



T. C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ANTI-VİBRASYON TAKIMLA YAPILAN
DELİK İÇİ TORNALAMA İŞLEMİNDE
KESME PARAMETRELERİNİN
OPTİMİZASYONU**

**Mustafa BANAZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Temmuz -2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Mustafa Banaz tarafından hazırlanan “**ANTİ-VİBRASYON TAKIMLA YAPILAN DELİK İÇİ TORNALAMA İŞLEMİNDE KESME PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU**” adlı tez çalışması **31.07.2018** tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç. Dr. Süleyman NEŞELİ

Danışman

Doç. Dr. Ahmet CAN

Üye

Doç. Dr. Ahmet SAMANCI

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Ahmet AVCI
FBE Müdürü

Bu tez çalışması **TÜBİTAK** tarafından 1512 Teknogirişim Sermaye Desteği Programı **2150026** nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Mustafa Banaz

31.07.2018

ÖZET**YÜKSEK LİSANS TEZİ****ANTI-VİBRASYON TAKIMLA YAPILAN DELİK İÇİ TORNALAMA
İŞLEMİNDE KESME PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU****Mustafa BANAZ****NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI****Danışman: Doç. Dr. Ahmet CAN****2018, 115 Sayfa****Jüri****Doç. Dr. Ahmet CAN****Doç. Dr. Süleyman NEŞELİ****Doç. Dr. Ahmet SAMANCI**

Bu çalışmada, yüksek hassasiyete sahip hidrolik silindir kovanlarının delik iç yüzeyinin tornalanması esnasında en iyi yüzey pürüzlülüğünü sağlayacak olan kesme verilerinin optimizasyonu yapılmıştır.

Kesme deneylerinde parametreler kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği(paso) olarak seçilmiş ve bu parametreler taguchi 3 seviye şeklinde belirlenmiştir. Çalışmada, konvansiyonel ve anti-vibrasyon kesici takımlar ile toplam 28 test yapılmıştır. Anti-vibrasyon takımlar tez kapsamında tasarlanıp üretilmiş olan, uzun boyda işlemeye elverişli ve sönümlemeli takımlardır. Yapılan testler sonucunda işlenen parçanın yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür.

Tüm testlerin sonucunda ilerleme azaldıkça, yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği görülmüştür. Diğer sonuç ise standart katerler ile uzun sarkma oranlarında işlem yapıldığında sönümleme olmadığı için tırlamaya yol açtığıdır. Tasarlanan anti vibrasyon takım ile 10/1 L/D bağlama oranında bile konvansiyonel takımlarla elde edilen sonuçlara yakın yüzey pürüzlülüğü sonuçları elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Anti-vibrasyon, hidrolik silindir kovana, optimizasyon, taguchi, tırlama, tornalama

ABSTRACT**MS THESIS****OPTIMIZATION OF PROCESS PARAMETERS IN BORING OPERATION
MADE WITH ANTI-VIBRATION BORING BAR****Mustafa BANAZ****THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING****Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet CAN****2018, 115 Pages****Jury****Assoc. Prof. Dr. Ahmet CAN****Assoc. Prof. Dr. Süleyman NEŞELİ****Assoc.Prof. Dr. Ahmet SAMANCI**

In this study, optimization of cutting parameters are made which will give the best surface roughness value of boring operation of hydraulic cylinder tubes which has high precision.

In cutting tests, the parameters are chosen as feed, depth of cut and cutting speed and these parameters are defined as taguchi 3 level. 28 different cutting tests are made with conventional and anti-vibration boring bar in this study. Anti-vibration boring bars has damping inside and available to use on long overhangs up to 10 times of boring bar diameter. This boring bar are designed and manufactured for this study. After cutting tests, surface roughness of operation are measured on machined workpiece.

As a result of tests, it is seen that surface roughness value is decreased when feed is decreased. The other result is that, machining with long overhangs with conventional null damping boring bars causing the chatter. A close surface roughness results are taken with designed anti-vibration boring bar on 10/1 overhang ratio comparing to conventional boring bars and cutting parameters are optimized.

Keywords: Anti-vibration, chatter, hydraulic cylinder tube, optimization, taguchi, turning

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında bana her türlü desteği sağlayan, çalışmalarımda bana yol gösteren engin bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım değerli danışmanım Doç. Dr. Ahmet CAN hocama minnet ve şükranlarımı sunarım.

