

**FREZELEME İŞLEMİNDE KESİCİ UÇ SAYISININ TİTREŞİM VE YÜZEY
PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Engin NAS

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalında
Bilim Uzmanlığı Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

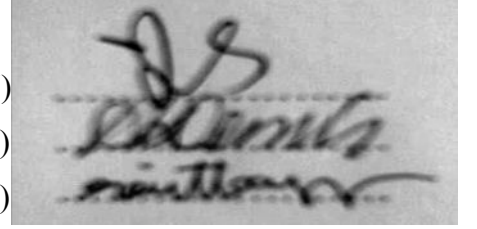
KARABÜK

Şubat 2008

KABUL:

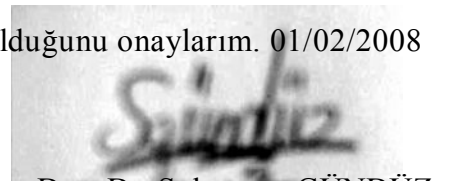
Engin NAS tarafından hazırlanan “FREZELEME İŞLEMİNDE KESİCİ UÇ SAYISININ TİTREŞİM VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında Bilim Uzmanlığı Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 01/02/2008

Başkan: Doç. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ (KBÜ)
Üye : Yrd. Doç. Dr. Halil DEMİR (KBÜ)
Üye : Yrd. Doç. Dr. Raif BAYIR (KBÜ)



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. 01/02/2008



Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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

Engin NAS

ÖZET

Bilim Uzmanlığı Tezi

FREZELEME İŞLEMİNDE KESİCİ UÇ SAYISININ TİTREŞİM VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Engin NAS

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalı**

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Halil DEMİR

Şubat 2008, 73 sayfa

Bu çalışmada, AISI 1050 çelik malzeme kaplanmış sementit karbür kesici takımlar kullanılarak alın frezeleme işlemine tabi tutulmuştur. Alın frezeleme deneyleri beş farklı kesme hızında ($V_1=60$ m/dak, $V_2=90$ m/dak, $V_3=120$ m/dak, $V_4=150$ m/dak, $V_5=180$ m/dak), üç farklı talaş derinliğinde ($a=1$ mm, $a=2$ mm, $a=3$ mm) ve üç farklı ilerlemede ($s=0,5$ mm/devir, $s=0,1$ mm/devir, $s=0,15$ mm/devir) soğutma sıvısı kullanılmadan yapılmıştır. Alın freze çakısındaki kesici takım sayısının titreşim ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemek amacıyla deneylerde farklı sayılarda ($Z_1=1$, $Z_2=2$, $Z_3=3$, $Z_4=6$) kesici takımlar kullanılmıştır. Frezeleme işlemi esnasında oluşan titreşim ve yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Bu parametrelerin yüzey pürüzlülüğü ve titreşim üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kesici uç sayısı arttığında yüzey pürüzlülük değerinin önemli miktarda arttığı gözlenmiştir. Ayrıca, titreşimin de yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Alın frezeleme, Yüzey pürüzlülüğü, Titreşim

Bilim Kodu : 626.12.00

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

AN INVESTIGATION INTO THE EFFECT OF NUMBER OF INSERT ON VIBRATION AND SURFACE ROUGHNESS WHEN MILLING

Engin NAS

Karabuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Education

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Halil DEMİR

January 2008, 73 pages

In this study, face milling operations were carried out on AISI 1050 steel using coated cemented carbide cutting tools. The face milling operations were carried out dry at five different cutting speeds ($V_1=60$ m/min, $V_2=90$ m/min, $V_3=120$ m/min, $V_4=150$ m/min, $V_5=180$ m/min), three different depths of cut ($a=1$ mm, $a=2$ mm, $a=3$ mm) and three different feed rates ($s=0.5$ mm/rev, $s=0.1$ mm/rev, $s=0.15$ mm/rev). In order to examine the influence of number of cutting tool insert on face milling cutter on vibration and surface roughness, different number of inserts ($Z_1=1$, $Z_2=2$, $Z_3=3$, $Z_4=6$) were used. Vibration formed during face milling and surface roughness values were measured. The influence of these parameters on surface roughness and vibration was studied. Increasing number of inserts was found to have significant influence on surface roughness. In addition, the surface roughness was seen to be affected significantly by vibration.

Key Words : Key Words: Face milling, Surface roughness, Vibration

Science Code : 626.12.00

TEŐEKKÖR

Çalışmalarım süresince yardım ve fedakârlıklarını esirgemeyen değerli danışmanım ve Talaşlı Üretim Anabilim Dalı Başkanı Yrd. Doç. Dr. Halil DEMİR'e, çalışmalarımda bana yol gösteren Yrd. Doç. Raif BAYIR'a, Doç. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ, arkadaşım Muammer ÇİFTÇİ'ye ve yüksek lisans mezunu İbrahim SAĞLAM'a sonsuz teşekkür ederim.

Projenin gerçekteőmesinde desteklerini esirgemeyen Z.K.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığına sonsuz saygı ve Őükranlarımı sunarım.

Eğitim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen anneme, babama ve kardeşlerime Őükranlarımı sunar, teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	V
ABSTRACT	VII
TEŞEKKÜR	IX
İÇİNDEKİLER.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XVII
BÖLÜM 1	1
BÖLÜM 2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
BÖLÜM 3 TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK	7
3.1 TALAŞLI İMALAT İŞLEMİ.....	7
3.2 İŞLENEBİLİRLİK.....	8
3.3 KESİCİ TAKIMLAR	10
3.3.1 Yüksek Hız Çeliği	10
3.3.2 Sementit Karbürler	10
3.3.3 Kaplamalı Sementit Karbür	11
3.3.4 Sermet.....	12
3.3.5 Seramik.....	12
3.3.6 Çok sert kesici takımlar	13
3.4 TAKIM AŞINMASI	14
BÖLÜM 4 YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	17
4.1 İMALATTA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	17
4.2 İDEAL YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ.....	18
4.3 YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER.....	18
4.3.1 İmalatta Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri.....	18
4.4 YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇME YÖNTEMLERİ VE ÖZELLİKLERİ	20
4.5 KESİCİ TAKIM AŞINMASININ ETKİLERİ	21
4.6 KESME KUVVETLERİNİN ETKİLERİ	21

İÇİNDEKİLER (içindekiler devam ediyor)

4.7 MİLLİ STANDARTLAR.....	21
BÖLÜM 5 TİTREŞİM.....	25
5.1 TİTREŞİM TEORİSİ.....	25
5.2 PERİYODİK TİTREŞİMLER.....	27
5.2.1 Periyodik Serbest Titreşim Hareketi.....	29
5.2.2 Periyodik Zorlanmış Titreşim Hareketi.....	37
5.2.3 Rasgele Titreşimler.....	44
5.2.4 Şok.....	45
5.3 TİTREŞİMİN İRDELENMESİ.....	45
5.3.1 Titreşim Nicelikleri.....	45
BÖLÜM 6 MATERYAL VE METOT.....	49
6.1 İŞ PARÇASI KESİCİ TAKIM VE TEZGAH ÖZELLİKLERİ.....	49
6.2 YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜMÜ.....	50
6.3 TİTREŞİM DENEY DÜZENEĞİ.....	51
BÖLÜM 7 DENEYSEL SONUÇ VE TARTIŞMA.....	53
7.1 YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK DEĞERLENDİRMELERİ.....	53
7.2 KESME HIZININ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ.....	53
7.3 DIŞ SAYILARININ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ.....	54
7.4 KESİCİ UÇ SAYISININ VE İLERLEMENİN PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ.....	56
7.5 KESİCİ UÇ SAYISI VE TALAŞ DERİNLİĞİNİN PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ.....	57
7.6 PASO SAYISININ PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ.....	58
7.7 KESME HIZI VE İLERLEMeye BAĞLI OLARAK TİTREŞİM FREKANSI.....	59
BÖLÜM 8 SONUÇ VE ÖNERİLER.....	65
8.1 SONUÇLAR.....	65
8.2 ÖNERİLER.....	67
KAYNAKLAR.....	69
ÖZGEÇMİŞ.....	73

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Torna tezgahı ve tornalama işleminin şematik olarak gösterimi.....	8
3.2 Kesici takımındaki aşınmaların şematik olarak gösterilmesi	15
4.1 M Sistemine göre yüzey pürüzlüğü profili	18
5.1 Titreşim sistemi.....	25
5.2 Titreşim hareketinin zaman ve frekans düzleminde gösterilmesi.....	27
5.3 Sinüzoidal titreşim hareketi.....	28
5.4 Yer değiştirme, hız ve ivme dalgaları.....	29
5.5 Sönümsüz serbest titreşim sistemi.....	30
5.6 Sönümsüz serbest titreşim hareketi.....	32
5.7 Sönümlü serbest sistemi.....	32
5.8 Sönümlü serbest titreşim hareketi.....	35
5.9 Sönümlü serbest titreşim hareketi.....	36
5.10 Sönümlü serbest titreşim hareketi.....	37
5.11 Sönümsüz zorlanmış titreşim sistemi.....	38
5.12 Sönümsüz zorlanmış titreşim sisteminde iletkenlik eğrisi.....	39
5.13 Sönümlü zorlanmış titreşim sistemi.....	40
5.14 Üç bölgede incelenebilir.....	43
5.15 Rasgele titreşim sinyalleri.....	44
5.16 Şok sinyali.....	45
5.17 Titreşim niceliklerinin parametreleri.....	46
5.18 Titreşim ölçüm zinciri.....	47
5.19 Band geçiş filtresi.....	48
6.1 İş parçası boyutları.....	49
6.2 CNC tezgahı.....	50
6.3 Raort ve RaXort.....	51
6.4 Titreşim deney düzeneği.....	52
7.1 Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü ilişkisi	54

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
7.2 Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü ilişkisi	55
7.3 Kesici uç sayısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi	56
7.4 Kesici uç sayısı ve ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü ilişkisi.....	57
7.5 Talaş derinliğinin kesici uç sayısına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü ilişkisi	58
7.6 Otuz pasodaki yüzey pürüzlülüğü ilişkisi gösterilmiştir.....	59
7.7 Kesici takımın kesme, sürtünme, boş da geçen zaman aralıkları	59
7.8 Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak titreşim frekansı.....	60
7.9 Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak titreşim frekansı.....	60
7.10 Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak titreşim frekansı	61
7.11 Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak titreşim frekansı	62
7.12 Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak titreşim frekansı	62
7.13 Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak titreşim frekansı	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
4.1 Yüzey pürüzlülüğü ölçme yöntemleri	20
4.2 Yüzey kalitesini değerlendirmekte kullanılan milli standartlar	22
4.3 Seçilen imalat sürecinin yüzey pürüzlülüğü aralıkları	23
6.1 Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazının teknik özellikleri	51
7.1 Farklı kesme hızlarına bağlı yüzey pürüzlülük değeri	54
7.2 Ortalama yüzey pürüzlülük	55
7.3 Ortalama yüzey pürüzlülük	56

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$A(t)$:	kütlenin “t” anındaki ivmesi (m/s^2)
a	:	talaş derinliği
C	:	sönümlü periyodik titreşim sisteminin sönümleme katsayısı (Ns/m)
c_0	:	sönümlü periyodik titreşim sisteminin kritik sönümleme katsayısı (Ns/m)
D	:	sönümleme oranı (boyutsuz orantı)
F	:	frekans
F_c	:	esas kesme kuvveti
F_f	:	ilerleme kuvveti
F_r	:	radyal kuvvet
f	:	ilerleme
K	:	yay sertliği veya katsayısı (N/m)
M	:	cismin kütlesi (kg)
$q_1 \dots q_2$:	faz açıları (rad)
R_t	:	pürüzlülük Yüksekliği
R_a	:	ortalama Pürüzlülük Değeri
T	:	periyot
V	:	kesme hızı
$V(t)$:	kütlenin “t” anındaki hızı (m/s)
ω_n	:	sönümsüz açısal doğal frekans (rad/s)
ω_{nd}	:	sönümlü açısal doğal frekans (rad/s)
$X(t)$:	kütlenin “t” anındaki yer değiştirme miktarı (m)
$X_0 \dots X_n$:	sinüzoidal bileşenlerin tepe genlikleri (m)
$Y(t)$:	sinüzoidal olmayan periyodik hareketin yer değiştirme miktarı (m)
x_{ORT}	:	titreşim niceliğinin mutlak ortalaması
x_{KOK}	:	titreşim niceliğinin kareler ortalamasının karekökü
ω	:	açısal frekansı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

KISALTMALAR

ANN	:	yapay sinir ağları (artificial neural network)
Al ₂ O ₃	:	alüminyum oksit
AISI	:	Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü
BUE	:	yığıntı talaş (built up edge)
CBN	:	kübik bor nitrür
CNC	:	bilgisayar destekli kontrol (computer numeric control)
Co	:	kobalt
E	:	zarf Sistemi
GA	:	genetik algoritma
HSS	:	yüksek hız çeliği (high speed steel)
ISO	:	Milletlerarası Standart Teşkilatı
KOK	:	kareler ortalamasının karekökü
M	:	ortalama çizgi sistemi
PCD	:	çok kristalli elmas
Si ₃ N ₄	:	silisyum nitrür
T	:	numune alma süresi (s)
TiN	:	titanyum nitrür
TiC	:	titanyum karbür
TiCN	:	titanyum karbonitrür
WC	:	tungsten karbür

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Titreşimin kesici takım ömrüne ve işlenen yüzey kalitesine, kesici takım ile iş parçası arasında sürekli oluşan bir titreşimin mevcut olması nedeniyle, kötü etkisi vardır. Talaş kaldırma esnasında, genellikle, zorlanmış titreşim ve kendiliğinden doğan titreşim olmak üzere iki tür titreşim ortaya çıkmaktadır. Zorlanmış titreşim, tezgahın mekanik hareketlerinden dolayı ileri gelirken kendiliğinden doğan titreşim ise talaş kaldırma olayından dolayı meydana gelen titreşimdir. Genelde kendiliğinden doğan titreşim, kesme hızı arttığı zaman kesme kuvvetlerinin azalmasından kaynaklanmaktadır. Bu titreşimlerin en kötü hali ise, işlenen yüzeyde titreşimden doğan takım izleri bırakacak derecede büyük olan “tırlama” olarak adlandırılan titreşimin ortaya çıkmasıdır ki bu doğrudan yüzey pürüzlülüğüne olumsuz etki yapar. Talaş kaldırma esnasında oluşan bu olayı önlemek için iş parçası bağlama mesafesi mümkün olduğunca en aza indirilmeli, iş parçası dengeli tespit edilmeli ve kesici takım altına altlıklar konulmalı, kuvvet altında şekil değiştirmeyen tezgah ve takımlar kullanılmalı, tezgahın hareket eden elemanlar arasındaki boşluklar en aza indirilmelidir.

Kesme şartları (kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği) optimize edilmeli, aşınma kriterine ulaşmış olan aşınmış bir takımla talaş kaldırma işlemi devam ettirilmemelidir (Şahin, 2000).

Bu amaçla bu çalışmada, AISI 1050 çelik malzeme kaplanmış sementit karbür kesici takımlar kullanılarak alın frezeleme işlemine tabi tutulmuştur. Alın frezeleme deneyleri beş farklı kesme hızında ($V_1=60$ m/dak, $V_2=90$ m/dak, $V_3=120$ m/dak, $V_4=150$ m/dak, $V_5=180$ m/dak), üç farklı talaş derinliğinde ($a=1$ mm, $a=2$ mm, $a=3$ mm) ve üç farklı ilerlemede ($s=0,5$ mm/devir, $s=0,1$ mm/devir, $s=0,15$ mm/devir) soğutma sıvısı kullanılmadan yapılmıştır. Alın freze çakısındaki kesici takım sayısının titreşim ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemek amacıyla deneylerde farklı sayılarda ($Z_1=1$, $Z_2=2$, $Z_3=3$, $Z_4=6$) kesici takımlar kullanılmıştır. Frezeleme işlemi esnasında oluşan titreşim ve yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Bu parametrelerin yüzey pürüzlülüğü ve titreşim üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kesici uç

sayısı arttığında yüzey pürüzlülük değerinin önemli miktarda arttığı gözlenmiştir. Ayrıca, titreşimin de yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmüştür.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Talaşlı imalat işlemleri esnasında kontrol edilmeyen titreşimler iş parçası yüzey kalitesinin bozulmasına, iş parçası ölçü tamlığının sağlanamamasına, kesici takımın erken aşınmasına ve kırılmasına, takım tezgahı bileşenlerinin zarar görmesine ve yüksek gürültüye neden olur. Yapılan çalışmalar talaşlı imalat işlemleri esnasında oluşan titreşimin karmaşık bir yapıda olduğunu göstermiştir. Talaşlı imalat işlemleri esnasında oluşan titreşim genel olarak zorlamalı titreşim (forced vibration) ve kendinden tahrikli titreşim (self-excited vibration) olmak üzere iki kısma ayrılır.

Zorlamalı titreşim, genelde takım tezgahının tahrik sistemlerinden, bileşenlerinin dengesizliğinden, yanlış ayarlamalardan ve motor ve pompalardan kaynaklanan bazı periyodik kuvvetler sonucu gerçekleşir. Frezeleme işlemi esnasında veya üzerinde kama kanalı olan bir milin tornalanması esnasında kesici takımın periyodik olarak kesme yapması neticesinde zorlamalı titreşim oluşur. Kesme parametrelerini ve kesici takım geometrisini değiştirmek zorlamalı titreşimi azaltmada etkin metotlardan bir tanesidir. Genel olarak tırlama (chatter) olarak da isimlendirilen kendinden tahrikli titreşim talaş kaldırma işlemi ile takım tezgahı yapısının etkileşiminden kaynaklanır. Kendinden kaynaklı titreşim çoğunlukla çok yüksek bir genliğe sahip olup iş parçası yapısındaki düzensizliklerden, oluşan talaşın şeklindeki değişikliklerden (testere dişi görünümünde bir talaş) veya takım-talaş arayüzündeki sürtünme şartlarının değişmesinden kaynaklanır. Kendinden tahrikli titreşimler genel olarak sistemin dinamik rijitliğinin artırılması ve sönümleme ile kontrol edilebilir. Takım tezgahları farklı frekanslarda farklı rijitliklere sahip olduğu için kesme parametrelerindeki değişim kendinden tahrikli titreşimi etkiler (Kalpakjian, 1991).

Orhan ve arkadaşları, değiştirilebilir uçlu freze çakısı ile işlemede takım aşınması ile titreşim arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir (Orhan v.d, 2007). Bu amaçla bir CNC dik işleme tezgahında çeşitli işleme deneyleri yapmışlardır. Deneylerde kesici uç olarak CBN ve iş

parçası olarak da 35 HRC sertliğinde AISI D3 soğuk iş takım çeliği kullanmışlardır. Titreşimler sadece işleme yönünde ölçülmüştür. Diğer yönlerdeki titreşimler ise etkilerinin ve genliklerinin nispeten düşük olması nedeniyle ölçülmesine gerek görülmemiştir.

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

Yapay zeka programlarının çeşitli mühendislik uygulamalarında kullanılması son yıllarda yaygınlaşmıştır. Yapay zeka tekniklerinin mühendislik uygulamalarında kullanılması yapay sinir ağları (Artificial Neural Network - ANN) modelleri, genetik algoritmalar (GA), bulanık mantık ve uzman sistemlerin geliştirilmesi ile mümkün olmaktadır. Bu programlar sayesinde karmaşık problemlerin çözümü kolaylaşmaktadır (Benardos et al., 2003). Talaşlı imalat işlemlerinde de yapay zeka programlarının kullanılması söz konusudur. Bu programlar vasıtasıyla takım durumu görüntüleme (Choi et al., 2004), yüzey pürüzlülüğü tahmini (Brezocnik et al.; Tsai et al., 1991), takım ömrü tahmini (Li et al., 2000; Ghosh et al., 2007) yapılabilmektedir.

Lou ve Chen yaptıkları çalışmada freze ile işleme sırasında oluşan yüzey pürüzlülüğü ile titreşim sinyalleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir (Lou et al., 1999). Takım üzerindeki titreşim ve sapmalar ve hem de iş parçasındaki titreşimler ölçülmüştür. Elde edilen deneysel veriler Bulanık sistem ile analiz edilmiştir. Yapılan bu çalışmaya göre devir sayısı, talaş derinliği ve titreşim ile yüzey pürüzlülüğü arasında bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Bulanık

sistem ile veriler işlenerek değerlendirilmiş olup buna göre deneysel veriler ile teorik sonuçlar karşılaştırılmış ve sonuçların oldukça uyum içerisinde oldukları görülmüştür.

Dong-Woo ve diğ. (1998), talaş kaldırma işlemlerinde takım durum izleme yöntemleri konusunda yapılan araştırmaları incelemişlerdir. Torna ve freze tezgahlarında talaş kaldırma işlemleri en çok incelenen işleme biçimleri olup takım aşınması, titreşim, takım kırılması, talaş oluşumu ve tipi ile takım geometrisi en yaygın olarak ele alınan konulardır. Yukarıda adı geçen konular ile ilgili yapılan analizlerde kesme kuvvetleri, akustik yayım ve ivmelenme ölçümleri en çok tercih edilen yöntemlerdir. Takım durum izlemede kullanılan algılayıcıların ve kullanılan yöntemlerin uluslararası standartlarda olmasına rağmen henüz endüstrinin isteklerine tam olarak cevap verebilecek bir model oluşturulamamıştır. Bununla birlikte bu alanda araştırmaların yoğun olarak devam ettiği görülmektedir (Dong et al., 1998).

Talaşlı imalat işlemleri esnasında kontrol edilmeyen titreşimler iş parçası yüzey kalitesinin bozulmasına, iş parçası ölçü tamlığının sağlanamamasına, kesici takımın erken aşınmasına ve kırılmasına, takım tezgahı bileşenlerinin zarar görmesine ve yüksek gürültüye neden olur. Yapılan çalışmalar talaşlı imalat işlemleri esnasında oluşan titreşimin karmaşık bir yapıda olduğunu göstermiştir. Ancak direk diş sayısının yüzey pürüzlülüğü ve titreşim üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla bir çalışmaya rastlanmamıştır.

