın Esasları”, *Ceylan Matbaacılık*, Bursa, 32-36 (1999).
3. Erol, M., “Makinelerde Titreşim ve Etkileri”, *Bitirme Tezi*, Bursa Uludağ Üniversitesi, 1-3 (2002).
4. Sadek, M.M., “Stability of Orthogonal Cutting Process on a Center Lathe”, *International Journal of Machine Tools& Manufacture*, 12: 547-560 (1974).
5. Xiao, M., Karube, S., Soutome, T., Sato, K., “Analysis of Chatter Suppression in Vibration Cutting”, *International Journal of Machine Tools& Manufacture* 42: 1677-1685 (2002).
6. Bazrov, B.M, Garyushin, V.E., “Elimination of chatter during turning operation using self adaptive control system”, *Stanki Instrum*, 3-4 (1977).
7. Lin, S.C., Hu, M.R., “Low vibration control system in turning”, *International Journal of Machine Tools& Manufacture*, 32: 627-629 (1992).
8. Choudhury, S.K., Sharath, M.S., “On line control of machine tool vibration during turning”, *Journal of Materials Processing Technology*, 47: 250-251 (1995).
9. Tobias, S.A., “Machine-Tool Vibration”, *Blackie Glasgow*, 151-153 (1965).
10. Devillez, A., Dudzinski, D., “Tool vibration detection with eddy current sensors in machining process and computation of stability lobes using fuzzy classifiers”, *Mechanical Systems and Signal processing*, 17-21 (2005).
11. Thomas, M., Beauchamp, Y., Youssef Y.A., Masounave, J., “Effect of tool vibrations on surface roughness during lathe dry turning process”, *Computers and Industrial Engineering*, 31:637-644. (1996).
12. Beauchamp, Y., Thomas, M., Youssef A.Y., Masounave, J., “Investigation of cutting parameter effects on surface roughness in lathe boring operation by use of a full factorial design”, *Computers and Industrial Engineering*, 31:645-651 (1995).
13. Saxena, J.P., “Effect of machining conditions on cutting tool vibrations”, *Advances in Machine Tool Design and Manufacturing Technology, Proceedings of the 10th All India Machine Tool Design and Research Conference*, Durgapur, India, 98-106 (1982).

14. Ghani, A.K., Choudhury, I.A., "Study of tool life, surface roughness and vibration in machining nodular cast iron with ceramic tool", *Journal of Materials Processing Technology*, 17-22 (2002).
15. Lipski, J., Litak, G., Rusinek, R., Szabelski K., Teter A., Warminski, J., Zaleski, K., "Surface quality of a work materials influence on the vibrations of the cutting process", *Journal of Sound and Vibration*, 729-737(2002).
16. Rahman, M., Mansur, M.A., Lau, S.H., "Tool wear study in a lathe made of cementitious material", *Journal of Materials Processing Technology*, 113: 317-320 (2001).
17. Tarng, Y.S., Kao, J.Y., Lee, E.C., "Chatter suppression in turning operations with a tuned vibration absorber", *Journal of Materials Processing Technology*, 55-60 (2000).
18. Jang, J.L., Tarng, Y.S., "A study of the active vibration control of a cutting tool", *Journal of Materials Processing Technology*, 95: 78-82 (1999).
19. Thomas, M., Beauchamp, Y., Youssef, A.Y., Masounave, J., "Effect of tool vibrations on surface roughness during the lathe dry turning process", *Computers and Industrial Engineering*, 31:637-644 (1996).
20. Tugrul, O., Tsu-Kong, H., Erol, Z., "Effect of cutting edge geometry, workpiece hardness, feed rate and cutting speed on surface roughness and forces in finish turning of hardened AISI H13 steel", *International Journal of Advanced Manufacturing Technologies*, 25: 262-269 (2005).
21. El-Sinawi, A.H., Reza, K., "Improving surface roughness in turning using optimal control of tool's radial position", *Journal of Materials Processing Technology*, 54-61 (2005).
22. Choudhury, S.K., Goudimenko, N.N., Kudinov, V.A., "On-line control of machine tool vibration in turning", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 37: 801-811 (1997).
23. Thomas, M., Beauchamp, Y., "Statiscal investigation of modal parameters of cutting tools in dry turning", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 43: 1093-1106 (2003).
24. Beauchamp, Y., Thomas, M., Youssef, A.Y., "Effect of lathe boring cutting parameters on surface roughness and tool dynamic forces", *Proceedings of the 13th Symposium of the Engineering Application of Mechanics, Manufacturing Science and Engineering, Canadian Society of Mechanical Engineering*, 521-527(1996).