Ayrıca bu günlere gelmemde maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen çok kıymetli aileme, bu çalışmaları yapmama ilham olan Kayahan A.Ş. firmasına, gerçekleştirmemi sağlayan İktisat Oto Ltd. Şti. firmasına ve çalışmalarım süresince büyük bir sabırla bana destek olan eşim Merve'ye sonsuz teşekkür ederim.

Mustafa BANAZ
KONYA-2018



İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
2. 1. Literatür Taraması.....	2
2. 2. Hidrolik Silindirler.....	6
2. 2. 1. Hidrolik Silindir Kovanı	8
2. 2. 2. Hidrolik Silindirlerde Doğrusallık	9
2. 2. 3. Hidrolik Silindir Kovanının İşlenebilirliği.....	10
Malzeme Kalitesi, Türü Ve Özellikleri.....	10
İşleme Kalitesinin Ölçülmesi.....	11
İşlem Türü ve Parametreleri	19
İşlem Kısıtlamaları	21
2. 3. Tırlama Titreşimi	23
2. 3. 1. Tırlama Titreşiminin Nedenleri.....	23
Rejeneratif Tırlama.....	24
Dinamik Tırlama Modeli	25
2. 3. 2. Tırlama Titreşiminin Sonuçları	29
2. 3. 3. Tırlama Titreşiminin Belirlenmesi ve Tahmin Edilmesi.....	30
Analitik teknikler ile tırlama stabilitesinin tahmin edilmesi	31
Deneyel teknikler ile tırlama stabilitesinin tahmin edilmesi ve belirlenmesi.....	37
2. 3. 4. Tırlama Titreşiminin Kontrolü	47
Pasif Method ile Tırlama Titreşiminin Kontrolü	48
Aktif Method ile Tırlama Titreşiminin Kontrolü.....	52
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	58
3. 1. İşlenebilirlik Deneyleri	58
3. 2. Anti-Vibrasyon Delik İçi İşleme Kateri.....	65
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	75
Yüzey Pürüzlülük Analizi.....	76
Deney 1 Rz Sonuçları Yüzey Pürüzlülük Analizi.....	77
Deney 1 Ra Sonuçları Yüzey Pürüzlülük Analizi.....	82
Deney 2 Rz Sonuçları Yüzey Pürüzlülük Analizi.....	86
Deney 2 Ra Sonuçları Yüzey Pürüzlülük Analizi.....	90
Deney 3 Sonuçları Yüzey Pürüzlülük Analizi	94
Deney 4 Rz Sonuçları Yüzey Pürüzlülük Analizi.....	95

Deney 4 Ra Sonuçları Yüzey Pürüzlülük Analizi.....	99
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	105
5. 1. Sonuçlar	105
5. 2. Öneriler	106
KAYNAKÇA	107
ÖZGEÇMİŞ	115



1. GİRİŞ

Yapılan mühendislik ve arge çalışmalarının ana amacı tasarlanacak yada tasarlanmış ürün yada sistemin en iyi performansta çalışmasını sağlamaktır. Bu amaçla, öncelikli olarak performansa yönelik çalışmalar yapılır. Bu çalışmalardan birisi de ürünün optimum çalışma şartlarını belirlemektir. Optimizasyon çalışmaları ise ciddi bir ön çalışma ve zaman ister, birçok deneyi farklı koşullarda yapmayı gerektirir, sonrasında ise bu deneylerin doğru yorumlanması gerekir. Bu deneyleri efektif hale getirmek için bazı methodlar kullanılır. Bunlardan biriside Taguchi yöntemidir. Bu yöntem ile daha fazla deney ile elde edilebilecek sonuçlar daha az deney ile elde edilebilir ve zaman ve maliyetten kazanılır.

Talaşlı imalat birçok sektörde kendine yer bulan ve firmaların nihai ürünü ortaya çıkarmak için kullandığı bir imalat yöntemidir. Talaşlı imalat proseslerin iyi yönetilmesi firmaların karlılığı için çok önemli bir yer teşkil etmektedir. Talaşlı imalat proseslerinin iyi planlanması ve uygulanması ise bu proseslerin çalışma şartlarının iyi bilinmesine bağlıdır. Çalışma şartlarını belirlemek için ise talaşlı imalat deneyleri yapmak gerekmektedir. Özellikle talaşlı imalat proseslerinde delik için tornalama operasyonu tırlama titreşimine çok meyilli olduğu için çok iyi yönetilmelidir. Bu yüzden bu operasyonda en iyi yüzey pürüzlülüğünü sağlamak için girdi parametrelerinin doğru bir şekilde seçilmesi gerekmektedir.