BÖLÜM 3

TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK

3.1.TALAŞLI İMALAT İŞLEMİ

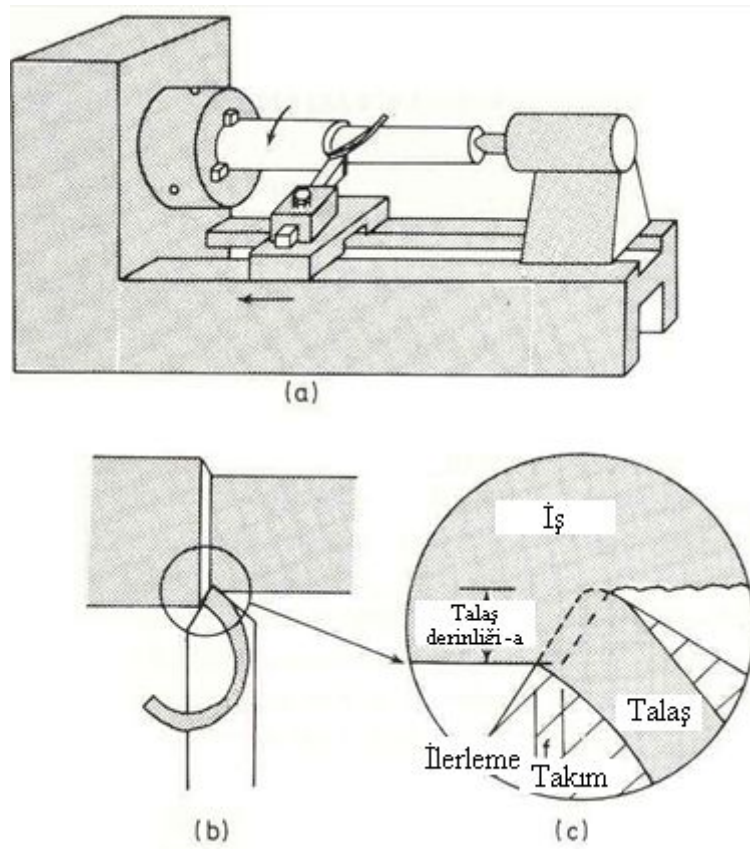
Talaşlı imalat işlemi, bir iş parçası üzerindeki fazlalıkları uygun kesici takım ve takım tezgahı kullanarak uzaklaştırmaktır. İş parçası metal olduğu zaman işlem metal kesme olarak da isimlendirilir. Talaşlı imalat işleminde etkin olan kesme hareketi iş parçasının kesici takım önündeki plastik deformasyonunu ve deforme olan bu katmanın talaşa dönüşmesini gerektirir. Bu yöntem çoğunlukla metalleri şekillendirmek için uygulansa da diğer bazı malzemeler de aynı yöntemle şekillendirilebilir (Groover, 1996; DeGarmo, 2000). Talaşlı imalat işlemi önemli imalat yöntemlerinden bir tanesidir. Aşağıdaki sebepler dikkate alındığında talaşlı imalat işleminin en önemli imalat yöntemlerinden biri olduğu anlaşılır:

1. Çok çeşitli malzemeler talaşlı imalat yöntemiyle şekillendirilebilir. Gerçekte bütün katı malzemeler işlenebilir. Polimer ve polimer esaslı kompozitler de talaşlı imalat yöntemiyle işlenebilir.
2. Talaşlı imalat işlemiyle düz ve dairesel yüzeyler gibi düzenli geometriler oluşturulabilir. Birkaç talaşlı imalat işlemi sırayla uygulanarak hemen hemen bütün karmaşık geometriler elde edilebilir.
3. Talaşlı imalat işlemiyle iş parçası ölçüleri çok yakın toleranslarda elde edilebilir ve çok iyi yüzey kalitesi elde edilebilir (Groover, 1996).

Farklı geometrilerdeki iş parçalarını talaşlı imalat yöntemiyle şekillendirebilmek için çeşitli talaşlı imalat işlemleri ve bu işlemlere özgü takım tezgahları geliştirilmiştir. Tornalama işlemi talaşlı imalat ile ilgili yapılan deneysel çalışmalarda en çok kullanılan talaşlı imalat yöntemidir. Etkin bir talaşlı imalat işlemi olan tornalama işlemi dairesel iş parçalarının işlenmesinde kullanılır. İşlenecek olan iş parçası genelde bir aynaya bağlanarak döndürülür. Bir takım tutucu üzerine yük etkisinde şekil değiştirmeyen kesici takım dönen iş parçası ekseninde ilerletilerek ve iş parçasından bir katman kaldırılarak, dairesel veya daha karmaşık

profilli yüzeyler oluşturulur. Şekil 3.1 torna tezgahı ve tornalama işlemini şematik olarak göstermektedir.

Kesme hızı, kesilmemiş iş parçası yüzeyindeki bir noktanın kesici takım önünde birim zamanda aldığı yol olarak tanımlanır ve çoğunlukla m/min olarak ifade edilir. İlerleme hızı, iş parçası malzemesinin her bir dönüşünde kesici takımın iş parçası eksenine paralel olarak kat ettiği mesafedir. Talaş kalınlığı, iş parçası malzemesinden kaldırılan malzemenin derinliğidir ve iş parçası eksenine dik yönde ölçülür. Bu üç kesme parametresinin çarpımıyla ekseriyetle metal kesme işleminin verimliliğini ifade eden talaş kaldırma oranı bulunur (Trent, 1989).



Şekil 3.1 Torna tezgahı ve tornalama işleminin şematik olarak gösterimi, a. İlerleme, b. Talaş derinliği, c. Kesme hızı (Trent, 1989).

3.2 İŞLENEBİLİRLİK

İşlenebilirlik, uygun kesici takım ve kesme parametreleri kullanılarak bir malzemeyi (çoğunlukla metal) talaşlı imalat yöntemleriyle şekillendirebilmenin nispi kolaylığı veya zorluğudur (Sandvik, 1996). İşlenebilirlik, ekseriyetle malzemenin özgül bir özelliği olarak

algılansa da, işlenebilirlik sadece işlenen malzemeye bağlı olmayıp aynı zamanda işleme yöntemi ve işleme parametrelerine de bağlıdır (DeGarmo et al., 1997).

İşlenebilirliği değerlendirmek için çeşitli kıstaslar kullanılır. Bunlardan en yaygın olanları:

1. Takım ömrü;
2. Kesme kuvvetleri ve harcanan enerji veya güç;
3. İşlenen yüzey kalitesidir (Shaw, 1994).

Malzemelerin işlenebilirliklerini etkileyen malzeme özellikleri sertlik, süneklik, ısı iletkenlik, pekleşme ve malzemenin kimyasal bileşimidir. Örnek olarak, sertlik arttıkça kesici takımın aşınma artar ve dolayısıyla takım ömrü kısalmır. Düşük sertlik ve dayanım genelde iyi işlenebilirlik anlamına gelmekle birlikte sertliği az olan çok sünek malzemelerde yığıntı talaş (Built-Up-Edge - BUE) oluşumu gerçekleştiği için yüzey kalitesi kötüleşir ve takım ömrü kısalmır. Çok düşük sertlik talaşlı imalat işleminin performansını kötü yönde etkileyebilir. Örnek olarak, nispeten düşük sertliğe sahip düşük karbonlu çeliğin işlenmesinde kötü yüzey kalitesi oluşur ve talaş uzaklaştırılması ile ilgili problemlerle karşılaşılır. Bu nedenle, düşük karbonlu çeliklerde yüzey sertliğini artırmak ve talaş kırılmasını sağlamak için ekseriyetle soğuk çekme işleme uygulanır. Düşük süneklik, metal kesme işleminde genelde olumlu bir etki yaparak iyi talaş oluşumuna katkıda bulunur ve metal kesme işlemi için daha az güç gerektirir. Artan iş parçası dayanımı da kesme kuvvetleri, özgül enerji ve kesme sıcaklığını artıracak için, artan dayanımla metal kesme işlemi zorlaşır. Bununla birlikte, yüksek ısı iletkenlik kesme bölgesinden oluşan ısının hızlı olarak uzaklaştırılması demektir. Bu nedenle, yüksek ısı iletkenlik işlenebilirlik yönünden genelde faydalıdır (Kopaci, 1999).

Ayrıca, bir malzemenin kimyasal bileşimi, maruz kaldığı ısı işlem ve malzeme dökülürken çevresel şartlardan ve kimyasal şartlar oluşan işlenebilirlik özelliğini önemli ölçüde etkiler ve bazı durumlarda kimyasal bileşim takım üzerinde etkin olan aşınma mekanizmalarını da belirler (Groover, 1996; Sandvik, 1996).

3.3 KESİCİ TAKIMLAR

Talaşlı imalat işlemi esnasında yüksek sıcaklık ve gerilmeler nedeniyle kesici takımların etkin bir şekilde uzun süre kesme işlemi yapabilmesi için kesici takım malzemeleri aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır (Sandvik, 1996).

1. Yüksek sertlik ve sıcak sertlik,
2. Yüksek tokluk,
3. İş parçasına karşı kimyasal olarak asallık,
4. Oksidasyon ve kimyasal olarak çözünmeye (dissolution) karşı kararlılık,
5. Isıl şoklara karşı direnç,

Endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılan kesici takım malzemeleri aşağıda kısaca özetlenmiştir.

3.3.1 Yüksek Hız Çeliği

Yüksek hız çeliği, karbon ve düşük alaşımlı çeliklere nazaran yüksek sıcaklıklarda sertliğini koruyabilen yüksek alaşımlı bir takım çeliğidir ve günümüzde kullanılan en önemli takım malzemelerinden biridir. Matkap, kılavuz, freze çakıları ve tığlar gibi karmaşık geometriye sahip kesici takımların üretiminde yaygın olarak kullanılırlar. Yüksek hız çeliği kesici takımlar sementit karbür ve seramik gibi daha sert kesici takımlardan daha iyi tokluk özellikleri sergilerler. Taşlamayla istenilen geometriye kolayca getirilebildikleri için, imalatçılar tarafından tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takım olarak da kullanılırlar. Yüksek hız çeliği takımlar, özellikle matkaplar, kesme performanslarının önemli ölçüde artırılması için TiN ile kaplanırlar (Trent, 1989).

3.3.2 Sementit Karbürler

Sementit karbür kesici takımlar ilk olarak tungsten karbür (WC) ve kobalt (Co) parçacıklarından toz metalürjisi yöntemleriyle üretilmişlerdir. Sert WC parçacıklarından dolayı dökme demir ve çelik dışı metallerin işlenmesinde yüksek hız çeliğinden daha yüksek kesme hızlarında etkin bir şekilde kullanılmıştır (Trent, 1989).

Çelik ve WC-Co arasındaki güçlü bir kimyasal reaksiyondan dolayı takım-talaş ara yüzeyinde adhezyon ve difüzyon vasıtasıyla özellikle çeliklerin işlenmesi esnasında hızlı krater aşınması olduğu için, WC-Co sementit karbür kesici takımlara TiC ve TaC ilave edilerek krater aşınma direnci önemli derecede iyileştirilmiştir. WC-TiC-TaC-Co kesici takımlar çeliğin işlenmesinde kullanılabilir (Trent, 1989; Sandvik, 1996).

İki tür sementit karbürün genel özellikleri benzer olup aşağıdaki gibidir:

1. Yüksek basma dayanımı, düşük veya orta seviyede çekme dayanımı,
2. Yüksek sertlik (90-95 HRA),
3. Yüksek sıcak sertlik,
4. İyi aşınma direnci,
5. Yüksel ısı iletkenlik,
6. Yüksek elastikiyet modülü,
7. Yüksek hız çeliğinden düşük tokluk (Trent, 1989).

Çelik dışı malzemelerin işlenmesinde kullanılan sementit karbür kesici takımlar alüminyum, pirinç, bakır, magnezyum, titanyum ve dökme demirin işlenmesinde kullanılır. Çelik türü malzemeler için olan sementit karbür ise düşük alaşımlı, paslanmaz ve diğer alaşımlı çeliklerin işlenmesinde kullanılır. Bu tür kesici takımlarda WC ile birlikte TiC ve/veya TaC'de kullanılır. Çoğunlukla % 10–25 oranında TiC ve TaC aynı oranda WC azaltılarak ilave edilir. Bu yapı, bu tür kesici takımlarda çeliğin işlenmesinde krater aşınma direncini artırır fakat çelik dışı malzemelerin işlenmesinde hızlı yan yüzey aşınmasına sebep olur (Trent, 1989).

3.3.3 Kaplamalı Sementit Karbür

Sementit karbürlerin aşınmaya dirençli TiC, TiN ve/veya Al₂O₃ gibi malzemelerle kaplanması kesici takım alanındaki en önemli gelişmelerden biri olarak kabul edilir. Kimyasal (CVD) veya fiziksel (PVD) buhar çökeltme yöntemleriyle sementit karbür altlık üzerine birkaç mikron kalınlığında tek veya çoklu katman olarak kaplanan bu malzemeler, sementit karbür kesici takımın performansını önemli ölçüde artırır (Sandvik, 1996).

Kaplamalar, geliştirildikleri ilk zamanlarda tek katman olarak uygulanmıştır fakat son zamanlarda çok katlı kaplamalar geliştirilmiştir. WC-Co kesici takıma, adhesiv olarak iyi birleşmelerinden ve birbirlerine yakın ısıl iletkenlik katsayılarından dolayı çoğunlukla TiN veya TiCN uygulanır. Bu ilk katmanın üzerine TiN, TiCN ve Al₂O₃ uygulanması yaygındır(Sandvik, 1996).

3.3.4 Sermet

Sermet ifadesi seramik ve metal kelimelerinden türetilmiştir ve sementit karbürlerin müşterek ismidir. Sermet kesici takımda sert parçacıklar WC'den ziyade TiC, TiCN ve/veya TiN esaslı seramik parçacıklardan oluşurken birleştirici faz da nikel ve/veya molibdenden oluşur. Sermet kesici takımlar da sementit karbür gibi toz metalurjisi yöntemleriyle üretilirler. Çelik, paslanmaz çelik ve dökme demirin bitirme ve yarı bitirme işlemlerinde yüksek kesme hızlarında kullanılırlar. Çeliklerin işlenmesinde kullanılan sementit karbür kesici takımlardan genellikle daha yüksek hızlarda kullanılırlar. Düşük ilerleme hızları kullanılarak iyi bir yüzey elde edilerek çoğunlukla taşlama işlemine gerek kalmaz (Sandvik, 1996; DeGarmo,1997).

3.3.5 Seramik

Seramik kesici takımlar esas olarak alüminyum oksit (Al₂O₃) ve silisyum nitrür (Si₃N₄) olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Sementit karbür kesici takımlarla karşılaştırıldıklarında yüksek sertlik ve sıcak sertlik, yüksek aşınma ve plastik deformasyon direnci ve iyi kimyasal kararlılık özelliklerine sahip olmakla birlikte düşük ısıl şok direnci ve kırılma tokluğu özellikleri sergilerler. Al₂O₃ seramik kesici takımlar dökme demir ve çelik dökümünün yüksek hızlarda işlenmesinde başarıyla kullanılırlar. Yük etkisinde şekil değiştirmeyen bir bağlama gerçekleştirildiğinde, sertleştirilmiş çeliklerin bitirme işlemleri yüksek hız, düşük ilerleme ve düşük talaş derinliği kullanılarak gerçekleştirilebilir (Sandvik, 1996).

Üretimlerindeki ve sinterlenmelerindeki iyileştirmelerle ve tokluklarını artırıcı çeşitli elementlerin katılmasıyla seramik kesici takımlar daha iyi dayanım, ısıl şok direnci ve kırılma tokluğu gibi özelliklere sahip olmuşlardır ve dolayısıyla uygulama alanları genişlemiştir (Sandvik, 1996).

3.3.6 Çok sert kesici takımlar

Doğal elmas (tek kristalli), çok kristalli elmas (Polycrystalline Diamond - PCD) ve kübik bor nitrit (Cubic Boron Nitride - CBN) çok sert kesici takımlar grubuna giren malzemelerdir. Doğada bilinen en sert malzeme doğal elmadır. Sementit karbür veya Al_2O_3 'ten yaklaşık olarak 3–4 kat daha serttir. Anizotropik özellik sergilediği için ölçüm yapılan kristal düzlemine bağlı olarak sertliği 6500 – 12000 VSD arasında değişir. Çok yüksek sertliği, mükemmel aşınma direnci, düşük sürtünme katsayısı, düşük genleşme katsayısı ve ısı şok direncini artıran yüksek iletkenliği ve iyi uç keskinliği tek kristalli elması takım malzemesi olarak cazip hale getirmiştir. Elmas kesici takımlar yüksek sertliklerinden dolayı karbür ve seramik kesici takımlardan aşınma direnci abrasif aşınma mekanizmasının hakim olduğu yerlerde çok daha iyidir (Trent,1989; Sandvik, 1996).

Kesici takım olarak tek kristalli elmas özel uygulamalar için kullanılır. En yüksek sertliği veren kristal yönelmesi seçilir ve kesici takım geometrisine lepleme ile getirilir. Kesici uçlar mükemmel biçim hassasiyetine getirilir, uçlar hazırlanır ve çok yüksek hassasiyette ve kalitede bitirme yüzeyleri elde edilebilir. Optik aletlerin üretimi için kullanılır. Bununla birlikte, düşük tokluklarından, kesici takım geometrisine getirilmedeki güçlüklerinden ve yüksek maliyetlerinden dolayı tek kristalli elmas kesici takımların kullanımları oldukça sınırlıdır (Trent,1989).

Çok kristalli elmas (Polycrystalline Diamond - PCD) kesici takımlar yapay elmasın grafitik karbondan çok yüksek sıcaklık ve basınç altında üretiminden sonra kullanılmaya başlanmıştır. Çeşitli boyut ve şekillerde üretilen elmas parçacıklar bir metalik birleştirici ile birlikte bir araya getirilerek sıcak presleme yöntemiyle çok yüksek basınç altında kesici takım geometrisinde imal edilir. Çoğunlukla 0,5 – 1 mm kalınlığındaki PCD, sementit karbür alt katman üzerinde kesici takım olarak kullanılır (DeGarmo et al., 1997).

PCD kesici takımlar rasgele yönelmiş elmas parçacıklarından oluştuğu için çoğu uygulamalarda izotropik davranış sergilerler. Doğal elmadan elde edilebilecek kadar mükemmel bir kesici ucun PCD kesici takımla elde edilmesi mümkün olmamakla birlikte kesici uç deformasyona daha az duyarlıdır. Bununla birlikte diğer kesici takımlarla karşılaştırıldığında aşınmaya karşı dayanımı mükemmeldir. Çok uzun süre kesme hassasiyetini koruduğu için özel uygulamalar için çok uygundur. Doğal elmas gibi demir dışı

ve metal dışı malzemelerin işlenmesinde kullanılır (Trent, 1989). Yüksek dayanım ve sertliğine rağmen yüksek sıcaklıkta çeliğin işlenmesinde hızlı takım aşınmasından dolayı kullanılmaz. Yüksek sıcaklıkta elmasın grafitte dönüşümü ve/veya elmas ile demir veya atmosfer arasındaki etkileşimden dolayı hızlı takım aşınması gerçekleşir (Trent, 1989).

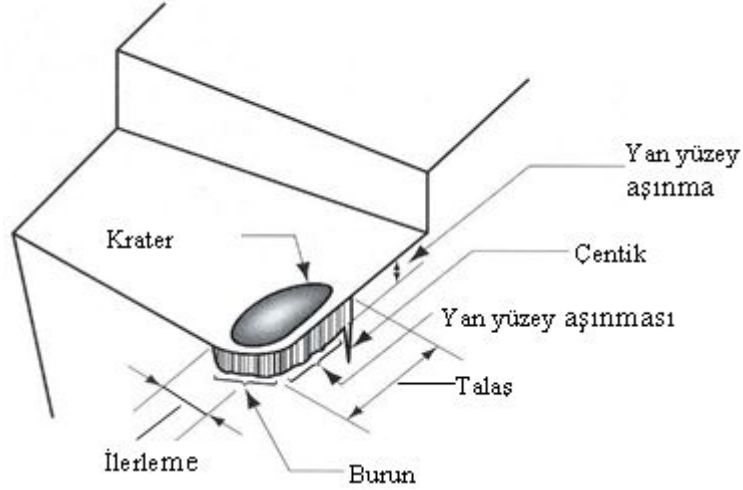
Yapay elmas üretiminde kullanılan aynı teknoloji ile hekzagonal bor nitritten (Cubic Boron Nitride - CBN) üretimi gerçekleştirilmiştir. 3500 – 4500 VSD sertliği ile elmastan sonra sertlikte ikinci sırada yer alır. 1100 °C sıcaklıkta sertliği 1800 – 2000 VSD olup sementit karbürün oda sıcaklığındaki sertliğine tekabül eder. Mükemmel aşınma direnci, iyi ısıl iletkenliği, düşük sürtünme ve ısıl genleşme katsayıları diğer özellikleridir (Trent, 1989).

PCD kesici takımlarda olduğu gibi CBN parçacıkları çok yüksek basınçlar kullanılarak kesici takım haline getirilir. Yoğunluğunu artırmak için başlangıç parçacıklarına bir miktar metal tozu ilave edilir. CBN demir, kobalt ve nikel esaslı malzemelerin işlenmesinde kullanılır. Titanyum, alüminyum ve zirkonyum gibi nitrit ve bor oluşturan elementlerle reaksiyona girer (Trent, 1989).

3.4 TAKIM AŞINMASI

Talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan kesici takımların aşınması, talaşlı imalat işleminin verimliliğini, üretilen iş parçasının boyutlarını ve yüzey kalitesini doğrudan etkiler. Kesici takımda aşınma arttıkça, kesme kuvvetleri, kesme bölgesinde sıcaklık, titreşim ve ses artar. Artan kesme kuvvetleri sonucu daha fazla enerji gereksinimine ihtiyaç duyulur. Aynı zamanda, artan kesme kuvvetleri iş parçası ve kesici üzerinde daha fazla gerilme oluşur. Aşınmış kesici takımda, kesici takımın kesici ucunda keskin bir kenardan farklı olarak sürtünen bir bölge olacağı için bu bölgenin iş parçası ile sürtünmesi sonucu da daha fazla ısı enerjisi açığa çıkararak, kesme bölgesinde kesici takım ve iş parçasının sıcaklığı artar. Artan sıcaklıkla aynı zamanda, iş parçası boyutlarında sapma olur ve istenilen ölçü toleranslarının dışına çıkılarak hatalı parçalar üretilebilir. Yüksek sıcaklık sonucu iş parçasının yüzeyinde ve yüzey altında istenilmeyen metalurjik dönüşümler oluşabilir. Bu dönüşümler iş parçası yüzeyinde çekme tipinde kalıcı gerilmelere neden olarak iş parçalarının yorulma dayanımı azaltılabilir.

Kesici takımın aşınması sonucu ortaya çıkan diğer bir olumsuzlukta titreşimdir. Titreşim sonucu iş parçası yüzey pürüzlülüğü artar. İş parçası yüzey pürüzlülüğü kesici takımda küçük kırılmalar şeklinde aşınma olduğunda da artar. Talaşlı imalat işlemi esnasında titreşim kesici takım üzerinde çevrimsel yükler oluşturacağı için kesici takımın kırılmasına da neden olabilir. Şekil 3.2’de, kesici takımdaki aşınmalar şematik olarak gösterilmiştir (Groover 1996). Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takımın aşınması aşağıdakilerden biri veya birkaçının aynı anda gözlenmesiyle anlaşılır.



Şekil 3.2 Kesici takımdaki aşınmaların şematik olarak gösterilmesi (Groover 1996)

Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takımın aşınması aşağıdakilerden biri veya birkaçının aynı anda gözlenmesiyle anlaşılır:

1. Kesme kuvvetlerindeki aşırı yükselme,
2. Sıcaklık artışı,
3. Aşırı titreşim,
4. Yüksek gürültü,
5. İşlenen malzeme boyutlarındaki değişim,
6. İşlenen yüzeyin bozulması.

Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takımın kesme kabiliyetini kaybettiği üç faktör mevcuttur:

Kırılma, kesici takıma gelen anlık yüksek kuvvetler nedeniyle oluşan kırılmalar veya sürekli olmayan kesme işlemi (frezeleme işlemi gibi) esnasında mekanik ve ısıl yorulmalar sonucu

kırık oluşumundan dolayı kesici takımda kırılma ve pullanma-soyulma şeklinde oluşan aşınmalardır.

Plastik deformasyon, kesici takımda plastik deformasyon, yüksek basınç ve sıcaklık sonucu oluşur. Plastik deformasyona uğramış kesici takım geometrisi değiştiği için kesme işlemini etkin bir şekilde yapamaz, sıcaklık artar ve talaş akışı değişir. Plastik deformasyona direnç için kesici takımın sıcak sertlik özelliğinin iyi olması gerekir. Ayrıca, uç yuvarlatma ve kesme geometrisi iyileştirilerek plastik deformasyona direnç artırılabilir.