25. Thomas, M., Beauchamp, Y., “Prediction of surface roughness for turning using only controlled cutting parameters”, **B.L. Juneja, K.K. Pujara, R. Sager (Eds.), CAD, CAM, Robotics and Autonomous Factories**, TATA McGraw-Hill, Delhi, 1:517-526 (1993).
26. Abouelatte, O.B., Madle, J., “Surface roughness prediction based on cutting parameters and tool vibrations in turning operations”, **Journal of Materials Processing Technology**, 118:269-77 (2001).
27. Risbood et. K. A., “Prediction of surface roughness and dimensional deviation by measuring cutting forces and vibrations in turning operation”, **Journal of Materials Processing Technology**, 132: 203-214 (2003).
28. Dimla, D.E., “The correlation of vibration signal features to cutting tool wear in a metal turning operation”, **International Journal of Advanced Manufacturing Technologies**, 19 (10): 705-713 (2000).
29. Wang, L.J., Zhao, J., “Influence of Surface Roughness in Turning with Ultrasonic Vibration Tool”, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 27: 181-190 (1987).
30. “Mitsubishi Materials Kobe Tools”, **Mitsubishi, General Catalogue 2005-2007**, A002-A005 (2005).
31. French, A.P., “Titreşim ve Dalgalar”, **Aktif Yayınevi**, İstanbul, 1-5 (2003).
32. Beer, F.P., Johnston, E.R., “Mühendisler için Mekanik, Dinamik”, **Birsan Yayınevi**, 356-357 (2003).
33. Badrowy, S., “Technology Update Principal Engineer Cinciretti Machine”, **AUNONA Company**, 4-7 (2003).
34. Neşeli, S., Yıldız, S., “Tornalamada Takım Geometrisi ve Tırlama Titreşimlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi**, 49-53 (2006).
35. Çağlayan, H.İ., “Titreşim Sözlüğü Ansiklopedisi”, **VibraTek Firması**, 2-4 (2005).
36. Pratt, J.R., “Vibration Control for Chatter Suppression with Application to Boring Bars”, **Virginia Polytechnic Institute and State University**, 12-15 (1997).
37. Şeker, U., “Makine Eğitimi Ders Notları”, 5-8 (2000).
38. Taşkesen, A., “Dik Kesme Esnasında Takım Tezgahı Titreşiminin Teorik Olarak Analizi”, Doktora Tezi **Gazi Üniversitesi**, 57-73 (2003).

39. Young-Bin, P., “Machining Proseses and Cutting Tool Desingn” , *Department of Industrial and Manufacturing Engineering FAMU-FSU College of College of Engineering*, 33-42(2006).
40. Demir, K., “Yüzey Pürüzlülüğü ve Pürüzlülüğün Ölçülmesi”, Mezuniyet Tezi, *Gazi Üniversitesi* , 26:40-44 (2002).
41. Bayrak, M., “Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi ve Uzman Sistemle Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Makine Mühendisliği Bölümü*, 1-35 (2002).
42. Gural, A., “Çift Fazlı Çeliklerde Martenzit Hacim Oranı ve Morfolojisinin İşlenebilirlik Özellikleri Üzerine Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi*, 66 (1999).
43. Scarr, A.J.T., “Metrology and Precision Engineering”, *Mc.Graw-Hill Publishhing Company Limited*, New York, 24-28 (1991).
44. John, L.Y., Joseph, C.C., “A Systematic Approach For Identifying Optimum Surface Roughness Performance in End-Miling Operations”, *Journal of Industrial Technology*, 17: 2 (2001).
45. Özses, B., “Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü*, Ankara, 6-25 (2002).
46. Çiftçi, İ., “Talaşlı İmalatta Yüzey Pürüzlülüğünün Tayini Ders Notları”, *Karabük Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi*, Karabük, 1-6 (2004).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : TEKAÜT, İsmail
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 10.03.1971 - Ankara
 Medeni hali : Evli (iki çocuk)
 Telefon : 0 (532) 687 03 07
 e-mail : ismailt@gazi.edu.tr

Eğitim Derece

Eğitim Birimi

Mezuniyet tarihi

Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Makine Bölümü	2008
Lisans	Gazi Üniversitesi / Makine Bölümü	1994
Lise	Ankara Yapı Meslek Lisesi	1988

İş Deneyimi Yıl

Yer

Görev

2006-2008	Gazi Üniversitesi Çubuk Yerleşkesi	Koordinatörlük
2005-2008	G.Ü. Atatürk Meslek Yüksekokulu	Öğretim Görevlisi
2004-2005	G.Ü. Atatürk ve Gazi .Y.O’da 2547/31. maddeye göre ((İmalat İşlemleri, Teknolojini Bilimsel İlkeleri, Kalite Güvence ve Standartlar, İşletme, Teknik Resim).	Öğretim Görevlisi
2003-2005	Çubuk Mesleki Eğitim Merkezi Müdürlüğü’nde meslek dersleri	Öğretmenlik
2001-2003	Çubuk Gençlik ve İlçe Spor Müdürlüğü	Müdür Vekilliği
2000-2001	Çubuk İlçe Milli Eğitim Müdürlüğü bünyesinde; görevler ve Okuma-Yazma Seferberlik Kursları	Koordinatörlük

Yıl	Yer	Görev
1995-2000	Çubuk Mesleki Eğitim Merkezi Müdürlüğü'nde Makine dersleri, Pedagojik ve Formasyon Kursları	Öğretmenlik
1993-1995	MAN.AŞ.'da Araç Tasarımı Bölümü	Tasarımcı
1989-1996	Çubuk Özel Akademi Sürücü Kursu Motor dersi	Öğretmenlik

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Futbol, Yüzme, Bilgisayar teknolojileri.