Hidrolik silindirler birçok uygulamada kullanılan ve hidrolik enerjiyi mekanik enerjiye çeviren ürünlerdir. Hidrolik silindirlerin kullanıldığı bazı yerler şunlardır; her türlü imalat ve montaj makineleri, transport sistemler, kaldırma ve iletme mekanizmaları, hidrolik presler, basınçlı döküm makineleri, haddehaneler, asansörler vs.

Hidrolik silindiri oluşturan parçalardan birisi ve en önemlisi basınçlı akışkanın hareket ettirdiği pistonun içinde çalıştığı kovan parçasıdır. Yüksek basınç ve hız altında çalışan ve mikron ölçüsünde hassasiyete sahip olan kovanlar malzeme seçiminden yüzey işlemine kadar çok iyi planlanması gereken bir parçadır. Özellikle kovanın honlama öncesinde yapılan delik içi tornalamasında verilecek girdi parametreleri yüzeyin pürüzlülüğünü direkt olarak etkilemektedir. Ayrıca delik içi kater çapının 4 katından büyük boylarda işleme yapıldığında azalan rijitlikten dolayı ortaya çıkan

tırlamadan dolayı bu boylarda standart katerler kullanılamamaktadır. Bu yüzden tırlama olmadan işleme yapabilmek için anti vibrasyonlu takımlar kullanılmalıdır.

Anti vibrasyonlu takımlar ülkemizde henüz üretilmemekte ve yurtdışından özel olarak yüksek fiyatlara ithal edilmektedir. Ticari olarak da henüz bu takımları üretebilen firma sayısı çok azdır.

Bu tez çalışmasının ana motivasyonunu “yurtdışından ithal yollarla elde edilen bu kesici takımları ülkemiz koşullarına tasarlayarak imal etmek ve işleme parametrelerini optimize ederek nihai bir ticari ürün haline getirilmesi” oluşturmaktadır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Literatür Taraması

Genel bir literatür taraması yapıldığı zaman tornalama işlemine ait birçok deneysel çalışma yapıldığı ortaya çıkmaktadır. Kesme kuvvetleri, aşınma yüzey pürüzlülüğü odaklı bu çalışmalarda ana hedef yüzey pürüzlülüğünün azaltılması ve takım ömrünün iyileştirilmesi şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Titreşim konusunda ise bir çok çalışma yapılmasına rağmen talaş kaldırma alanında titreşim konusu hala güncelliğini korumakta ve bu alanda teorik ve deneysel çalışmalar devam etmektedir. Literatürde yapılan çalışmalar aşağıda belirtilmiştir.

Show-Shyan Lin, et al, 6061T6 alüminyum alaşımının delik içi tornalama operasyonunun optimizasyonunu incelemiştir. İlerleme(mm/rev), ortalama yüzey pürüzlülüğü(R_a) ve maximum yüzey pürüzlülüğü(R_z) değerlerini en çok etkileyen parametre olarak belirlenmiş, kesme hızı(m/dk) ise daireselliği en çok etkilemektedir. Ayrıca, ANOVA analiz methodu ile en önemli faktörün ilerleme olduğu görülmüştür.

Çoğun ve Özses'in (2002) yaptıkları deneysel çalışmada, bilgisayar sayısal denetimli “BSD” iki torna, bir düşey işleme merkezi ve bir yatay işleme merkezi tezgâhı kullanılarak işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. BSD torna tezgâhlarında yapılan deneylerde, sabit takım ilerlemesi için iş parçası dönüş hızı arttırıldığında yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmüştür. İş parçası dönüş hızının sabit tutulduğu ve takım ilerlemesinin arttırıldığı deneylerde yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. Sabit işleme hızında yüzey pürüzlülüğünün paso derinliği arttıkça bozulduğu görülmüştür. Büyük uç yarıçaplı kesici takım ile yapılan tornalama işlemlerinde düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri elde

edilmiştir. Sünek parçaların uç yarıçapı küçük olan uçlar ile işleminde talaş kırılmasının zorlaştığı ve talaşın iş parçasına dolanarak yüzey pürüzlülüğünü bozduğu gözlenmiştir. Aşınmamış yeni takımlarla (kesici kenarı keskin) yapılan tornalama operasyonlarında daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. BSD yatay işleme merkezinde, takım dönme hızı sabit tutulup, tabla ilerleme hızı azaltılarak yapılan deneylerde yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. BSD dik işleme merkezi ile yapılan deneylerde, iş parçası malzemesine uygun olarak kataloglardan seçilen önerilen kesme hızının, yaklaşık 1.5 kat artırıldığında da çok iyi yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. İş mili dönme hızının artırılması ile yüzey pürüzlülüğü değerinin düştüğü görülmüştür. Takım ilerlemesinin artması ile yüzey pürüzlülüğü değeri artmıştır.