Tedrici takım aşınması, kesici takım üzerinde tedrici aşınma talaş yüzeyi ve yan yüzey olmak üzere iki bölgede görülür. Talaş yüzeyindeki aşınma “krater aşınması” ve yan yüzeydeki aşınma da “yan yüzey (yanak) aşınması” olarak isimlendirilir. Krater aşınması, kesici takım talaş yüzeyinde talaşın hareketiyle oluşan içbükey alandır. Krater aşınmasının büyüklüğü, bu alanın derinliği ve alanı ölçülerek belirlenir. Yan yüzey aşınması ise yeni oluşan iş parçası yüzeyi ile kesici takım yan yüzeyinin sürtünmesiyle oluşur. Yan yüzey aşınması bu aşınma bandının genişliği ile ölçülür. Kesici takımın iş parçası orijinal yüzeyi ile temasta olan yan yüzeyinde çoğunlukla daha fazla bir aşınma görülür. Çentik aşınması olarak adlandırılan bu aşınmanın sebebi iş parçası yüzeyinin soğuk haddeleme veya önceki işlemlerden dolayı sertleşmiş olması, dökümden kalan sert malzemeler ve diğer nedenlerdir (Çiftçi, 2005).

BÖLÜM 4

YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

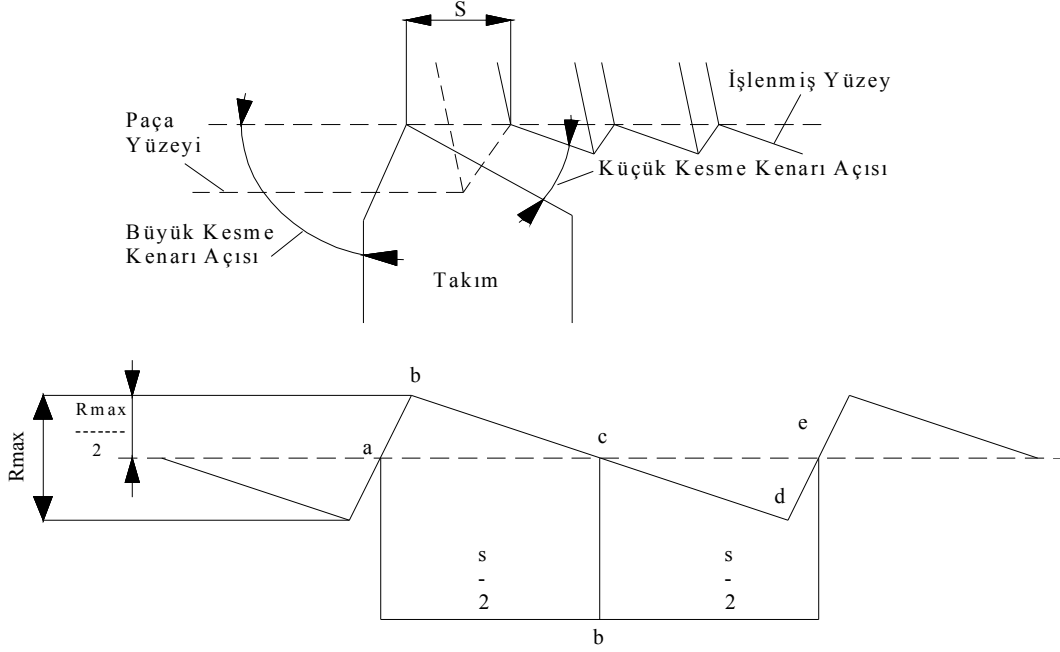
4.1 İMALATTA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

İşlenmiş bir yüzeyin yapısı, kalite açısından en önemli kıstaslardan birisidir (Stout, 1998). Malzemelerin işlenmesi anında kullanılan her bir parametre yüzey hassasiyetini etkilemektedir (Griffiths, 2001). Yüzey pürüzlülüğü yüzey kalitesini belirleyen bir parametredir. Yüzey pürüzlülüğü, ilerleme miktarı, paso derinliği, kesme hızı, devir sayısı gibi parametrelere bağlıdır. İşlenmiş parça yüzeylerinin tribolojik özellikleri, yüzey dokusundan birinci derecede etkilenmektedir. Yüzey pürüzlülüğü sadece aşınma, sürtünme ve yağlama gibi tribolojinin geleneksel konularında değil aynı zamanda sızdırmazlık, hidrodinamik, elektrik, ısı iletimi vb. farklı alanlarda da dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Bu yüzden makine parçalarında yüzey pürüzlülük değerinin tespiti oldukça önemlidir (Çoğun v.d. 2002).

Yüzey pürüzlülüğü, kullanılan imalat metotları ile ve başka etkilerle ortaya çıkan, mutad tarzda genellikle başka düzensizliklerle sınırlanan oldukça küçük aralıklı yüzey düzensizlikleridir. Kesici takımdan veya üretim sürecindeki diğer problemlerden kaynaklanan yüzey düzensizlikleri pürüzlülük olarak tanımlanır. Pürüzlülük çapraz ilerleme izleri ile diğer düzensizlikleri kapsar. Talaş kaldırma işleminin amacı, parçalara sadece bir şekil vermek değil, bunları geometri, boyut ve yüzey bakımından parça resminde gösterilen belirli bir doğruluk derecesine göre imal etmektir. Buna işlem kalitesi denilmektedir. Parçanın geometri, boyut ve yüzey doğruluğunu kapsayan yüzey kalitesi, günümüzde talaş kaldırma işleminin en önemli özelliğidir. Boyut kalitesi, parçanın gerçek boyutları arasında müsaade edilen sapmalardır. Bu sapmalar boyut toleransları ile ifade edilir. Boyut toleransları imalat kalitesine ve boyutun büyüklüğüne göre tayin edilirler. Geometri kalitesi, müsaade edilen şekil ve konum sapmalarını içerir. Bunlar ideal silindirik şekle göre sapmalar, ideal yüzeye göre sapmalar ve eksenel sapmalar olmak üzere üç gruba ayrılır (Korucu, 1996).

4.2 İDEAL YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

İdeal yüzey pürüzlülüğü, kesici takımdaki hatalar, vuruntular, kesici uçta oluşan malzeme sıvanması gibi etkenler azaltıldığında, verilen kesici biçimine ve ilerlemeye bağlı olarak mümkün olan en iyi bitirme yüzey değerini gösterir. Şekil 4.1`de görüldüğü üzere en ideal şartlar altında bulunan ideal bitirme yüzeyinin sivri uçlu kesici takımla tornalama operasyonu için verilmiştir (Kocagöbek, 2001).



Şekil 4.1 M Sistemine göre yüzey pürüzlüğü profili

4.3 YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

4.3.1 İmalatta Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri

İşleme kalitesine etki eden faktörler dört grupta incelenir.

1. Takım tezgahına ait sapmalar; tezgahın kinematik mekanizmasındaki mevcut olan hataların etkisinden, ana mil ile kızak yüzeylerinin paralel olmamasından, tezgahın tüm mekanizmaları ve yataklama sistemlerindeki mevcut olan sapmalar ve boşlukların etkisinden, gövde ve ana milin yeterince rijit olmamasından dolayı oluşur.

2. Tezgah sistemine ait hatalar; ana elemanların imalat hatalarından, tertibatın yeteri kadar rijit olmamasından, ana elemanlarda oluşan hatalardan kaynaklanır.
3. Takım sistemine ait hatalar; takımın konum bakımından hatalı bir şekilde tutturulmasından, kesme kuvvetlerinin etkisi altında şekil değiştirmelerin oluşması ve takımın aşınmasından kaynaklanır.
4. Ortamın etkisi altında meydana gelen hatalar; sıcaklığın oluşturduğu şekil değiştirmeleri ve diğer tezgahlardan gelen titreşimlerden kaynaklanır (Korucu, 1996).

4.3.2 Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Önemli Faktörler

Gerçek Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Önemli Faktörler şöyle sıralandırılabilir.

1. Kesici takımdaki titreşimler
2. Kesici takım geometrisi
3. İşlenen iş parçasındaki titreşim ve salgılar
4. İşleme takım hareketlerindeki bozukluklar
5. Kesme sırasında ilerleme miktarı
6. Kesme sırasında hız miktarı
7. Verilen talaş derinliği
8. İlerleme mekanizmasındaki düzensizlik
9. Takım ve iş parçasının elastik deformasyonu
10. İş parçalarındaki malzeme yapı bozuklukları
11. Kesici uç üzerine talaşın yapışması
12. Kesme kenarının pürüzlülüğü, birinci ve ikinci kesme kenarında oluşan izler ve aşınma
13. İşlenen malzemelerin süreksiz talaş vermesi Düşük kesme hızıyla işlenen yumuşak malzeme yüzeyindeki yırtılmalar.
14. Talaş akışının sebep olduğu yüzey bozulması
15. İş parçasının talaş kaldırılan yüzeyinden 100 mikrometre derinlikteki fiziksel ve kimyasal özellikler (URL -1, 2007)

4.4 YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇME YÖNTEMLERİ VE ÖZELLİKLERİ

Çizelge 4.1’de yüzey pürüzlülüğü ölçüm yöntemleri gösterilmiştir (URL -1, 2007).

Çizelge 4.1 Yüzey pürüzlülüğü ölçme yöntemleri

ÖLÇME YÖNTEMİ	UYGULAMA ŞEKLİ			ÖLÇME HASSASİYETİ			
	Tahribatlı	Tahribatsız	Temaslı	Temasız	Kaba	Orta	Hassas
Dokunma Yöntemi		*	*		*		
Mekanik Çalışma Yöntemi	*		*		*		
Hidrolik Metot		*	*		*		
Pnomatik Metot		*		*			*
Yüzey Dinamometresi	*		*		*		
Kapasitans Yöntemi		*		*		*	
X Işını Yöntemi		*		*			*
Elektron Mikroskobu Yöntemi		*		*			*
Optik Mikroskobu Yöntemi		*		*	*		
Kesit Alma Yöntemi	*		*		*		
Karşılaştırma Mikroskobu Yöntemi		*		*	*		
Optik Yansıtma Yöntemi		*		*			*
Optik Parazit Aletleri Yöntemi		*	*			*	
Işık Yansıması (interferometre) Yöntemi		*		*			*
Replika (mask) yöntemi		*	*		*		
Standart Örnek Yüzeyler Yöntemi		*		*	*		
Işık Bantlı Mikroskop Yöntemi		*		*			*
Elektro-Fiber Optik Sistem Yöntemi		*		*			*
Interferans Mikroskop Yöntemi		*		*			*
Kisilev Profilometresi Yöntemi		*	*				*
Yaylı Tip Profilometresi Yöntemi		*	*				*
Elektrikle Çalışan Profilometresi Yöntemi		*	*				*
Levin Profilografisi Yöntemi		*		*		*	

4.5 KESİCİ TAKIM AŞINMASININ ETKİLERİ

Talaş kaldırmada takım aşınması izlenmesi gereken parametrelerden biridir. Serbest yüzey aşınması üretilen parçanın büyüklüğünü ve yüzey kalitesini doğrudan etkiler. Takım aşınmasının belirlenmesinde en önemli amaç üretime ara verilmeden aşınmanın tespit edilebilmesidir. Bu amaçla modern üretim tezgahlarında adaptif denetim mekanizmaları geliştirilmiştir. Otomatik talaş kaldırma işlemlerinde kesici takımın ömrünü tamamlamadan önce değiştirilmesi gerekir. Aksi takdirde üretime devam etmesine rağmen, üretilen parçaların tolerans değerleri uygun olmayacaktır. Kesici uçta ve serbest yüzeyde oluşan aşınmalar yüzey kalitesinde bozulmalara neden olacağı gibi, üretimin kesici takım değiştirilmeden devam ettirilmesi üretim ve takım maliyetlerini arttıracaktır.

4.6 KESME KUVVETLERİNİN ETKİLERİ

Talaş kaldırma sırasında meydana gelen dirençleri yenmek için gerekli talaş kaldırma kuvveti; F_s kesme kuvveti, F_r radyal kuvveti ve F_v ilerleme kuvveti olmak üzere üç genel bileşene ayırtmamız yeterli olur. Talaş kaldırma sırasında kesme kuvvetleri gerek takım, gerekse parça üzerinde birtakım şekil değiştirmelere neden olarak takım-parça konumunu değiştirirler ve işleme kalitesini etkilerler. Esasen parça – takım – tezgah zinciri esnek bir sistemdir. Dolayısıyla talaş kaldırma sırasında kesme kuvvetlerinin değişken olmasından dolayı titreşimler meydana gelebilir. Bu titreşimlerin şiddetli olması durumunda kötü bir yüzey kalitesine neden olan tırlama olayı oluşur.

4.7 MİLLİ STANDARTLAR

Yüzey pürüzlülüğü tanımlanmasında kullanılan sayısal değer ve ölçümler için değişik ülkeler çeşitli milli standartlar getirmişlerdir. Avrupa'da zarf sistemi daha çok tercih edilirken, Amerika ve İngiltere gibi ülkeler ortalama çizgi sistemini tercih etmişlerdir. Bazı ülkelerin kullanmakta olduğu simgeler Çizelge 4.2'de gösterilmektedir. Ayrıca seçilen imalat sürecinin yüzey pürüzlülüğü aralıkları Çizelge 4.3'de gösterilmiştir (URL-3, 2007).

Çizelge 4.2 Yüzey kalitesini değerlendirmekte kullanılan milli standartlar(URL-2, 2007)

<i>Ülke</i>	<i>Kullanılan Sistem</i>	<i>Ölçme Birimi</i>	<i>Tavsiye Edilen Sayısal Değerler</i>
Avusturya	M	μm	Rt (Rmax)
Kanada	M	μin	Ra
Çekoslovakya	M	μm	Ra veya Rt
Danimarka	M	μm	Ra
Fransa	E	μm	Ra
Almanya	E	μm	Rt
İngiltere	M	μin	Ra
İtalya	E	μm	Ra
Japonya	M	μm	Rt
Hollanda	M	μin	Ra
İspanya	M	μm	Ra
İsveç	M	μm	Düzeltilmiş Ra
Amerika	M	μin	Ra
Rusya	M	μm	Ra
Türkiye	M	μm	Ra

Çizelge 4.3 Seçilen imalat sürecinin yüzey pürüzlülüğü aralıkları (URL-3, 2007)

Metot	Ortalama Pürüzlülük Ra, mikrometre μm , mikroinç $\mu\text{inç}$													
	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	0.025	0.012	
	2000	1000	500	250	125	83	32	16	8	4	2	1	0.5	
Alevle Kesme														
Kopartma														
Testere İle Kesme														
Planyalama/Vargelleme														
Delme														
Kimyasal İşleme														
Elektro Erozyon														
Frezeleme														
Broşlama (Tiğ Çekme)														
Raybalama														
Elektron Işını İle İşleme														
Lazer														
Elektro Kimyasal İşleme														
Tornalama														
Tamburda Parlatma														
Elektrolitik Taşlama														
Fırça İle Parlatma														
Dövme														
Honlama														
Elektro Polısaj														
Polısaj														
Lebleme														
Süper Bitirme														
Kum Döküm														
Sıcak Haddeme														
Dövme														
Hassas Kalıpta Dökme														
Hacim Kalıplama														
Ettrüzyon														
Soğuk Haddeme/Çekme														
Kalıpta Dökme														

Yukarıda, tipik işlemlerin aralıkları listelenmiştir

Özel durumlarda deha yüksek ve daha düşük değerler elde edilir

■ Genel (Ortalama) Uygulamalar

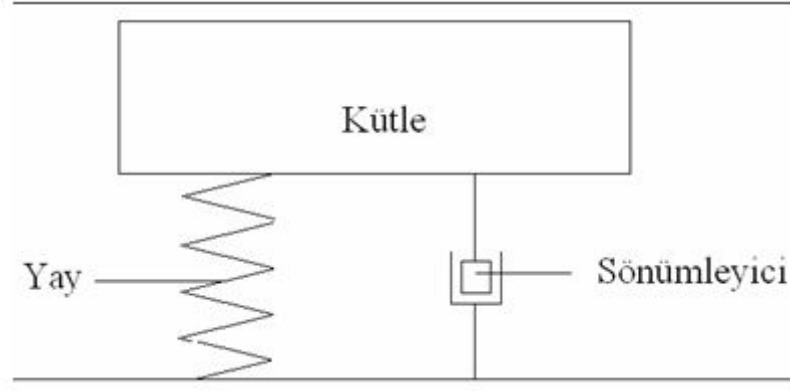
■ Daha Az Yapılan Uygulamalar

BÖLÜM 5

TİTREŞİM

5.1 TİTREŞİM TEORİSİ

Titreşim bir kütlenin referans bir pozisyon etrafında yapmış olduğu salınım hareketidir (Anonymous, 1982). Başka bir deyişle titreşim, bir kütlenin belirli bir merkez etrafında çevrimsel hareketi olarak da ifade edilebilir. Titreşim, bir kütlenin elastik bir eleman üzerinde salınım hareketi yapmasıyla oluşur. Kütle ve elastik elemandan oluşan bu sistem, titreşim sistemi olarak adlandırılır. Basit bir titreşim sistemi Şekil 5.1’de görülmektedir. Şekil 5.1’de görülen titreşim sisteminde kütle kinetik enerjiyi, yay ise potansiyel enerjiyi depo eder. Titreşim, potansiyel enerji ve kinetik enerji arasında enerji dönüşümü ile oluşur. Salınım sırasında sistemden enerji alarak, hareketi yavaşlatan ve sonunda durduran elemana sönümleyici denir.



Şekil 5.1 Titreşim sistemi (Çay, 2006)

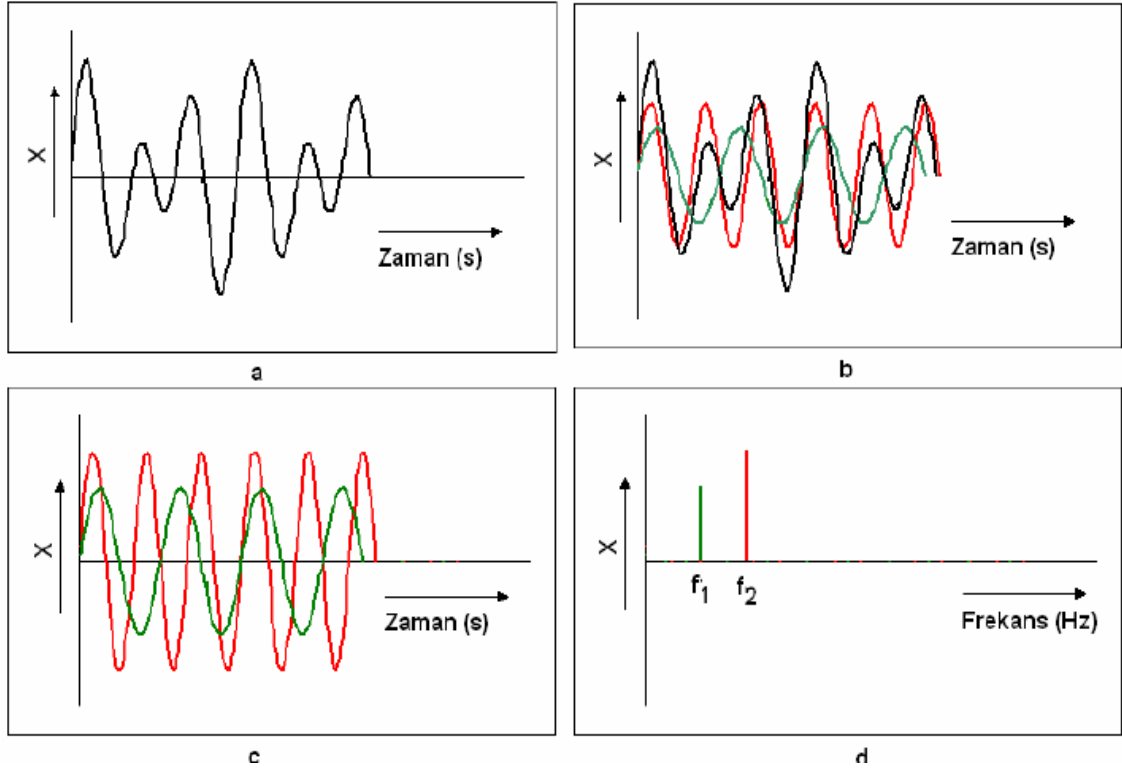
Titreşim hareketi periyodik ve rasgele titreşim hareketi olarak iki sınıfa ayrılabilir. Periyodik titreşim hareketi, belirli bir sürede aynen veya kısmen tekrar etme özelliğine sahip bir harekettir. Rasgele titreşim hareketi ise, zamanla tekrarlanabilme özelliğine sahip değildir. Titreşim hareketinin meydana geldiği doğrultu veya eksen sayısı serbestlik derecesi olarak adlandırılır. Uygulamada bir titreşim hareketi pek çok doğrultu veya eksen üzerinde meydana

gelebilir. Bu yüzden titreşim hareketi üç doğrusal eksen (x, y ve z) ve üç açısal doğrultu (rx, ry ve rz)'da ölçülür (Anonymous, 1997).

Periyodik titreşim hareketinde, hareketin tekrar süresine periyot, ve saniyede meydana gelen hareket sayısına frekans adı verilir. Matematiksel tanım ile frekans periyodun tersidir ve aşağıdaki gibi hesaplanır (Hannah et al., 1956).

$$f = T^{-1} = \frac{1}{T} \quad 5.1$$

Periyodun birimi saniye, frekansın birimi Hertz'dir. Titreşim hareketi birçok doğrultu ve ekseninde meydana geldiği için, bir başka deyişle birden fazla bileşenden oluştuğu için, zaman düzleminde bir titreşim hareketini incelemek zordur. Bu yüzden titreşim ölçme ve değerlendirme uygulamalarında frekans spektrumu kullanılır. Frekans spektrumu, bir titreşimin hareketinin frekans ve titreşim niceliğine bağlı bir fonksiyon olarak gösterimidir (Sabancı, 1981). Şekil 5.2'de bir titreşim hareketi zaman düzleminde ve frekans düzleminde gösterilmiştir. Şekil 5.2.a'da periyodik, fakat harmonik olmayan bir titreşim hareketi görülmektedir. Her ne kadar görünüşte harmonik olmasa da bu hareket, aslında frekansları ve genlikleri farklı iki adet harmonik bileşene sahiptir (Şekil 5.2.b ve Şekil 5.2.c). bu bileşenlerin zaman düzleminde analiz edilmeleri oldukça zordur. Bu yüzden hareket frekans düzleminde incelenir (Şekil 5.2.d).

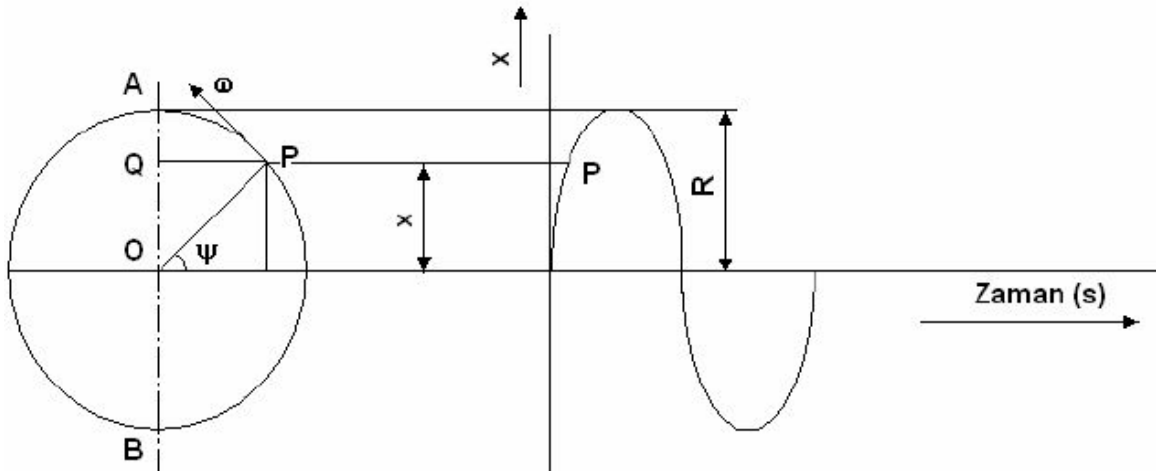


Şekil 5.2 Titreşim hareketinin zaman ve frekans düzleminde gösterilmesi (Çay, 2006)

Uygulamada bir titreşim hareketi çok sayıda frekans içerir. Bunların teker teker incelenerek titreşim büyüklüğünün belirlenmesi mümkün değildir. Bu amaçla frekans spektrumu belirli frekans aralıklarına bölünür ve bu aralıklarda titreşim niceliği ölçülür. Frekans aralıkları aritmetik dizin yerine geometrik dizinden yararlanılarak belirlenir. Buna göre birbirini izleyen iki frekans değeri arasındaki oran sabit bir sayıdır. Geometrik dizinin birer terimi olan ardışık frekansların aralarındaki aralık oktav olarak adlandırılır (Sabancı, 1981). Oktav, birbirini izleyen frekans değerleri arasındaki aralığın 2 tabanına göre logaritması olup, uygulamada sabit sayı olarak 2^1 , $2^{1/2}$ ve $2^{1/3}$ değerleri kullanılır. Bu değerlerin 2 tabanına göre logaritması alındığında 1, 1/2, 1/3 olarak belirlenmiştir.

5.2 PERİYODİK TİTREŞİMLER

Periyodik titreşim hareketi, yukarıdaki bölümde tanımlandığı gibi, zaman ile aynen veya kısmen tekrarlanabilme özelliğine sahip bir harekettir. Bir kütle ve yaydan oluşan bir titreşim sisteminin hareketi, zaman ile sinüzoidal olarak değişen basit harmonik hareket ile karakterize edilebilir. Sinüzoidal titreşim hareketi Şekil 5.3'te görülmektedir.



Şekil 5.3 Sinüzoidal titreşim hareketi (Çay, 2006)

Şekil 5.3'te görülen P noktası, yarıçapı R olan dairesel bir yörüngede O noktası etrafında sabit bir açısal frekansı ile dönmektedir. Q noktası AB çapı üzerinde P noktasının iz düşümüdür. Hareket zaman düzleminde incelendiğinde R yarıçapı sinüzoidal titreşim hareketinin tepe genliğidir. Q noktasının O noktasına olan uzaklığı x olup, t anındaki yer değiştirme miktarını verir. Ψ açısı ise, zamanla değişir ve değeri $\psi = \omega.t$ ile bulunur. Buna göre t anındaki yer değiştirme miktarı;

$$X(t) = R \sin \omega t \quad 5.2$$

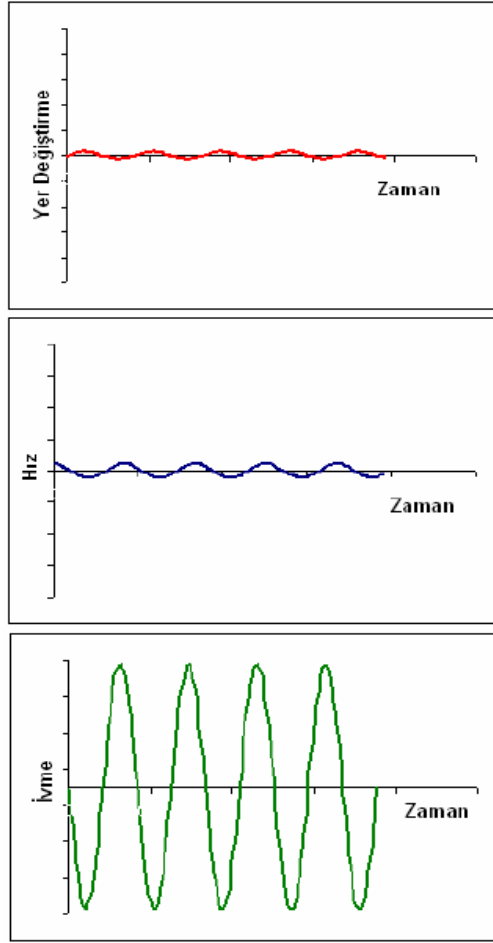
ile hesaplanabilir. Sinüzoidal hareketin hız ve ivmesi 1.2 numaralı eşitliğin sırasıyla birinci ve ikinci türevidir.

$$v(t) = \frac{dx}{dt} = \omega R \cos \omega t \quad 5.3$$

$$a(t) = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 R \sin \omega t \quad 5.4$$

Bu eşitliklerde;

5.2, 5.3, 5.4 eşitlikleri yardımı ile elde edilen yer değiştirme, hız ve ivme dalgaları Şekil 5.4'te görülmektedir.



Şekil 5.4 Yer değiştirme, hız ve ivme dalgaları (Çay, 2006)

Bu çalışmada periyodik titreşim hareketi, serbest (doğal) ve zorlanmış titreşim hareketleri olarak incelenecektir.

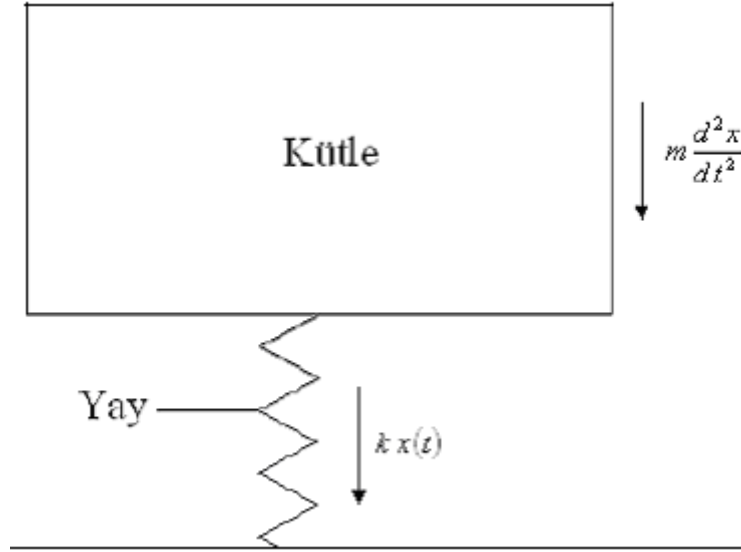
5.2.1 Periyodik Serbest Titreşim Hareketi

Serbest veya doğal titreşimler elastik bir sistem içerisinde yerleştirilmiş kütle için, sistemin sürekli yenilenen dahili kuvvetleri tarafından hareket ettirilmesiyle meydana gelir. Kütle için dahili veya harici sürtünme dirençleri etki ediyorsa, hareket sönümlü olarak adlandırılır (Hannah et al., 1956). Bu bölümde serbest titreşim hareketini sistemde sönümleyicinin bulunması ve bulunmaması durumlarına göre inceleyeceğiz.

5.2.1.1 Sönümsüz Serbest Titreşim Hareketi

Sönümsüz serbest titreşim hareketi aslında teorik bir harekettir. Çünkü içinde ister sönümleme elemanı olsun, ister sönümleme elemanı bulunmasın, bütün titreşim sistemleri az da olsa bir

sönümlenme etkisine sahiptirler. Sönümsüzlük kavramı teorik hesaplamaların kolaylığı için varsayılan kurumsal bir kavramdır. Sönümsüz bir titreşim sistemi Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5 Sönümsüz serbest titreşim sistemi (Çay, 2006)

Şekil 5.5'ten görülebileceği gibi sistem, $m \frac{d^2x}{dt^2}$ ve $kx(t)$ dahili kuvvetlerin etkisi altındadır. Bu içsel kuvvetlerin etkisi ile titreşim sistemi ω_n doğal frekansında salınım hareketine başlar. Açısal doğal frekans yay katsayısına ve cismin kütlesine bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Arkun, 1983).

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad 5.5$$

Burada;

Şekil 5.5'te görülen sistemin diferansiyel denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + kx(t) = 0 \quad 5.6$$

5.6 denklemi ikinci dereceden tarafsız bir diferansiyel denklemdir. Burada $\frac{dx}{dt} = b$ olmak üzere, ikinci dereceden diferansiyel denklemin karakteristik denklemi;

$mb^2 + k = 0$ olarak elde edilir. Karakteristik denklemin çözüm kümesi,

$\zeta = \left\{ \left(\sqrt{-\frac{k}{m}} \right), \left(-\sqrt{-\frac{k}{m}} \right) \right\}$ şeklindedir. Burada $i = \sqrt{-1}$ ve açısal doğal frekans

$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$ olmak üzere 5.6 numaralı diferansiyel denklemin genel çözümü;

$$x(t) = C_1 e^{\omega_n t i} + C_2 e^{-\omega_n t i} \quad 5.7$$

5.7 numaralı eşitlik $e^{(a+ib)x} = e^{ax} e^{ibx} = e^{ax} (\cos bx + i \sin bx)$ açılımından yararlanarak (Hacısalıhoğlu v.d., 1989).

$$x(t) = C_1 (\cos \omega_n t + i \sin \omega_n t) + C_2 (\cos \omega_n t + i \sin \omega_n t) \text{ ve}$$

$x(t) = (C_1 + C_2) \cos \omega_n t + (C_1 - C_2) i \sin \omega_n t$ şeklinde düzenlenebilir. Burada; C_1 ve C_2 bulunması gereken sabit sayılardır. $(C_1 + C_2) = A$ ve $(C_1 - C_2) i = B$ olmak üzere $x(t) = A \cos \omega_n t + B \sin \omega_n t$ elde edilir. Bu ifade iki açı toplamının sinüs fonksiyonudur. Buna göre;

$$x(t) = R \sin(\omega_n t + \theta) \quad 5.8$$

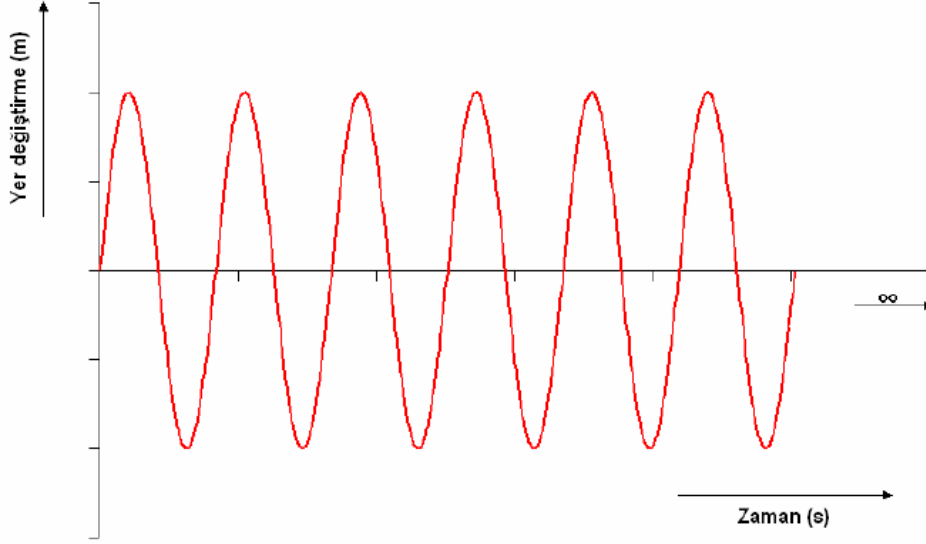
sonucuna ulaşılır. Burada;

A, B ve R uzunlukları ile θ açısı arasında aşağıdaki ilişkiler söz konusudur (Sabancı, 1984).

$$R = \sqrt{A^2 + B^2}$$

$$\tan \theta = \frac{A}{B}$$

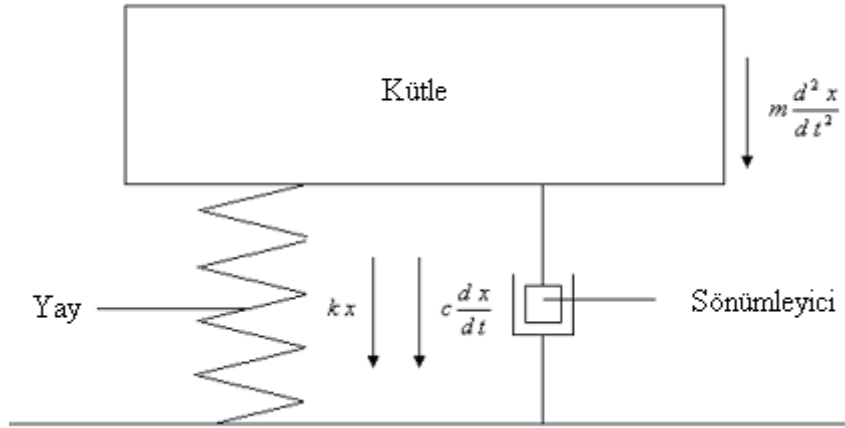
Şekil 5.6'da 5.8 numaralı eşitlik yardımı ile elde edilen sönümsüz serbest titreşim hareketinin yer değiştirme-zaman grafiği görülmektedir. Şekil 5.6 incelendiğinde, sönümsüz serbest titreşim hareketinin, dışarıdan bir müdahale olmaksızın sonsuza kadar devam eden teorik bir hareket olduğu görülür.



şekil 5.6 Sönümsüz serbest titreşim hareketi (Çay, 2006)

5.2.1.2 Sönümlü Serbest Titreşim Hareketi

Sönümlü serbest titreşim hareketinde şekil 5.5'te görülen serbest titreşim sistemine bir sönümleyici ilave edilmiştir. Sönümlü serbest titreşim sistemi şekil 5.7'de görölmektedir.



şekil 5.7 Sönümlü serbest sistemi (Çay, 2006)

şekil 5.7'de görülen sistem, $m \frac{d^2 x}{dt^2}$, $c \frac{dx}{dt}$ ve son olarak $kx(t)$ dahili kuvvetlerinin etkisi altındadır. Bu içsel kuvvetlerin etkisi ile sistem sönümlü salınım hareketine başlar. Bu hareketin doğal frekansı aşağıdaki formülle hesaplanabilir (Sabancı, 1984).

$$\omega_{nd} = \omega_n \sqrt{1 - D^2} \quad 5.9$$

Burada;

Sönümlenme oranı, sistemin sönümlenme iyililiğinin bir göstergesidir (Sabancı A,1985). Sönümlenme değeri, sistemin sönümlenme katsayısı ile kritik sönümlenme katsayısının oranıdır ve aşağıdaki gibi hesaplanır (Arkun, 1983).

$$D = \frac{c}{c_o} \quad 5.10$$

Kritik sönümlenme katsayısı, titreşim sistemindeki cismin kütlesi ve yay katsayısına bağlı olarak hesaplanır (Arkun, 1983).

$$c_o = 2\sqrt{km} \quad 5.11$$

Şekil 5.7'deki sönümlü serbest titreşim hareketinin diferansiyel denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx(t) = 0 \quad 5.12$$

Bu denklemin karakteristik denklemi;

$$mb^2 + cb + k = 0 \text{ şeklindedir. 5.12 numaralı denklemin diskriminantı,}$$

$$\Delta = c^2 - 4mk = c^2 - c_o^2$$

olarak elde edilir. Buna göre 5.12 numaralı diferansiyel denklemin genel çözümü sönümlenme katsayılarının alacağı değere göre bulunur. Bu durumda üç olasılık söz konusudur.

$c < c_o$ veya $D < 1$ durum; bu durumda diskriminantın alacağı değer negatif sayıdır. Dolayısıyla karakteristik denklemin çözüm kümesinde reel kök yoktur. Karakteristik denklemin kökleri, tıpkı sönümsüz serbest titreşim hareketinde olduğu gibi, kompleks sayılarla ifade edilebilir:

Buna göre;

$$b_1 = \frac{-c + \sqrt{(c_o^2 - c^2)}}{2m} \text{ ve } b_2 = \frac{-c - \sqrt{(c_o^2 - c^2)}}{2m} \text{ olarak elde edilir. } c = Dc_o \text{ ve } c_o = 2\sqrt{km}$$

olmak üzere kökler;

$$b_1 = \frac{-c + i2\sqrt{km}\sqrt{(1-D^2)}}{2m} \text{ ve } b_2 = \frac{-c - i2\sqrt{km}\sqrt{(1-D^2)}}{2m} \text{ yazılabilir. } k = m\omega_n^2 \text{ olduğundan}$$

b_1 ve b_2 kökleri;

$$b_1 = \frac{-c}{2m} + i\omega\sqrt{(1-D^2)} \text{ ve } b_2 = \frac{-c}{2m} - i\omega_n\sqrt{(1-D^2)} \text{ yazılabilir. } \omega_{nd} = \omega_n\sqrt{1-D^2} \text{ olduğuna}$$

göre karakteristik denklemin çözüm kümesi;

$$\zeta = \left\{ \left(\frac{-c}{2m} + i\omega_{nd}i \right), \left(\frac{-c}{2m} - i\omega_{nd}i \right) \right\} \text{ olarak elde edilir. Buna göre genel çözüm,}$$

$$x(t) = C_1 e^{\frac{-et}{2m}} e^{\omega_{nd}ti} + C_2 e^{\frac{-et}{2m}} e^{-\omega_{nd}ti}$$

$$x(t) = C_1 e^{\frac{-et}{2m}} (\cos \omega_{nd}t + i \sin \omega_{nd}t) + C_2 e^{\frac{-et}{2m}} (\cos \omega_{nd}t - i \sin \omega_{nd}t)$$

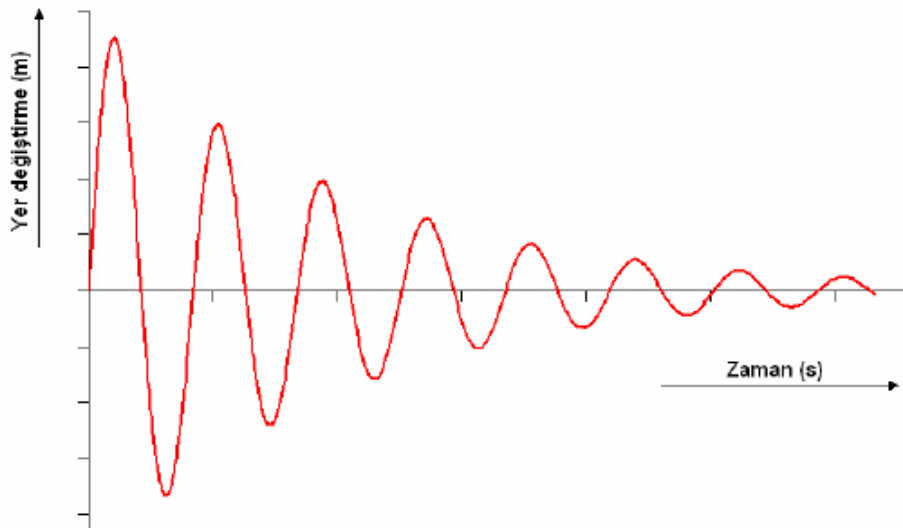
$$x(t) = e^{\frac{-et}{2m}} (C_1 + C_2) \cos \omega_{nd}t + (C_1 - C_2) i \sin \omega_{nd}t$$

$$x(t) = e^{\frac{-et}{2m}} A \cos \omega_{nd}t + B i \sin \omega_{nd}t$$

$$x(t) = e^{\frac{-et}{2m}} R \sin(\omega_{nd}t + \theta)$$

5.13

olarak elde edilir. Buradaki C_1 , C_2 , A , B ve R sayıları ile θ açısı sönümsüz serbest titreşim bahsinde açıklanmıştı. 5.13 numaralı eşitlik yardımı ile elde edilen yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 5.8’de görülmektedir.



Şekil 5.8 Sönümlü serbest titreşim hareketi (Çay, 2006)

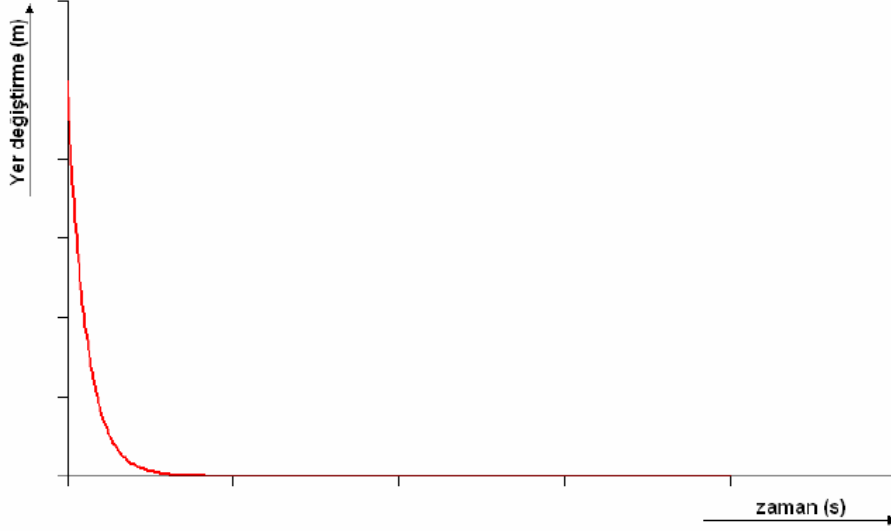
Şekil 5.8’den de görülebileceği gibi, hareketin genliği zaman ile eksponansiyel olarak azalmakta, bir başka deyişle hareket sönümlenmektedir. Bu durum zayıf sönüm olarak adlandırılır (Karabulut, 1995).

$c = c_0$ veya $D = 1$ durumu; bu durumda karakteristik denklemin diskriminantının alacağı değer sıfır olduğundan denklemin bir reel kökü vardır. Buna göre çözüm kümesi,

$\zeta = \left\{ \frac{-c}{2m} \right\}$ şeklindedir. 5.12 numaralı diferansiyel denklemin genel çözümü ise;

$$x(t) = e^{\frac{-ct}{2m}} (C_1 + C_2 t) \quad 5.14$$

olarak elde edilir. 5.14 numaralı eşitlik yardımı ile çizilen yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 5.9’da görülebilir.



şekil 5.9 Sönümlü serbest titreşim hareketi (Çay, 2006)

şekil 5.9 incelendiğinde, kütleinin salınım hareketi yapmadığı görölmektedir. Sistem serbest bırakıldığında, salınım hareketi yapmaya çalışmakta, ancak hareket sinüzoidal dalgalar oluşturmadan sönümlemektedir. Bu durum kritik sönümleme olarak adlandırılır (Karabulut, 1995).

$c > c_o$ veya $D > 1$ durumu; Bu durumda karakteristik denklemin diskriminantı sıfırdan büyüktür. Dolayısıyla denklemin çözümler kümesinde birbirinden farklı iki reel kök vardır.

$$b_1 = \frac{-c + \sqrt{(c_o^2 - c^2)}}{2m} \text{ ve } b_2 = \frac{-c - \sqrt{(c_o^2 - c^2)}}{2m}$$

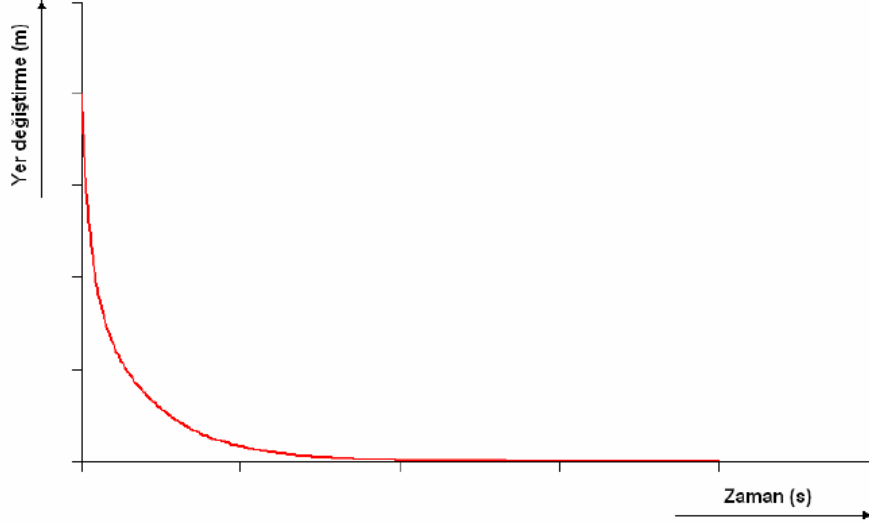
burada $c = Dc_o$ ve $c_o = 2\sqrt{km} = 2m\omega_n$ olmak üzere çözümler kümesi;

$\zeta = \left\{ \left(\frac{-c}{2m} + \omega_n \sqrt{(D^2 - 1)} \right), \left(\frac{-c}{2m} - \omega_n \sqrt{(D^2 - 1)} \right) \right\}$ olarak bulunur. Buna göre genel çözümler;

$$x(t) = C_1 e^{\frac{-et}{2m}} e^{\omega_n \sqrt{(D^2 - 1)} t} + C_2 e^{\frac{-et}{2m}} e^{-\omega_n \sqrt{(D^2 - 1)} t}$$

$$x(t) = e^{\frac{-et}{2m}} \left(C_1 e^{\omega_n \sqrt{(D^2 - 1)} t} + C_2 e^{-\omega_n \sqrt{(D^2 - 1)} t} \right) \quad 5.15$$

olarak elde edilir. 5.15 numaralı eşitlik yardımı ile çizilen yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 5.10'da görülmektedir.



Şekil 5.10 Sönümlü serbest titreşim hareketi (Çay, 2006)

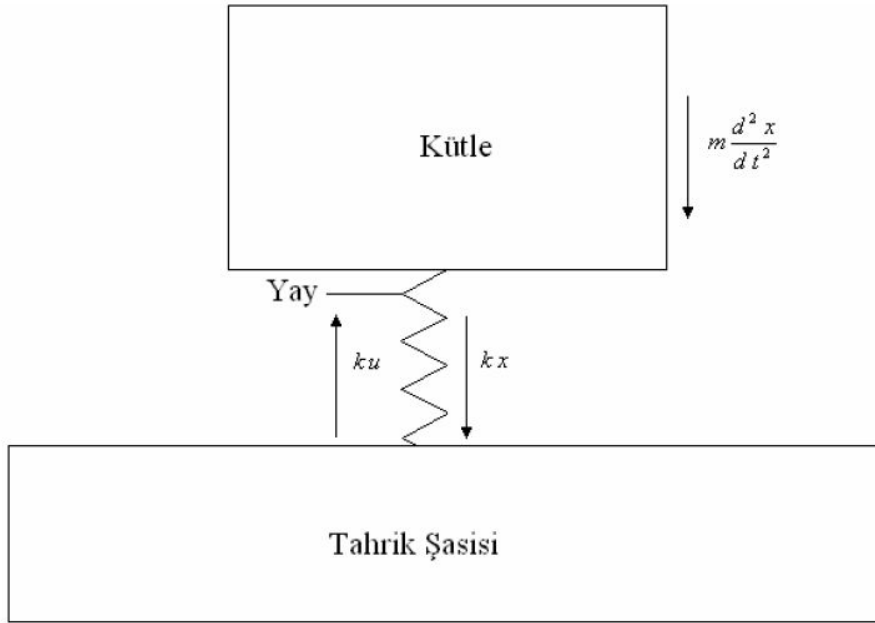
Şekil 5.10'dan da görülebileceği üzere 5.15 numaralı eşitlik de salınımsız bir hareketi göstermektedir. Bu üçüncü olasılık kuvvetli sönümlenme olarak tanımlanır (Karabulut, 1995).

5.2.2 Periyodik Zorlanmış Titreşim Hareketi

Bir titreşim sisteminde, kütle üzerine periyodik bir dağılım gösteren harici bir kütle etki ettirilerek sistem salınım hareketine başlatılırsa, bu hareket zorlanmış titreşim hareketi olarak tanımlanır. Zorlanmış titreşim hareketi de sistemde sönümlenme elemanının bulunup bulunmamasına göre, bir başka deyişle sönümsüz ve sönümlü titreşim sistemleri olarak incelenecektir (Hannah et al., 1956).

5.2.2.1 Sönümsüz Zorlanmış Titreşim Hareketi

Sönümsüz zorlanmış titreşim sistemi Şekil 5.11'de görülmektedir.



Şekil 5.11 Sönümsüz zorlanmış titreşim sistemi (Çay, 2006)

Şekil 5.11'den de görülebileceği gibi, kütle, tahrik şasisinin $u(t)$ yer değiştirme hareketi ile salınımı zorlamaktadır. Bu durumda sistem $m \frac{d^2 x}{dt^2}$ ve $kx(t)$ dahili kuvvetleri ile $ku(t)$ harici kuvvetinin etkisi altındadır. Buna göre sistemin diferansiyel denklemi;

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + kx(t) = ku(t) \quad 5.16$$

yazılabilir. Bu ikinci dereceden taraflı bir diferansiyel denklemdir. 5.16 numaralı denklemin çözümü, tarafsız denklemin genel çözümüne bir özel çözüm ilave edilmesiyle sağlanır. Buna göre şasinin tahrik hareketi harmonik olduğundan, sistemin buna karşı tepkisi de harmonik olur. Özel çözüm;

Özel çözüm 1.16 numaralı denklemde yerine konulursa,

$$-mX_o \sin \omega t + kX_o \sin \omega t = kU_o \sin \omega t \text{ denklemi elde edilir.}$$

Yukarıdaki denklem çarpanlarına ayrıldığında; $X_o \sin \omega t (k - m\omega^2) = kU_o \sin \omega t$

$$X_o = \frac{U_o}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \text{ elde edilir. Buna göre özel çözüm; } x(t)_o = \frac{U_o}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \sin \omega t \text{ bulunur. 1.16}$$

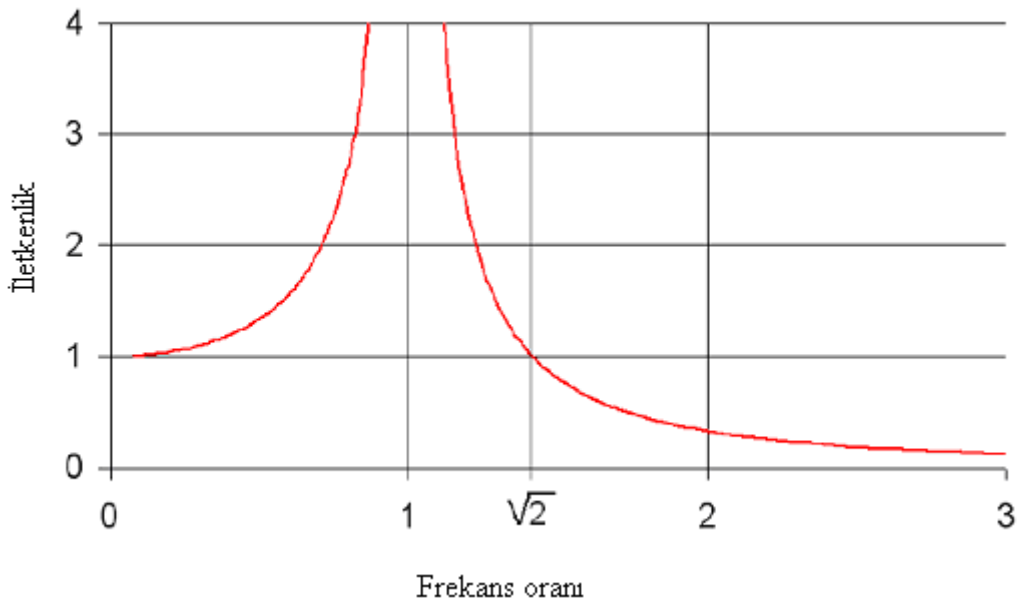
numaralı diferansiyel denklemin genel çözümü

$$x(t) = X_o \sin(\omega_n t + \theta) + \frac{U_o}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \sin \omega t \quad 5.17$$

şeklindedir. Burada;

$$\frac{X_o}{U_o} = \frac{1}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \quad 5.18$$

eşitliği iletkenlik değerini verir (Korucu, 1996). 5.18 numaralı eşitlikten de anlaşılacağı gibi iletkenlik, tahrik edilen sistemin titreşim niceliğinin, tahrik eden sistemin titreşim niceliğine oranıdır. İletkenlik değeri tahrik hareketinin frekansı ve sistemin sönümsüz doğal frekansına bağlıdır. Buna göre frekanslar oranına göre çizilen iletkenlik eğrisi Şekil 5.12’de görülmektedir.



Şekil 5.12 sönümsüz zorlanmış titreşim sisteminde iletkenlik eğrisi (Çay, 2006)

Şekil 5.12’de görülen grafiği üç bölgede inceleyebiliriz.

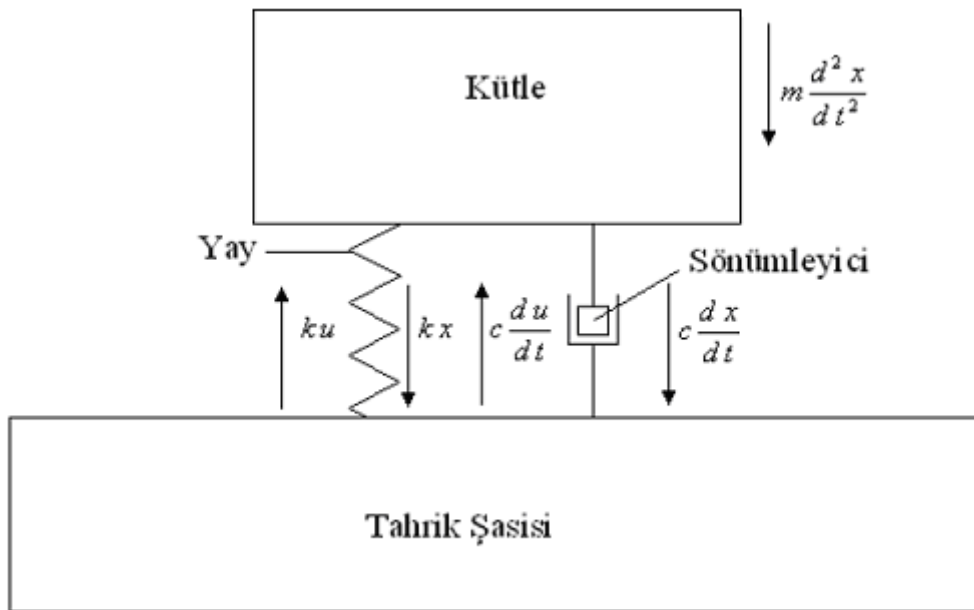
$\frac{\omega}{\omega_n} < 1$ bölgesi: Bu bölgede iletkenlik değeri % 100’ün üzerindedir. Bu bölgede tahrik edilen sistemden ölçülen titreşim niceliği değeri, tahrik eden sistemden ölçülen değerden daha büyüktür. Frekanslar oranı arttıkça, sisteme iletilen titreşim de artar.

$\frac{\omega}{\omega_n} = 1$ noktası: Frekanslar 1 olunca, 1.18 numaralı eşitliğin paydası sıfır olacağından, iletkenlik oranı sonsuz büyüklüklere ulaşır. Bu nokta rezonans noktası olup, sistemin rezonans frekansı doğal frekansına eşittir.

$\frac{\omega}{\omega_n} < \sqrt{2}$ bölgesi: Bu bölgede iletkenlik oranı, frekanslar oranı arttıkça azalır. Bu bölgede, titreşim sisteminin ideal çalışma bölgesidir.

5.2.2.2 Sönümlü Zorlanmış Titreşim Hareketi

Sönümlü zorlanmış titreşim sistemi Şekil 5.13’te görülmektedir.



Şekil 5.13 sönümlü zorlanmış titreşim sistemi (Çay, 2006)

Şekil 5.13'te görülen sistem $u(t)$ yer değiştirme hareketiyle tahrik edildiğinde, $m \frac{d^2x}{dt^2}$, $c \frac{dx}{dt}$

ve kx dahili kuvvetleri ile, $c \frac{du}{dt}$ ve ku harici kuvvetlerin etkisi altındadır. Bu durumda sistemin diferansiyel eşitliği;

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = c \frac{du}{dt} + ku \quad 5.19$$

yazılabilir. Sistem $u(t)$ yer değiştirme hareketi ile zorlandığında, sönüm katsayısı (c) sıfırdan büyük bir değerde ise, sistemin doğal frekansındaki salımlar sönümlenir ve zorlama frekansına uygun bir titreşim hareketi meydana gelir (Sabancı, 1984).

Zorlama hareketi basit harmonik hareket ile izah edilebilen sinüzoidal periyodik bir harekettir. Buna göre tahrik şasisinin yer değiştirme denklemi;

$u(t) = U_0 \sin \omega t$ yazılabilir. Yukarıdaki denklem ile açıklanan zorlama hareketi harmonik olduğundan, titreşime zorlanan sistemin hareketi de harmoniktir. Hareketin denklemi;

$x(t) = X_0 \sin \omega t$ olur. Bu değerler 5.19 numaralı denklemde yerlerine yazıldığında;

$$-mX_0\omega^2 \sin \omega t + cX_0\omega \cos \omega t + kX_0 \sin \omega t = cU_0\omega \cos \omega t + kU_0 \sin \omega t$$

$X_0 \left[(k - m\omega^2) \sin \omega t + c\omega \cos \omega t \right] = U_0 (c\omega \cos \omega t + k \sin \omega t)$ elde edilir. Burada

$$k = m\omega_n^2, \quad c = Dc_0 = D2\sqrt{km} = 2D\omega_n m \quad \text{olmak üzere;}$$

$$X_0 \left[(\omega_n^2 m - m\omega^2) \sin \omega t + 2D\omega_n m \cos \omega t \right] = U_0 (2D\omega_n m \omega \cos \omega t + \omega_n^2 m \sin \omega t)$$

$$X_0 m \left[(\omega_n^2 - \omega^2) \sin \omega t + 2D\omega_n \cos \omega t \right] = U_0 m (2D\omega_n \omega \cos \omega t + \omega_n^2 \sin \omega t)$$

$$X_0 = U_0 \frac{2D\omega_n \omega \cos \omega t + \omega_n^2 \sin \omega}{\left(\omega_n^2 - \omega^2\right) \sin \omega t + 2D\omega_n \cos \omega t}$$

$$X_0 = U_0 \frac{\sqrt{4D^2 \omega_n^2 \omega^2 + \omega_n^4} \sin(\omega t + \theta)}{\sqrt{\left(\omega_n^2 - \omega^2\right)^2 + 4D^2 \omega_n^2} \sin(\omega t + \theta)}, \quad X_0 = U_0 \left[\frac{\left(2D \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 + 1}{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right) + \left(2D \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)^2} \right]^{1/2} \quad \text{elde edilir.}$$

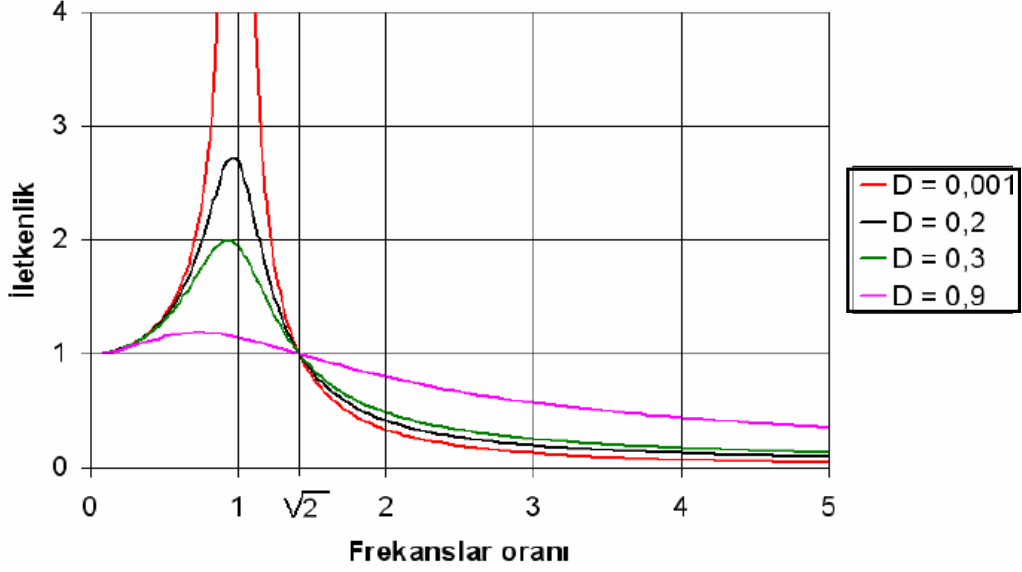
Buna göre 5.19 numaralı diferansiyel denklemin genel çözümü;

$$x(t) = U_0 \left[\frac{\left(2D \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 + 1}{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right) + \left(2D \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)^2} \right]^{1/2} \sin \omega t \quad 5.20$$

olarak elde edilir. Burada iletkenlik oranı;

$$\frac{X_0}{U_0} = \left[\frac{\left(2D \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 + 1}{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right) + \left(2D \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)^2} \right]^{1/2} \quad 5.21$$

formülü ile hesaplanır (Sabancı, 1984). 5.21 numaralı eşitlikten yararlanılarak, sönümlenme değeri ve frekanslar oranına bağlı olarak çizilen iletkenlik eğrileri Şekil 5.14'de görülmektedir.



Şekil 5.14 Üç bölgede incelenebilir (Çay, 2006).

$\frac{\omega}{\omega_n} < \sqrt{2}$ bölgesi: Bu bölgede titreşim sisteminde sönümlenme elemanı kullanmak faydalıdır.

Çünkü Şekil 5.14'den de görülebileceği üzere iletkenlik değerleri % 100'den büyüktür.

$\frac{\omega}{\omega_n} = 1$ olduğunda, iletkenlik oranı maksimum değere ulaşmaktadır. Bu nokta rezonans noktasıdır.

$\frac{\omega}{\omega_n} = \sqrt{2}$ noktası: Bu noktanın özel bir önemi vardır. Şekil 5.14'den de görülebileceği gibi, farklı sönümlenme değerlerine sahip sistemlerin eğrileri bu noktada kesişmektedir.

$\frac{\omega}{\omega_n} > \sqrt{2}$ bölgesi: Bu bölge titreşim sisteminin ideal çalışma bölgesidir. Çünkü bu bölgede frekanslar oranı arttıkça, iletkenlik değerlerinde gözle görülebilir bir azalma olmaktadır.

Periyodik titreşimler, teorik hesaplamalarda basit harmonik hareket ile karakterize edilmelerine rağmen, teknolojik uygulamalarda karşılaşılan titreşimlerin çoğu tam harmonik değildir. Şekil 5.2'den de görülebileceği gibi, periyodik hareket, frekansları f_1 ve f_2 olan genlikleri farklı harmonik hareketlerin bileşkesidir. Bu tür periyodik hareketlerin zaman düzleminde analiz edilmeleri zordur. Bu nedenle Fransız fizikçi Fourier tarafından formüle edilen frekans analiz yöntemi kullanılır. Fourier kuramı'na göre, periyodik bir hareket ne

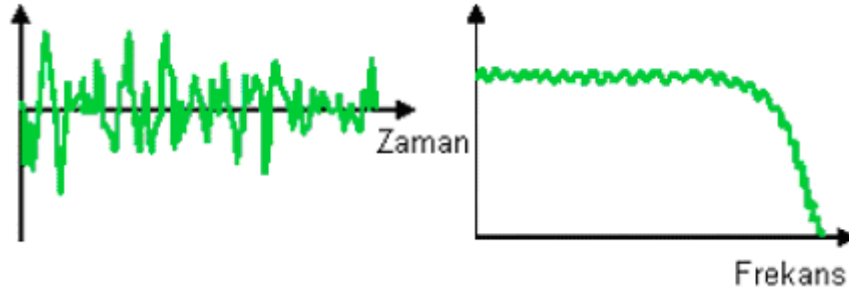
kadar karmaşık olursa olsun, frekansları harmonik olarak birbiriyle ilişkili çok sayıda hareketin bileşkesidir ve aşağıdaki eşitlik ile tanımlanır (Sabancı, 1984).

$$Y(t) = X_0 + X_1 \sin(\omega t + q_1) + X_2 \sin(2\omega t + q_2) \dots + X_n \sin(n\omega t + q_n) \quad 5.22$$

Bu şekilde meydana gelen periyodik bir hareket, frekans spektrumu ile gösterilir ve analiz edilir.

5.2.3 Rasgele Titreşimler

Rasgele titreşimler, mevcut olan tüm frekanslarda genlik ve faz ilişkileri gelişigüzel bir dağılım gösteren, zamana bağlı olarak özellikleri tekrarlanmayan titreşimlerdir. Rasgele sinyaller, önceden tahmin edilemeyen anlık değerler şeklinde meydana gelen sinyaller ile karakterize edilebilir. Rasgele titreşime örnek olarak yağmur damlarının şemsiye üzerinde oluşturduğu hareket gösterilebilir. Şekil 5.15'te bu hareket frekans ve zaman düzleminde gösterilmiştir.



Şekil 5.15 Rasgele titreşim sinyalleri (Anonymous, 1998a)

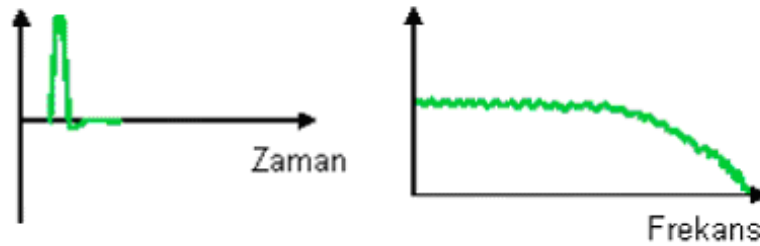
Şekil 5.15'ten görülebileceği üzere, rasgele titreşim sinyali yağmur damlarının şemsiye üzerine vurmasıyla oluşan çok sayıda anlık hareketin toplamıdır. Bu anlık değerlerin matematiksel hesaplamalar yapılarak önceden tahmin edilmesi imkansızdır. Bununla beraber, rasgele titreşim hareketi istatistiksel yöntemler kullanılarak tanımlanabilir.

Şekil 5.15'deki frekans spektrumuna bakıldığında periyodik titreşimlerden farklı olduğu görülür. Periyodik titreşim hareketinin frekans spektrumu kesikli bir yapı gösterir iken, rasgele titreşim hareketi, belirli frekanslarda uzun süre yoğunlaşmayan sürekli bir frekans

spektrumuna sahiptir (Anonymous, 1998a). Teknolojik uygulamalarda karşılaşılan titreşimlerin büyük çoğunluğu rasgele karakterlidir.

5.2.4 Şok

Mekanik şok; patlama, çarpışma sistemden kaynaklanmayan ani vuru ve darbe gibi dış etkiler nedeniyle oluşan ani enerji boşalmasıdır (Anonymous, 1998a). Çeşitli dış etkiler nedeniyle oluşan şok sinyali ve spektrumuna ait bazı örnekler Şekil 5.16'da görülebilmektedir.



Şekil 5.16 Şok sinyali (Anonymous, 1998a)

Şekilden de görülebileceği gibi, şok sinyali birçok frekans içerir. Eğer şok sinyali sonsuza kadar devam eden bir hareket olsa idi, rasgele titreşim hareketinin spektrumu gibi kesiksiz, sürekli bir frekans spektrumuna sahip olurdu (Anonymous, 1998a). Ancak şok titreşimi anlık bir hareket olup, frekans spektrumu belirli bir bant genişliği ile sınırlıdır.

5.3 TİTREŞİMİN İRDELENMESİ

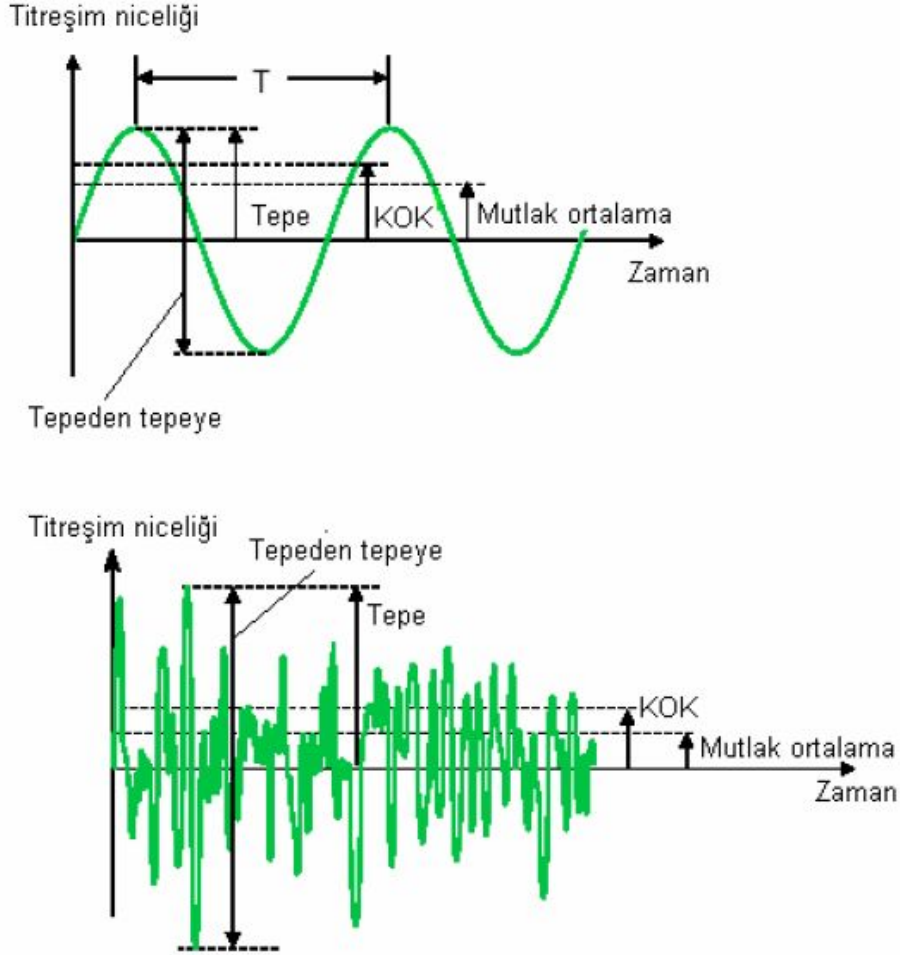
5.3.1 Titreşim Nicelikleri

Bir titreşim hareketinin nicelikleri; yer değiştirme (x), hız (v) ve ivme (a)'dir. Titreşim ölçümünde ve ölçümün değerlendirilmesinde bu niceliklerin aşağıda belirtilen parametreleri kullanılır (Anonymous, 1982; Anonymous, 1998a).

1. Tepe değer
2. Tepeden tepeye değer
3. Mutlak ortalama değeri
4. Kareler ortalamasının karekökü değeri (KOK-RMS)

5. Amplitüd (tepe) faktörü
6. Periyot veya tekrarlanma oranı
7. Süre

Bu parametreler sinüzoidal ve sinüzoidal olmayan bir hareket için Şekil 5.17’de gösterilmiştir.



Şekil 5.17 Titreşim niceliklerinin parametreleri (Anonymous, 1998a)

Şekil 5.17’den de görülebileceği gibi, tepe değeri, titreşim hareketinin denge düzleminden (sıfır noktası) olan sapmasıdır. Tepeden tepeye değeri ise, hareketin pozitif ve negatif bölgelerindeki tepe değerleri arasındaki boyuttur. Mutlak ortalama ve kareler ortalamasının karekökü (KOK-RMS) parametreleri aşağıdaki şekilde hesaplanır (Anonymous, 1998a).

$$x_{ORT} = \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)| dt \quad 5.23$$

$$x_{ORT} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T |x^2(t)| dt} \quad 5.24$$

Amplitüd faktörü ya da tepe faktörü ise, aşağıdaki formülle hesaplanır (Anonymous, 1998a).

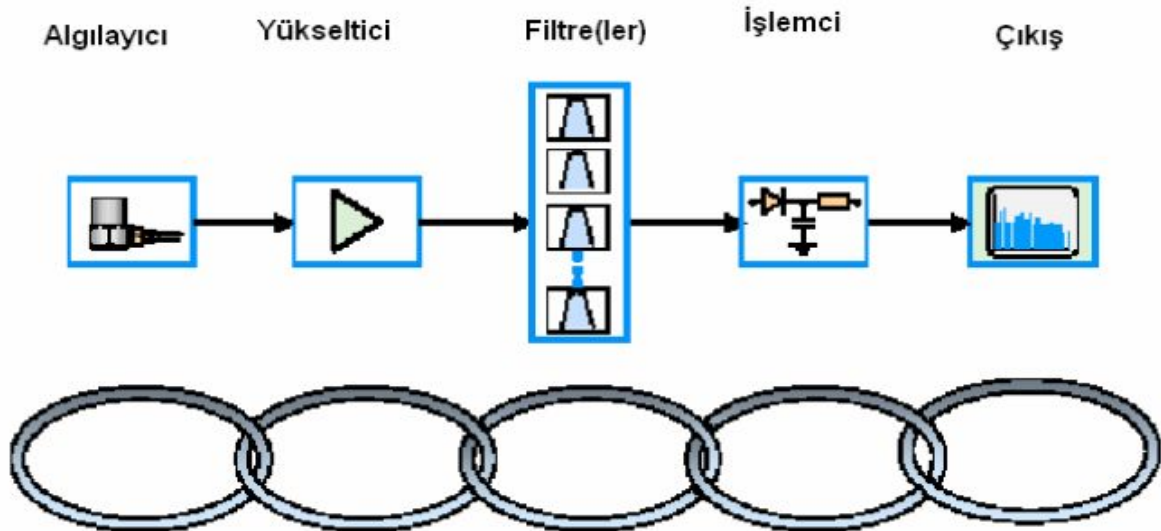
$$\text{Amplitüd faktörü} = \frac{\text{Tepe}}{x_{KOK}} \quad 5.25$$

Sinüzoidal bir harekette ise, tepe değer ile KOK değeri arasında aşağıdaki ilişki vardır (Griffin, 1997).

$$x_{KOK} = \frac{\text{Tepe}}{\sqrt{2}} \quad 5.26$$

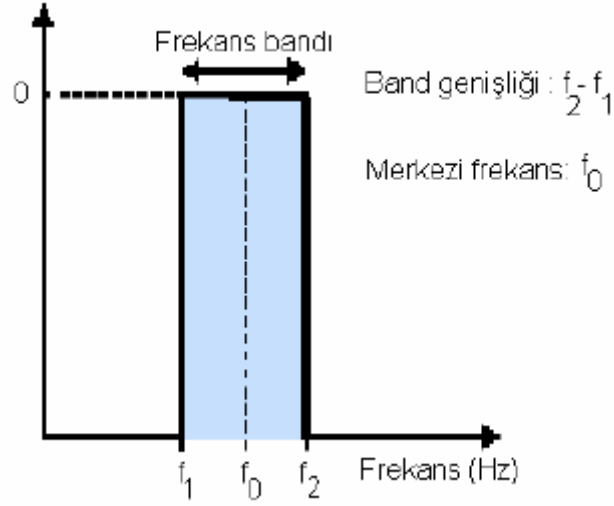
Bu niceliklerden KOK değeri en geçerli ölçüm parametresidir. Çünkü doğrudan doğruya titreşim hareketinin enerji içeriğini verir ve bundan dolayı titreşimin zarar verme etkisi hakkında bilgi sahibi olunur (Anonymous, 1982).

Titreşimin ölçüm zinciri ya da sistemi Şekil 5.18’de görülmektedir. Sistem; algılayıcı, yükseltici, filtre ve çıkış olarak tanımlanabilir. Sistemde kullanılan algılayıcılar; yer değiştirme, hız ve ivme algılayıcılarıdır. Titreşim ölçümünde genellikle ivme ölçülür. Bunun nedeni rahatsız edici en büyük niceliğin ivme olmasıdır (Saral, 1976).



Şekil 5.18 Titreşim ölçüm zinciri (Silleli v.d., 2003)

Titreşim ölçüm zincirinde filtre çok önemli bir elemandır. Eğer sistemde filtre kullanılmamışsa veya uygun filtre seçilmemişse, ölçüm sonuçları hatalı olur. Bu amaçla kullanılan filtrelere band geçiş filtreleri adı verilir. Band geçiş filtresi, seçilen bir band genişliği içindeki sinyallerin geçmesine izin verir. Band genişliğinin dışında yer alan frekanslardaki sinyalleri ise söndürür. Bir band geçiş filtresi Şekil 5.19'da görülmektedir.



Şekil 5.19 Band geçiş filtresi (Anonymous, 1998b)

Algılayıcı tarafından alınan elektriksel sinyaller yükselticiden ve filtreden geçerek işlemciye iletilir. İşlemci titreşim ölçümü için tasarlanmış donanım ve yazılımdan oluşur. İşlemcide değerlendirilen veriler son olarak, bir titreşim ölçüm cihazının ekranına yansır veya bir yazıcı ile ölçekli kağıtlara yazdırılır.

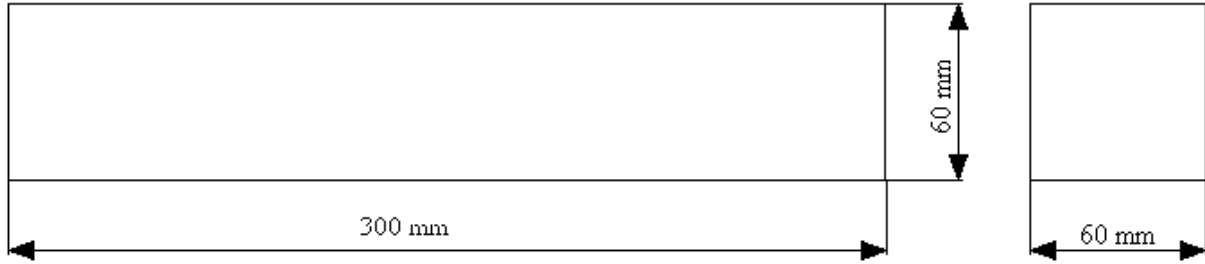
Bu şekilde ölçülen titreşim değerleri, ergonomik ve konstrüktif gereksinimlere uygun olarak hazırlanmış uluslar arası standart ve geçerliliği ispatlanmış yöntemler kullanılmak suretiyle değerlendirmeye tabi tutulur.

BÖLÜM 6

MATERYAL VE DENEYSEL METOT

6.1 İŞ PARÇASI KESİCİ TAKIM VE TEZGAH ÖZELLİKLERİ

Deney için kullanılan AISI 1050 çelik malzeme Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Talaşlı Üretim Atölyesinde işlenerek istenilen ölçülere getirildi. Parçanın ölçüleri 300 mm uzunluğunda ve 60 mm genişliğinde 4 adet deney numunesi hazırlanmıştır (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 İş parçası boyutları

APTK1604PDR KC725M kalitesinde KENNAMETAL firması tarafından üretilen PVD yöntemiyle kaplanmış, çelik, paslanmaz çelik ve küresel grafitli dökme demirlerin işlenmesinde kullanılan takım kullanılmıştır. İyi ısıl şok direncine sahip olup soğutma sıvısı kullanmadan veya kullanılarak kesme işleminde, zor kesme şartlarında kullanılmaktadır.

Yapılan deney çalışmasında kesici takımlar ISO standartlarına uygun olan APTK1604 ile ifade edilen takım tutucu ile bağlanmıştır.

Deneylerde kullanılan iş parçaları Karabük Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Öğretmenliği Atölyesinde bulunan FANUC kontrol

ünitesine sahip taksan TMC500-OM CNC freze tezgahında işlenmiştir. Şekil 6.2’de CNC tezgahı gösterilmiştir.



Şekil 6.2 CNC tezgahı

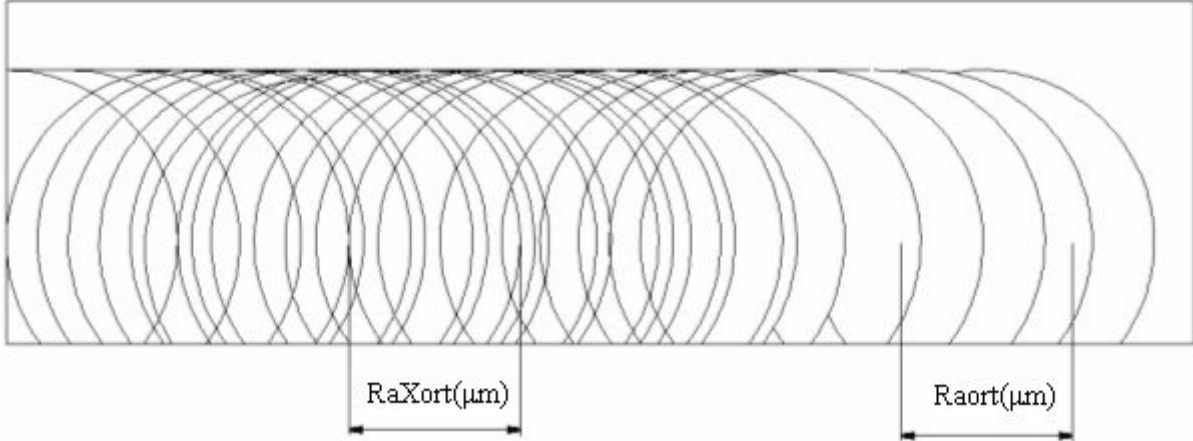
6.2 YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜMÜ

Frezeleme işlemi sonucunda elde edilen işlenmiş yüzeyler üzerinde yüzey pürüzlülüğü ölçümleri "Mahr" marka Marsurf PS1 tipi, masa üstü ve yazılı çıktı alınabilen yüzey pürüzlülük ölçme cihazı kullanılmıştır. Ölçümler iş parçası eksenine paralel olacak şekilde ve üç farklı yüzeyde ölçüm yapılmıştır. Ölçümler sonucu bulunan değerlerin aritmetik ortalaması alınarak ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri hesaplanmıştır. Yüzey pürüzlülük cihazı ile ilgili teknik özellikler Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1 Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazının teknik özellikleri

MODEL	Mahr (MarSurf PS1)
Ölçme Yöntemi	İzleyici Uçlu (Stylus) Cihazlar Yöntemi
Tarama Hızı	0,5 mm/sn (ölçme yaparken) 1 mm/sn (geri dönerken)
Ölçme Kuvveti	4 mN (0,4 gf)
Uç malzemesi	Elmas
Ölçme Sıcaklığı	20°C ± 1 °C
Numune Uzunluğu	0,8 mm
Değerlendirme Uzunluğu	4 mm
İzleyici Uç Yarıçapı	5µm
Ortalama yüzey pürüzlülüğü	$Ra = \frac{1}{ln} \int_0^{ln} f(x) dx$ (µm)
On nokta yüksekliği	$Rz = \frac{(Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5) - (Z_6 + Z_7 + Z_8 + Z_9 + Z_{10})}{5}$ (µm)
Maksimum pürüzlülük	Ry (µm)

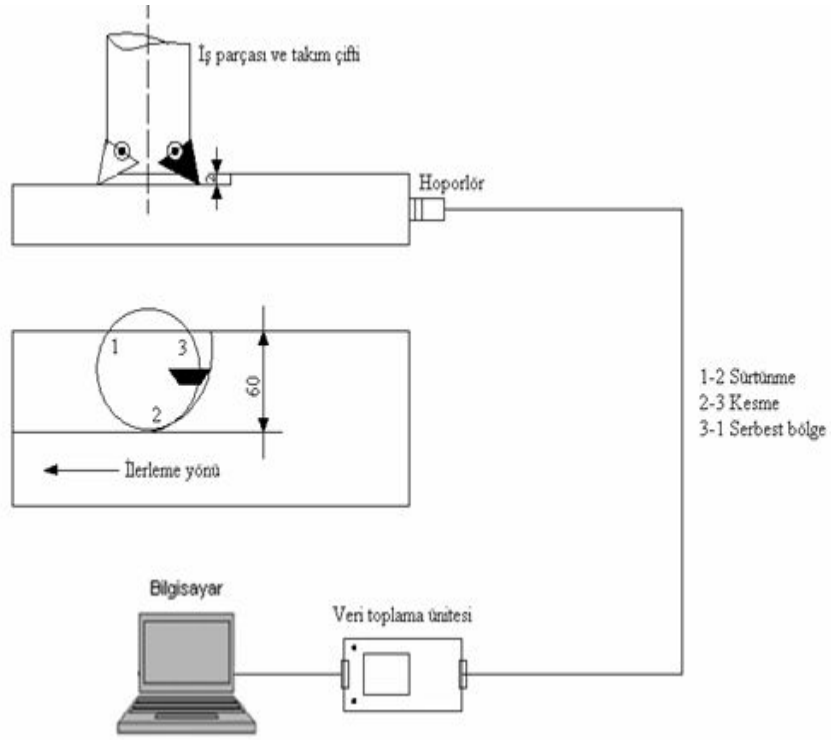
Yapılan deneylerde ölçülen yüzey pürüzlülüğü Raort ve RaXort olarak ölçülmüştür. Raort ve RaXort Şekil 6.3’de gösterilmektedir.



Şekil 6.3 Raort ve RaXort

6.3 TİTREŞİM DENEY DÜZENEĞİ

Deney esnasında titreşimi ölçmek için kesme yönüne dik konumda, işlenen malzemenin Şekil 6.4’de görüldüğü gibi hoparlör monte edilmiştir. İşleme anında boş talaş, sürtünme ve kesme anında titreşime bağlı ses dalgaları ölçülmüştür. Bu dalgalar PICO 212 cihaz vasıtası ile bilgisayara kayıt edilmiştir.



Şekil 6.4 Titreşim deney düzeneği

BÖLÜM 7

DENEYSEL SONUÇ VE TARTIŞMA

YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK DEĞERLENDİRMELERİ

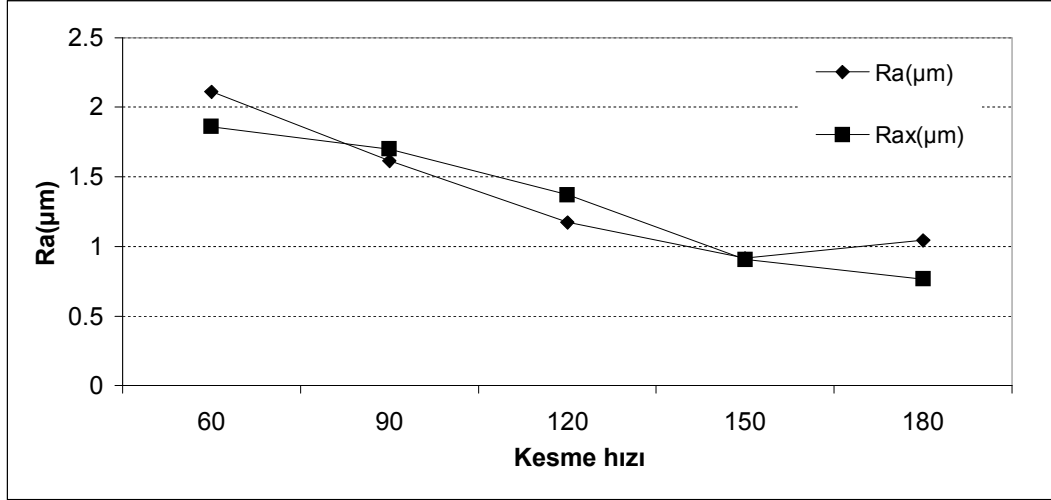
Bu çalışmada, AISI 1050 çelik malzeme kaplanmış sementit karbür kesici takımlar kullanılarak alın frezeleme işlemine tabi tutulmuştur. Alın frezeleme deneyleri beş farklı kesme hızında ($V_1=60$ m/dak, $V_2=90$ m/dak, $V_3=120$ m/dak, $V_4=150$ m/dak, $V_5=180$ m/dak), üç farklı talaş derinliğinde ($a=1$ mm, $a=2$ mm, $a=3$ mm) ve üç farklı ilerlemede ($s=0,5$ mm/devir, $s=0,1$ mm/devir, $s=0,15$ mm/devir) soğutma sıvısı kullanılmadan yapılmıştır. Alın freze çakısındaki kesici takım sayısının titreşim ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemek amacıyla deneylerde farklı sayılarda ($Z_1=1$, $Z_2=2$, $Z_3=3$, $Z_4=6$) kesici takımlar kullanılmıştır. Frezeleme işlemi esnasında oluşan titreşim ve yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Bu parametrelerin yüzey pürüzlülüğü ve titreşim üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kesici uç sayısı arttığında yüzey pürüzlülük değerinin önemli miktarda arttığı gözlenmiştir. Ayrıca, titreşimin de yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmüştür.

7.2 KESME HIZININ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ

Kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemek amacıyla farklı kesme hızlarında 2 mm talaş derinliğinde, 0,1 mm/devir ilerlemede iki kesici uç ile yapılan deneylerde elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri Çizelge 7.1'de verilmiştir. Elde edilen pürüzlülük değerleri ve kesme hızı ilişkisi Şekil 7.1'de verilmiştir. 60 m/dak kesme hızında elde edilen yüzey pürüzlülük değeri 2,2 μ m bulunmuştur. Kesme hızı arttırıldığında kesme hızının artışına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerleri azalmıştır. En düşük yüzey pürüzlülük değeri 150 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Ancak kesme hızının daha da arttırılmasıyla ($V=180$ m/dak) yüzey pürüzlülük değerinin artarak yüzey kalitesinin bozulduğu gözlenmiştir. Kesme hızının artmasıyla takım aşınmasının artacağı bilinmektedir. Bu nedenle diğer yapılacak deneylerde kesme hızının ortalama olarak 120 m/dak alınmıştır.

Çizelge 7.1 Farklı kesme hızlarına bağlı yüzey pürüzlülük değeri

a=2 mm		s=0,1 mm/devir	
V(m/dak)	Ra ort(μm)	RaX ort(μm)	
60	2,111	1,859	
90	1,614	1,700	
120	1,173	1,371	
150	0,916	0,905	
180	1,043	0,766	



Şekil 7.1 Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü ilişkisi (Kesici uç sayısı 2, s= 0,1 mm/devir, a=2 mm)

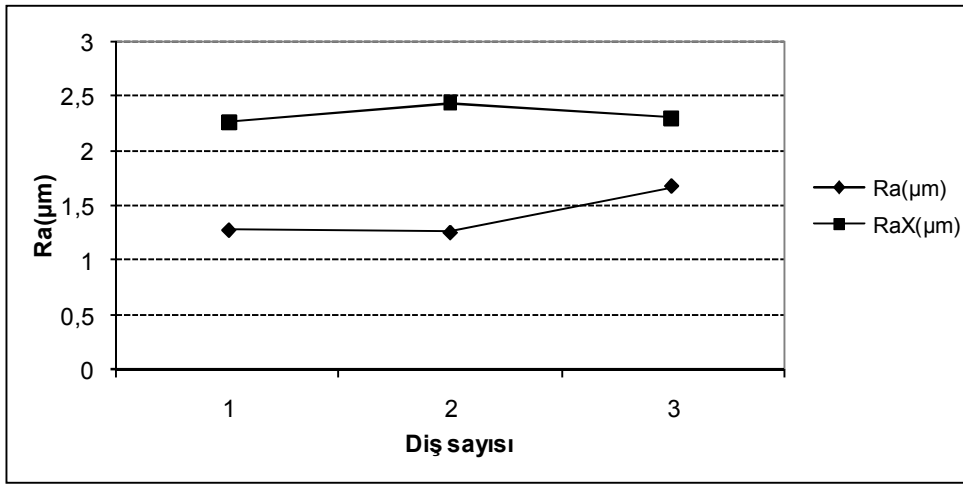
7.3 DİŞ SAYILARININ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ

Diş sayısının yüzey pürüzlülüğüne etkisini belirlemek için 120 m/dak kesme hızında 1 mm talaş derinliğinde, 0,1 mm/devir ilerlemede deneyler yapılmış ve elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri Çizelge 7.2’de verilmiştir. Deneylerde diş sayılarına göre elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ve diş sayısı ilişkisi Şekil 7.2’de gösterilmiştir. Yapılan deneyde bir kesici uç ile talaş kaldırarak elde edilen yüzey pürüzlülük değeri 1,278 μm iken üç kesici uç ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri 1,677 μm ölçülmüştür. Yapılan bu çalışmada yüzey pürüzlülük değerinin önemli miktarda arttığı görülmüştür. Yüzey pürüzlülük 3 dişte elde edilen değer 1 dişte elde edilen değere göre % 127 artmıştır. Artmasının sebebi uç sayısı arttıkça kesici takım ile iş parçası arasında oluşan titreşim frekansı daha fazla olduğundan dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu da yüzey pürüzlülüğünün artmasına sebep olur. Diğer bir sebebi ise tek kesici uç ile üç kesici uçta çıkan talaş miktarı daha fazla olduğundan

takım tezgahı ve takım tezgahı mili daha fazla zorlanmakta buda iş parçası yüzeyinde, yüzey pürüzlülük değerini artırmaktadır.

Çizelge 7.2 Ortalama yüzey pürüzlülük

a=1 mm		s=0,1 mm/devir	
V=120 m/dak	Diş	Ra ort(μm)	RaX ort(μm)
	1	1,278	2,267
	2	1,257	2,444
	3	1,677	2,303

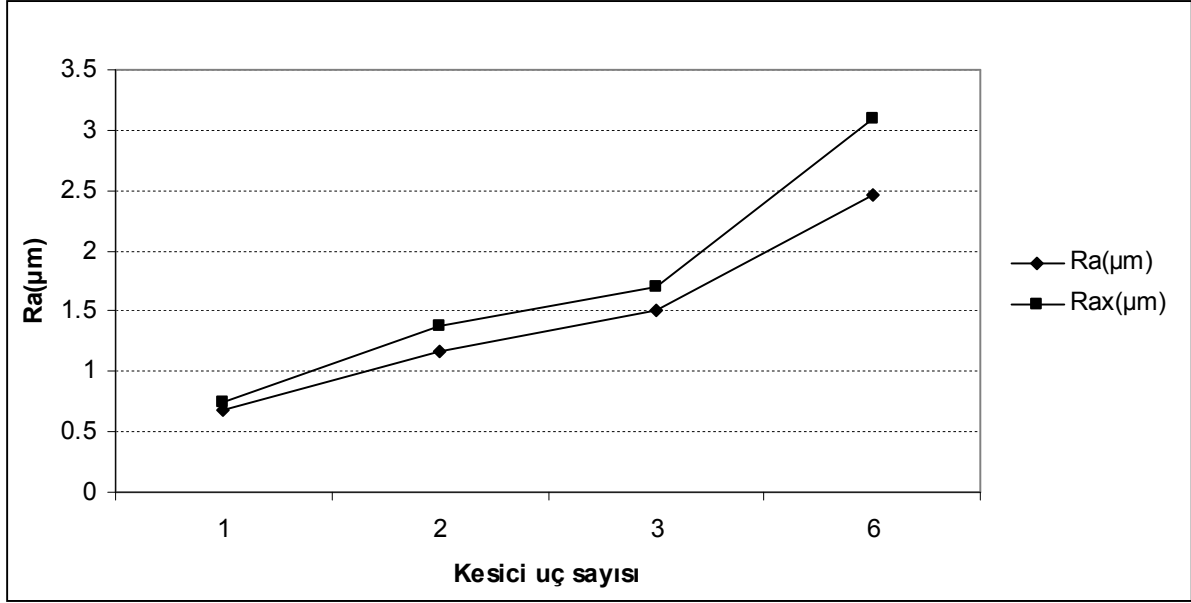


Şekil 7.2 Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü ilişkisi (s=0,1 mm/devir, a=1 mm, V=120 m/dak)

Diş sayısının yüzey pürüzlülüğüne etkisini belirlemek için 120 m/dak kesme hızında 2 mm talaş derinliğinde, 0,1 mm/devir ilerlemede deneyler yapılmış ve elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri Çizelge 7.3’de verilmiştir. Deneylerde diş sayılarına göre elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ve diş sayısı ilişkisi Şekil 7.3’de gösterilmiştir. Yapılan deneyde bir kesici uç ile talaş kaldırarak elde edilen yüzey pürüzlülük değeri 0,678 μm iken altı kesici uç ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri 2,458 μm ölçülmüştür. Yapılan bu çalışmada yüzey pürüzlülük değerinin önemli miktarda arttığı görülmüştür. Yüzey pürüzlülük 6 dişte elde edilen değer 1 dişte elde edilen değere göre oranı % 262 artmıştır. Yapılan bu çalışmada kesici uç sayısı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttırdığı görülmüştür. Artmasının sebebi uç sayısı arttıkça kesici takım ile iş parçası arasında oluşan titreşim frekansı artırarak yüzey pürüzlülüğünün artmasına sebep olmasındır.

Çizelge 7.3 Ortalama yüzey pürüzlülük

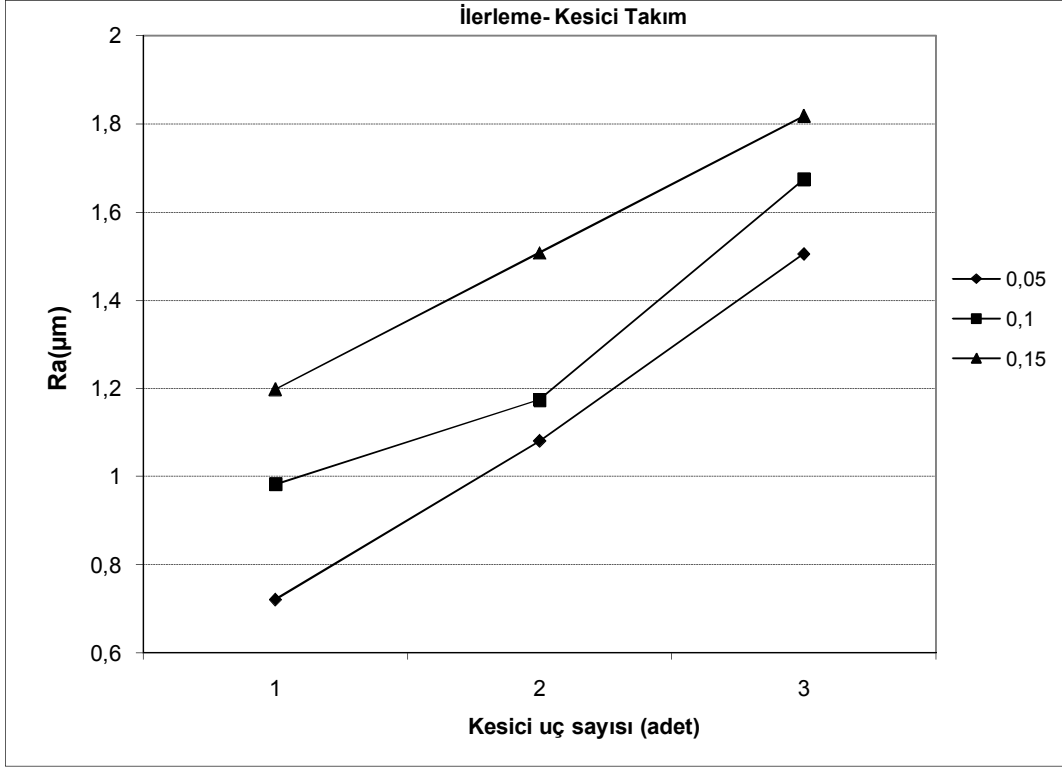
		a=2 mm	s=0,1 mm/devir
V=120 m/dak	Diş	Ra ort(μm)	
	1	0,678	0,753
	2	1,173	1,371
	3	1,507	1,695
	6	2,458	3,092



Şekil 7.3 Kesici uç sayısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi (V=120 m/dak, a=2 mm, s=0,1 mm/devir)

7.4 KESİCİ UÇ SAYISININ VE İLERLEMENİN PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ

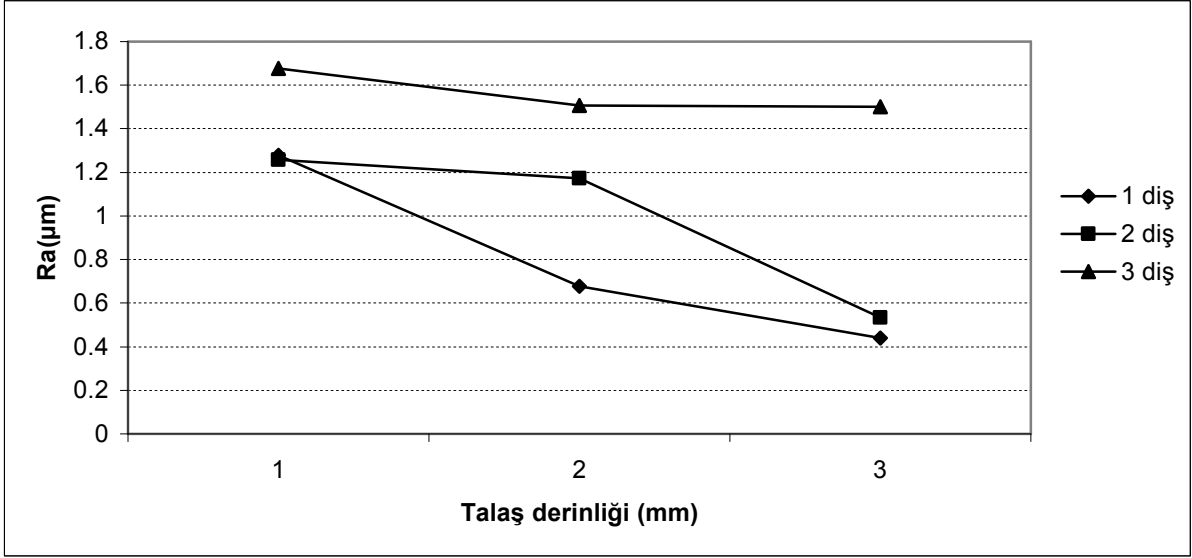
120 m/dak kesme hızında 2 mm talaş derinliğinde 0,05 mm/devir, 0,1 mm/devir, 0,15 mm/devir ilerleme hızlarında yapılan deneylerde elde edilen yüzey pürüzlülüğü ve kesici uç sayısının yüzey pürüzlülüğü ilişkisi Şekil 7.4'de verilmiştir. İlerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerleri artmıştır. Diş sayısının yüzey pürüzlülük değerlerine etkisi diş sayısı arttıkça yüzey kalitesi bozularak yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. 0,05 mm/devir ilerlemede 3 dişte elde edilen yüzey pürüzlülüğü değeri ile 1 dişte elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerine göre oranı % 108 artmıştır. 0,1 mm/devir ilerlemede 3 dişte elde edilen yüzey pürüzlülüğü değeri ile 1 dişte elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerine göre oranı % 70 artmıştır. 0,15 mm/devir ilerlemede 3 dişte elde edilen yüzey pürüzlülüğü değeri ile 1 dişte elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerine göre oranı % 50 artmıştır. Sonuç olarak diş sayısı ve ilerleme miktarının yüzey pürüzlülük değerlerini önemli derecede artırdığı gözlemlenmiştir.



Şekil 7. 4 Kesici uç sayısı ve ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü ilişkisi ($a=2$ mm, $V=120$ m/dak)

7.5 KESİCİ UÇ SAYISI VE TALAŞ DERİNLİĞİNİN PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ

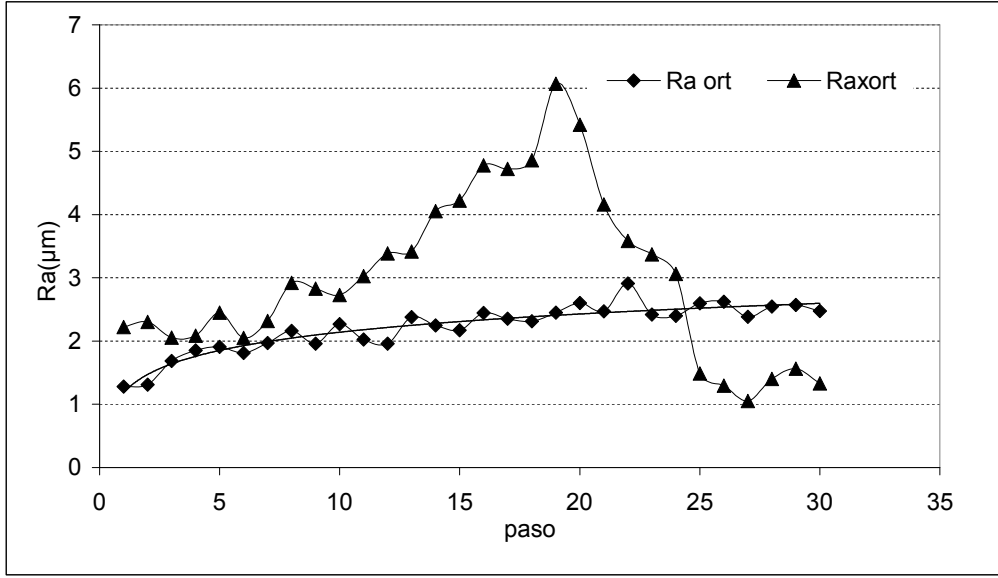
120 m/dak kesme hızında ve farklı talaş derinliğinde (1 mm, 2 mm, 3 mm) yapılan deneylerde elde edilen kesici uç sayısı ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü ilişkisi Şekil 7.5'de verilmiştir. Diş sayısı ve talaş derinliği arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmüştür.



Şekil 7.5 Talaş derinliğinin kesici uç sayısına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü ilişkisi (V=120 m/dak)

7.6 PASO SAYISININ PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ

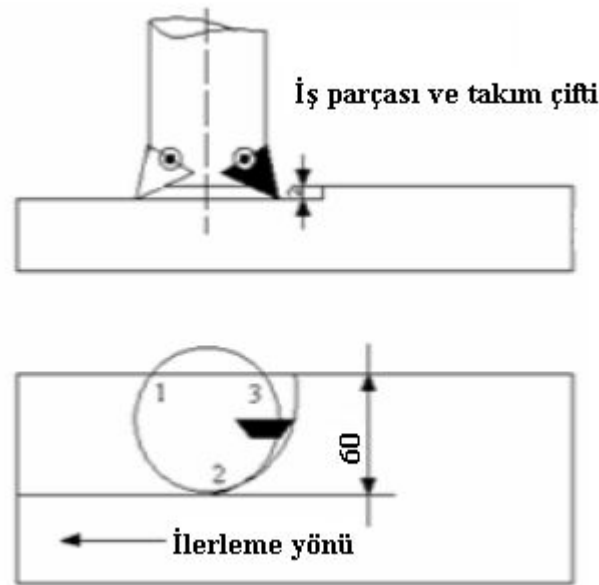
Paso sayısının yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemek için diş sayısı bir olan freze çakısı ile 120 m/dak kesme hızında 1 mm talaş derinliğinde 0,1 mm/devir ilerlemede deneyler yapılmıştır. Kesicinin iş parçası üzerinde (250 mm) talaş kaldırarak bir defa gitmesine bir paso denmiştir. Her paso sonunda elde edilen yüzeyin pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Deney esnasında oluşan titreşimler ölçülmüştür. İlk pasoda ölçülen yüzey pürüzlülük değeri Ra 1,141 µm iken ilk 5 pasoya kadar yüzey pürüzlülük değeri hızlı bir artış göstermiştir. 5-30 paso arasında lineer olarak yüzey kalitesi takım aşınmasına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı görülmüştür. Ancak RaX ortalama olarak ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri önemli miktarda değişkenlik göstermiştir. Yüzey pürüzlülük değerleri ilk pasolarda küçük miktarlarda azalıp çoğalırken 7. pasodan sonra önemli miktarda artış göstermiştir. 20. pasodan sonra ise yüzey pürüzlülüğü değeri maksimum değere ulaşmıştır. Bunun sebebi ise takım aşınmasına bağlı olarak yükseldiği düşünülmektedir. Daha sonraki pasolarda (25. Pasoda) ise yüzey pürüzlülük değerlerinin önemli bir miktarda düştüğü tespit edilmiş bu ise takım aşınmasına bağlı takım ucunun düzleşmesinden kaynaklandığından dolayı olduğu düşünülmektedir. Şekil 7.6'da yapılan eşit şartlardaki deneyde tek kesici uçun 30 deney sonundaki pürüzlülük değeri gösterilmiştir.



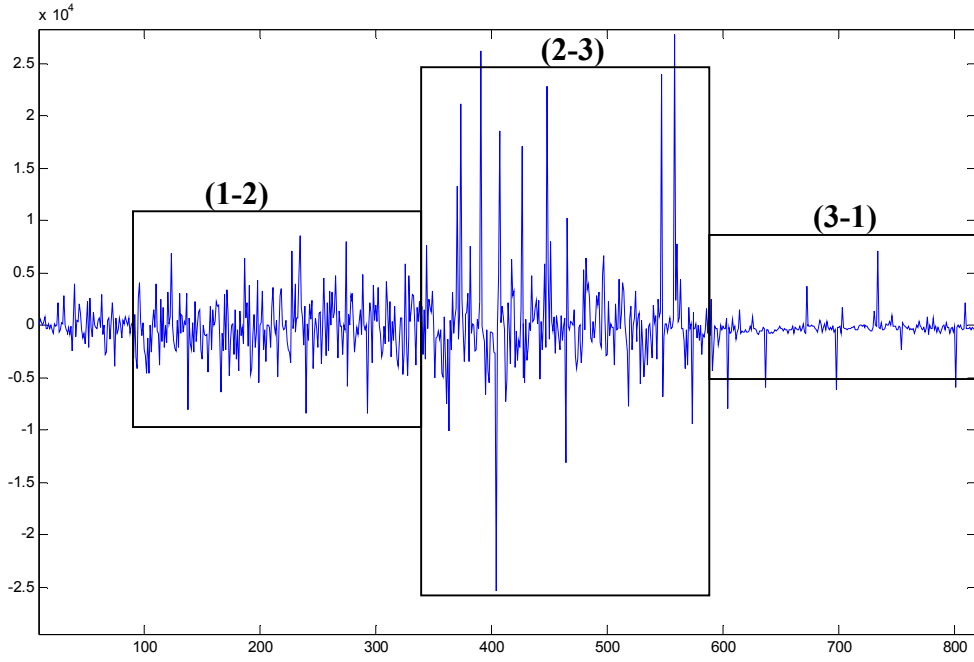
Şekil 7.6 Otuz pasodaki yüzey pürüzlülüğü ilişkisi ($a=1$ mm, $v=120$ m/dak, $s=0,1$)

7.7 KESME HIZI VE İLERLEMeye BAĞLI OLARAK TİTREŞİM FREKANSI

Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak titreşim frekansı Şekil 7.8’de gösterilmiştir. 0–350 ms (1-2) frekans aralığında kesici takım iş parçası üzerine sürtünmekte, 350–600 ms (2-3) frekans aralığında kesici takım iş parçası üzerinden talaş kaldırmakta, 600–800 ms (3-1) frekans aralığında kesici takım boşta gitmektedir. Şekil 7.7’de kesici takımın kesme, sürtünme, boş da geçen zaman aralıkları gösterilmektedir.

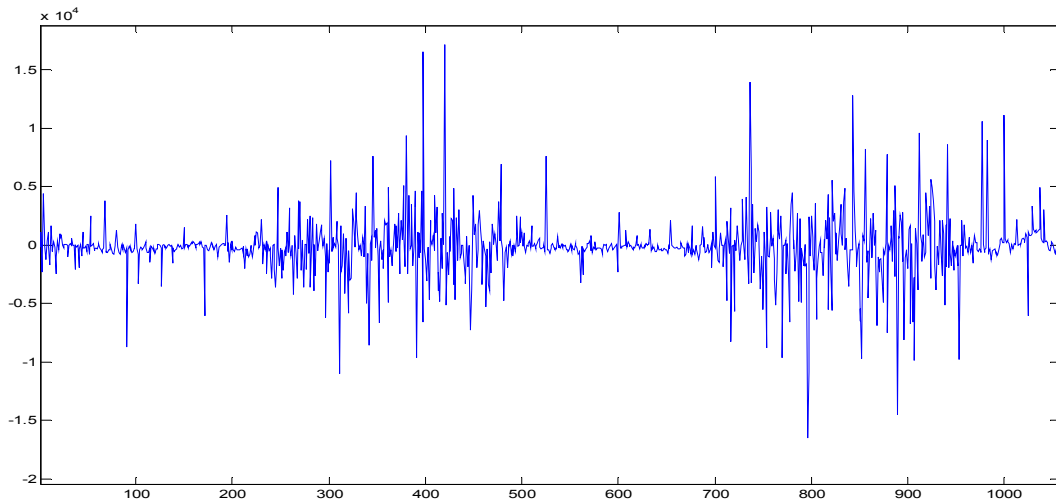


Şekil 7.7 Kesici takımın kesme, sürtünme, boş da geçen zaman aralıkları



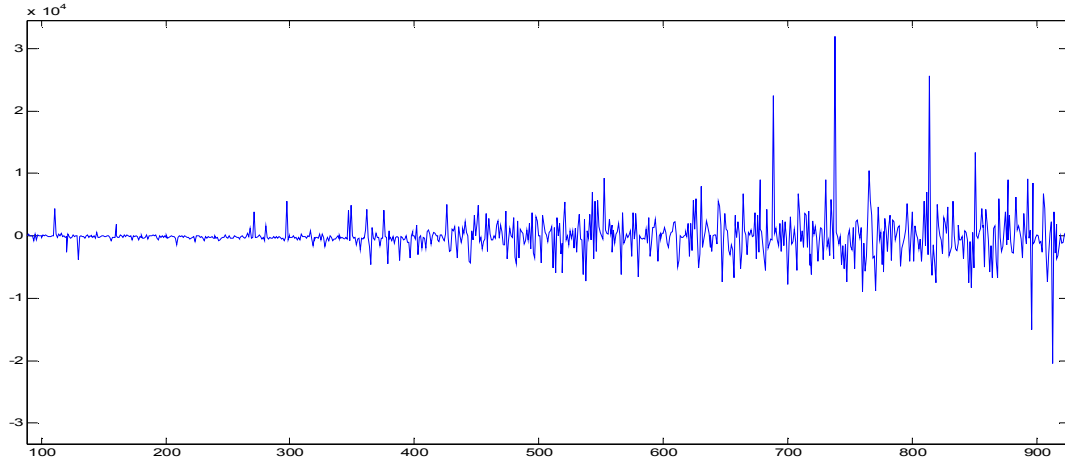
Şekil 7.8 Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak titreşim frekansı ($n=480$ dev/dak, $v=120$ m/dak, $a=1$ mm, $s=0,1$ mm/devir, sağlam uç, iki diş)

Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak titreşim frekansı Şekil 7.9’da gösterilmiştir. 0–200 ms frekans aralığında kesici takım iş parçası üzerine sürtünmekte, 200–500 ms frekans aralığında kesici takım iş parçası üzerinden talaş kaldırmakta, 500–700 ms frekans aralığında kesici takım boşta gitmektedir. Şekil 7.9’da görüldüğü gibi 700 ms’den sonra tekrar frekans yine aynı oranda gidiyor.



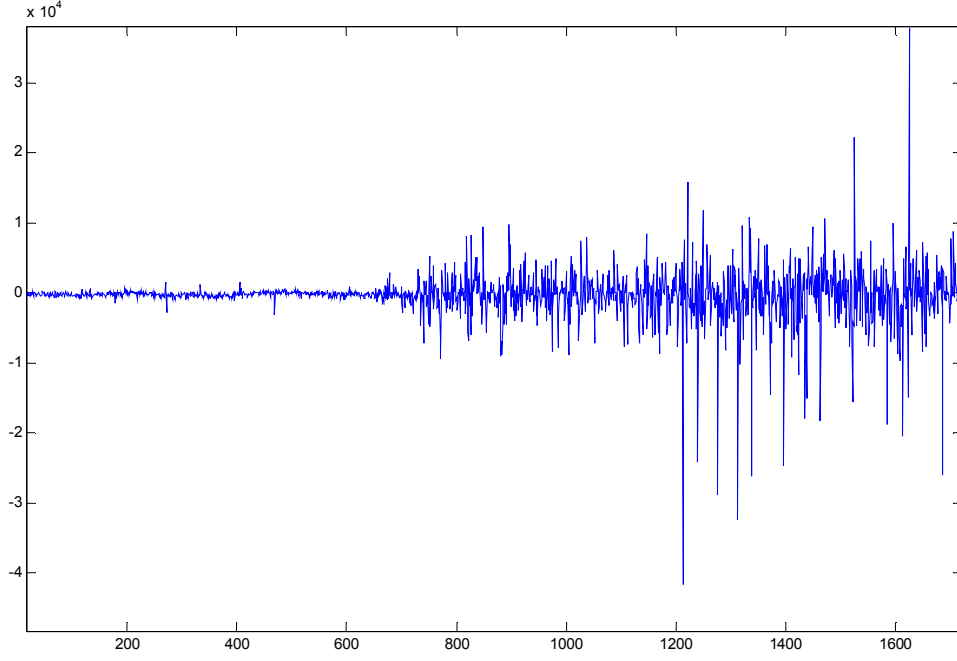
Şekil 7.9 Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak titreşim frekansı ($n=480$ dev/dak, $v=120$ m/dak, $a=1$ mm, $s=0,1$ mm/devir, Sağlam uç, iki diş, ard arda 2 sinyal)

Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak titreşim frekansı Şekil 7.10’da gösterilmiştir. 0–380 ms frekans aralığında kesici takım boşta, 380–700 ms frekans aralığında kesici takım iş parçası üzerine sürtünmekte, 700–900 ms frekans aralığında kesici takım talaş kaldırmaktadır. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak frekans aralıkları uzayabilmektedir. Bu durum Şekil 7.10’da gösterilmektedir.



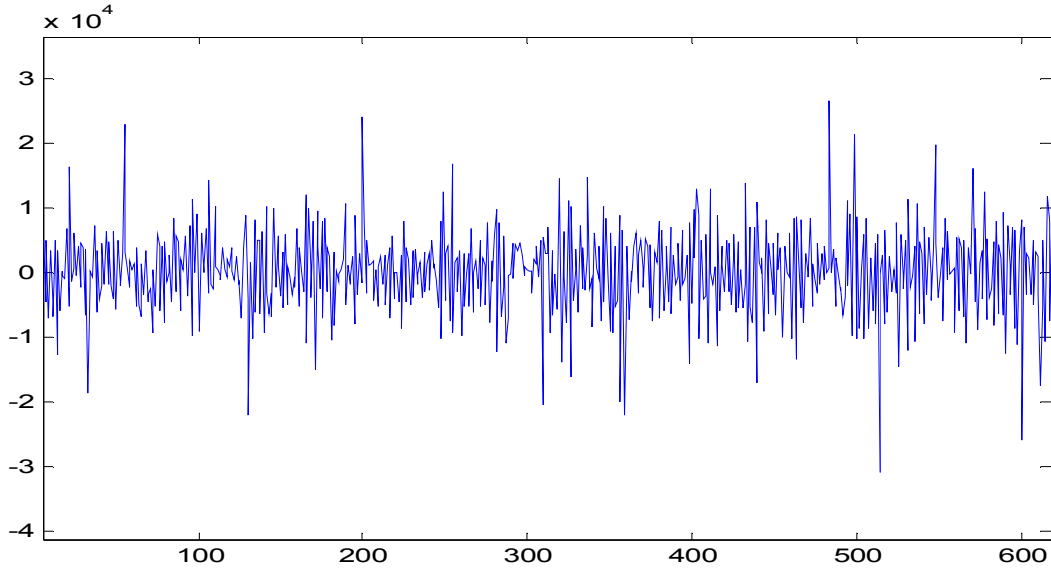
Şekil 7.10 Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak titreşim frekansı (n=480 dev/dak, v=120 m/dak, a=2 mm, s=0,1 mm/devir., sağlam uç, bir diş)

Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak titreşim frekansı Şekil 7.11’de gösterilmiştir. 0–800 ms frekans aralığında kesici takım boşta, 800–1200 ms frekans aralığında kesici takım iş parçası üzerine sürtünmekte, 1200–1800 ms frekans aralığında kesici takım kaldırmaktadır. Kesme hızı 60 m/dak’da ve ilerleme 0,05 mm/devir ile yapılan deneyde frekans aralıkları daha uzun ve daha az titreşim gerçekleşmiştir.



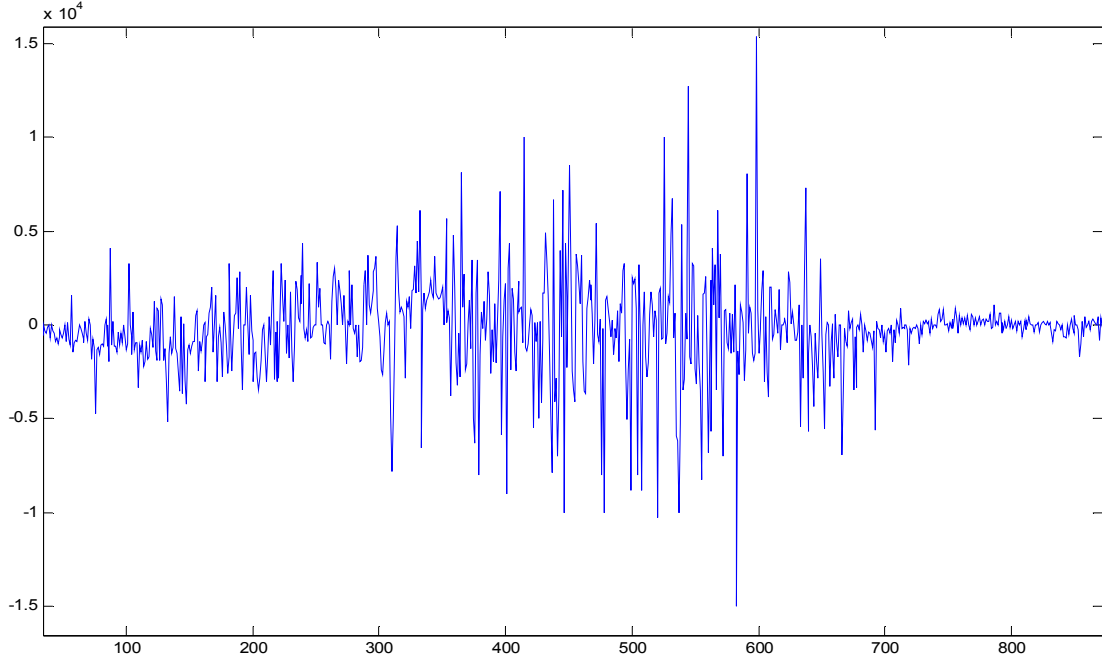
Şekil 7.11 Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak titreşim frekansı ($V=60$ m/dak, $s=0,05$ mm/dev, bir diş)

Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak titreşim frekansı Şekil 7.12’de görülmektedir. Kesme hızı ve ilerleme yüksek olduğu için ve altı kesici takım ucu bağlı olduğu için frekanslar karışmıştır. Kesici uç iş parçasına sürekli girip çıktığından iş parçasında meydana gelecek sürtünme, boşta geçen zaman çok az olacağından frekansların bir biri içine girdiği görülmektedir.



Şekil 7.12 Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak titreşim frekansı ($V=180$ m/dak, $s=0,15$ mm/devir, bir diş)

Kesme hızı ve ilerlemeye bağı olarak titreşim frekansı Şekil 7.13’de gösterilmiştir. Kesici takım ucu üç adet olup kesici ucun biri bozuk, kesme ve sürtünme anında daha çok titreşim gerçekleştiği Şekil 7.13’de görülmektedir.



Şekil 7.13 Kesme hızı ve ilerlemeye bağı olarak titreşim frekansı (V=120 m/dak, s=0,1 mm/devir, üç diş)

BÖLÜM 8

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1 SONUÇLAR

Bu çalışmada, AISI 1050 çelik malzeme kaplanmış sementit karbür kesici takımlar kullanılarak alın frezeleme işlemine tabi tutulmuştur. Alın frezeleme deneyleri beş farklı kesme hızında ($V_1=60$ m/dak, $V_2=90$ m/dak, $V_3=120$ m/dak, $V_4=150$ m/dak, $V_5=180$ m/dak), üç farklı talaş derinliğinde ($a=1$ mm, $a=2$ mm, $a=3$ mm) ve üç farklı ilerlemede ($s=0,5$ mm/devir, $s=0,1$ mm/devir, $s=0,15$ mm/devir) soğutma sıvısı kullanılmadan yapılmıştır. Alın freze çakısındaki kesici takım sayısının titreşim ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemek amacıyla deneylerde farklı sayılarda ($Z_1=1$, $Z_2=2$, $Z_3=3$, $Z_4=6$) kesici takımlar kullanılmıştır. Frezeleme işlemi esnasında oluşan titreşim ve yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Bu parametrelerin yüzey pürüzlülüğü ve titreşim üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

- En düşük yüzey pürüzlülük değeri 150 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Ancak kesme hızının daha da artırılmasıyla ($V=180$ m/dak) yüzey pürüzlülük değerinin artarak yüzey kalitesinin bozulduğu bulunmuştur.
- Yüzey pürüzlülük 3 dişte elde edilen değer 1 dişte elde edilen değere göre % 127 artmıştır. Artmasının sebebi uç sayısı arttıkça kesici takım ile iş parçası arasında oluşan titreşim frekansı daha fazla olduğundan dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Yüzey pürüzlülük 6 dişte elde edilen değer 1 dişte elde edilen değere göre oranı % 262 artmıştır. Yapılan bu çalışmada kesici uç sayısı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttırdığı görülmüştür. Artmasının sebebi uç sayısı arttıkça kesici takım ile iş parçası arasında oluşan titreşim frekansı artırarak yüzey pürüzlülüğünün artmasına sebep olmasıdır.

- 0,05 mm/devir ilerlemede 3 dişte elde edilen yüzey pürüzlülüğü değeri ile 1 dişte elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerine göre oranı % 108 artmıştır.
- Kesme hızı arttırıldığında kesme hızının artışına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerleri azalmıştır.
- Paso sayısı arttıkça yüzey pürüzlülüğü değeri önemli derece de artmıştır.
- Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak titreşim frekansı 0–350 ms (1-2) frekans aralığında kesici takım iş parçası üzerine sürtünmekte, 350–600 ms (2-3) frekans aralığında kesici takım iş parçası üzerinden talaş kaldırmakta, 600–800 ms (3-1) frekans aralığında kesici takım boşta gitmektedir. Kesici takımın farklı parametrelerde (kesme, ilerleme, talaş derinliği, kesici uç sayısı) 60–180 m/dak kesme aralığında titreşimden dolayı yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür.
- Kesme hızı 60 m/dak'da ve ilerleme 0,05 mm/devir ile yapılan deneyde frekans aralıkları daha uzun ve daha az titreşim gerçekleşmiş ve bunun sonucu olarak da yüzey pürüzlülüğünün 180 m/dak'ya göre az olduğu gözlemlenmiştir.
- 180 m/dak kesme hızı ve ilerleme yüksek olduğu için ve altı kesici takım ucu bağlı olduğu için frekanslar karışmıştır. Kesici uç iş parçasına sürekli girip çıktığından iş parçasında meydana gelecek sürtünme, boşta geçen zaman çok az olacağından frekansların bir biri içine girdiği görülmektedir.
- Kesici takım ucu üç adet olup kesici ucun biri bozuk şekilde yapılan deneyde kesme ve sürtünme anında daha çok titreşim gerçekleştiği için bu titreşimin yüzey pürüzlülüğünü de artırdığı gözlemlenmiştir.

8.2 ÖNERİLER

- Bu çalışmada ki işleme parametreleri kullanılarak çeşitli sertlikteki çelik malzemelerin işlenmesi anında oluşacak titreşimler ölçülebilir.
- İşleme anında oluşan titreşimleri azaltabilmek için yavaşma açısı farklı olan kesiciler kullanılabilir.
- İşlenen malzemenin bağlanması ve kullanılan kesici boyutlarının yüzey pürüzlülüğü ve titreşim üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Anonymous** (1982) Measuring Vibration. Brüel & Kjaer, 40 p, Naerum- Denmark
- Anonymous** (1997) ISO 2631-1 Mechanical Vibration and Shock-Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration. International Organization for Standardization, 31 p, Genève-switzerland.
- Arkun, E** (1983) Yapı Bilgisi, Makine Mühendisliği El kitabı, Cilt 4, s. 141–144.
- Anonymous** (1998a) Indroduction to Shock & Vibration. Brüel & Kjaer Sound and Vibration Mesurament A/S, 36 p, Denmark
- Anonymous** (1998b) Vibration Measurement and Analysis. Brüel & Kjaer Sound and Vibration Measurement A/S, 28 p, Denmark.
- Benardos P G Vosniakos G C** (2003) “Predicting Surface Roughness in Machining: A Review”, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 43, 833-844, 2003.
- Brezocnik, M Kovacic M, Ficko M** (in press) “Prediction of Surface Roughness with Genetic Programming”, Journal of Materials Processing Technology, Article in Press.
- Choi Y, Narayanaswami R, Chandra A** (2004) “Tool Wear Monitoring in Ramp Cuts in End Milling Using the Wavelet Transform”, International Journal of Advanced Manufacturing Technologies, 23, 419-428.
- Çiftçi İ** (2005) Kesici takımlar ve kesme teorisi ders notları”, Z:K:Ü Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Ders Notları, Karabük, 3-15.
- Çay İ C** (2006) Tarım Traktörleri Sürücü Koltukları Titreşim Sönümlenme Elemanları Üzerine Bir Araştırma Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi.
- Çoğun C, Özses B** (2002) “Bilgisayar sayısal denetimli takım tazgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, Gazi Üniv.Müh.Mim.Fak. Der. Cilt 17, No1, 59 – 75.
- Dong-Woo, Cho Sang J L, Chong N C** (1998) The State of Machining Process Monitoring Research in Korea, *Int. Journal of Machine Tools & Manufacture*, 39, 1697-1715.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- DeGarmo E P** (2000) "Face milling of nickel-based superalloys with coated and uncoated carbide tools", PhD thesis, School of engineering, Coventry Universty, England, Coventry, 1-60.
- DeGarmo E P, Black J T and Kohser, R A** (1997) "Materials and processes in manufacturing", *Prentice-Hall Inc.*, New Jersey, 214-652.
- Ghosh N, Ravi Y B, Patra A, Mukhopadhyay S, Paul S, Mohanty A R, Chattopadhyay A B** (2007) "Estimation of Tool Wear during CNC Milling Using Neural Network-Based Sensor Fusion", *Mechanical Systems and Signal Processing*, 21, 466-479.
- Groover M P** (1996) "Fundamentals of modern manufacturing- Materials, processes and systems", *Prentice-Hall Inc.*, New Jersey, 220-639.
- Griffiths B J** (2001) Manufacturing surface technology, in: *Surface Integrity and Functional Performance*, Penton Press, London.
- Griffin M J** (1997) *Vibration and Motion. Handbook of Human Factors and Ergonomics*; p. 828-857, A Willey & Sons Inc., New York/ Chichester / Wienheim / Toronto / Singapore.
- Hannah and Stephens R C** (1956) *Examples in Mechanical Vibrations*, Edvard Arnold (Publishers) Ltd, 152p, London.
- Hacısalihoğlu, H H, Balcı M Ve Gökdal F** (1989) *Temel ve Genel Matematik*, Cilt: 3. Özyeşim Web Ofset Tesisleri, 310 s, Ankara.
- Kalpakistan S** (1991) *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, Second Edition, Addison-Wesley.
- Kopacı J and Bahor M** (1999) "Interaction of the technological history of a workpiece material and the machining parameters on the desired quality of the surface roughness of a product", *Journal of Materials Processing Technology*, 92-92: 381-387.
- Korucu S** (1996) "Hidrolik Kopya Aparatı Yardımı İle Elde Edilen Parçalarda Yüzey Pürüzlülüğünün Deneysel İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, G.Ü.
- Kocagöbek M Ali** (2001) "Frezelemede Kesme Parametrelerinin Yüzey Kalitesi ve Mikro Yapıya Etkilerinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, G.Ü.
- Karabulut A** (1995) *Traktör Sürücü Oturakları Yalıtım Sistemi Üzerinde Bir Araştırma*. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi (Makine Eğitimi), 105 s, Ankara.
- Lee K Y, Kang M C, Jeong Y H, Lee D W, Kim J S** (2001) Simulation of Surface Roughness and Profile in High Speed End Milling. *J. Material Processing Technology*, 113: 410-415.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Li C J, Tzeng T C** (2000) “Multimilling-Insert Wear Assesment Using Non-Linear Virtual Sensor, Time Frequency Distribution and Neural Networks”, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 14, 945-957.
- Lou S J, Chen J C** (1999) “In-Process Surface Roughness Recognition (ISSRR) System in End-Milling Operations”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 15, 200-209.
- Orhan S, Er A O, Camuşcu N, Aslan E** (2007) “Tool Wear Evaluation by Vibration Analysis During End Milling of AISI D3 Cold Work Tool Steel with 35 HRC Hardness”, *NDT&E International*, 40, 121-126.
- Shaw M C** (1994) “Metal cutting principles”, Oxford University Pres, Oxford, 1-9 (1989).
- Sandvik Coromant** (1996) “Modern metal cutting – A practical handbook”, English Edition, Sandvik Coromant, Sweden, I-III.
- Stout K J** (1998) Engineering surfaces – a philosophy of manufacture (a proposal for good manufacturing practise), *Proc. Instn.Mech.B* 212 -169 – 174.
- Sabancı A** (1981) Tarım Traktörlerinin Ergonomik Nitelikleri Üzerinde Bir Araştırma. Türkiye Ziraat Kurumu Tarım makineleri Araştırma Enstitüsü Yayın No:1,196 s, Ankara.
- Sabancı A** (1985) Traktör Oturaklarında Titreşim Yalıtım Olanakları, Tarımsal Mekanizasyon 9. Ulusal Kongresi 20–22 Mayıs 1985 Adana, Bildiri Kitabı; s.209–218, Adana.
- Sabancı A** (1984) Tarım Traktörlerinde Titreşim Sorunları ve Sürücü Oturaklarının Yalıtım Özellikleri Üzerinde Bir Araştırma. Türkiye Ziraat Kurumu Mesleki Yayınları Yayını No:35, 188 s, Ankara.
- Saral A** (1976) Yerli Yapı Traktörlerde Oturma Yerlerinin Sürücüye Olan Etkileri. A. Ü. Ziraat Fakültesi Ziraat Kuvvet makineleri Kürsüsü Doktora Tezi, 99 s, Ankara.
- Silleli H. H., Taşbaş H, Aygül A ve Çay C İ**, (2003) Tekerlekli Tarım veya Orman Traktörlerinin Sürücü Koltuğu Test Yöntemi. Tarımsal Mekanizasyon 21. Ulusal Kongresi, 3-5 Eylül 2003, s.147-156, Konya.
- Şahin Y** (2000) Talaş Kaldırma Prensipleri, Cilt I, Nobel Yayınevi, Ankara.
- Tsai Y H., Chen J C, Lou S J** (1999) “An in-Process Surface Recognition System Based on Neural Networks in End Milling Cutting Operations”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 39, 583-605.
- Trent E M** (1989) “Metal cutting”, Butterworths Press, London, 1-71.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

URL- 1 (2007) http://cfa-www.harvard.edu/cfa/oir/MMT/mmt/foltz/mmt_conv5/node33.html
06.06.2007

URL- 2 (2007) http://www.flexbar.com/productmenu_surfaceroughness.htm 19.12.2007

URL- 3 (2007) <http://www.iso.com> 22.08.2007

ÖZGEÇMİŞ

Engin NAS 1983’de SAMSUN’un Bafra ilçesinde doğdu. İlkokul öğrenimini Bafra’nın kuşçular köyünde, Ortaokul öğrenimini Bafra Cumhuriyet Ortaokulunda bitirdi. Bafra Endüstri Meslek Lisesi tesviye bölümünden mezun olduktan sonra 2001 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Talaşlı Üretim Öğretmenliği’ne girdi; 2005’de "iyi" derece ile mezun olduktan sonra aynı yıl Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı’nda yüksek lisan eğitime başladı. Halen Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı’nda yüksek lisans programını sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

E-posta: enginadil@gmail.com