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

Motorcu'nun (2006), ısıtılmış ve ısıtılmamış Ç1050, Ç4140 ve Ç52100 çeliklerinin kaplamalı karbür, sermet, seramik ve kübik bor nitrür kesici takımlarla işlenmesinde kesme parametreleri ve takım geometrisinin yanı sıra, iş parçası ve takım sertliklerinin, takım ömrü, takım aşınması, talaş atılabilirliği ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametreler sırasıyla ilerleme miktarı, kesme hızı ve talaş derinliği olmuştur. Isıtılmamış Ç1050 çeliğinin işlenmesinde kaplamalı seramik takımlar daha iyi yüzey pürüzlülükleri sağlamışken Ç4140 çeliklerinin işlenmesinde ise kaplamasız seramik takımlarla daha düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Isıtılmış çeliklerin işlenmesinde genelde en düşük yüzey pürüzlülükleri sırasıyla kübik bor nitrür, kaplamasız seramik, kaplamalı seramik ve kaplamalı karbür takımlarla elde edilmiştir.

Özçatalbaş'ın (2000) yaptığı deneysel çalışmalarda, artan kesme hızı ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığını tespit etmiştir. Ancak kesme hızı artışının düşük ilerleme miktarlarında etkisinin fazla olduğu gözlemlenmiş iken artan ilerleme miktarında ise

kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisi azalmıştır. Benzer şekilde, değişik ısı işlemler uygulanmış Ç4140 çeliğinde, düşük kesme hızlarında yüzey pürüzlülük değerleri yüksek iken, artan kesme hızlarıyla numunelerin yüzey pürüzlülüğü iyileşmiştir.

Davim ve Figueira'nın (2006), istatistiksel yöntem kullanarak yaptıkları çalışmalarda seramik takımlarla soğuk iş takım çeliğini tornalayarak işlenebilirliğini incelemişlerdir. Varyans analizi "ANOVA" ve ortogonal tasarım tekniğiyle sonuçları değerlendirmiştir. Sonuç olarak; kesme hızının artması ile takım aşınmasının arttığı belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinin iyileştiği ve artan ilerleme miktarıyla ise kötüleştiği rapor edilmiştir.

Choudhury ve Baradie'nin (1997), yüksek dayanımlı çeliğin kaplamasız karbür takımlarla tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünün önceden tahmini için model oluşturmuştur. Çalışmalarında kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğünde ilerleme miktarının etkisinin kesme hızı ve talaş derinliğinin etkisinden daha belirgin olduğu sonucuna varılmıştır.

Eriksen'nin (1998) yaptığı çalışmada, torna ile işlenen kısa elyaflarla güçlendirilmiş termoplastik malzemelerin değişik kesme ve ilerleme hızları, kesici takım uç yarıçapı ve elyaf doğrultusu ile etkileşimleri incelemiştir. Optimum işleme koşullarını deneysel olarak belirlemenin mümkün olduğu, ancak teorik olarak hesaplanan değerler ile bu parametrelerin uyuşmadığı ifade edilmiştir. Çalışmalarında, ilerleme hızının 0.1 mm/dev değerinin üzerinde olduğu durumlarda yüzey pürüzlülüğünün arttığı, takım uç yarıçapı küçüldüğünde yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, kesme hızı 500 m/min değerine ulaştığı zaman yüzey pürüzlülüğünün bozulduğu, kesme hızı 1500 m/min'e varan yüksek kesme hızlı işlemlerde yüzey pürüzlülüğünün kesme hızından bağımsız olduğu belirtilmiştir.

İşbilir'in (2006), basılı kaynaklarda yer alan bilgilere dayalı olarak, tornalama işlemlerinde takım ömrüne etkili faktörler sebep-sonuç diyagramı halinde ortaya konulmuş, yapılan araştırma verilerinden hareketle çeşitli parametrelerin yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrü üzerine etkisi tespit edilmiş, incelenen bu faktörlere göre yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrü modellenmiştir. Yüzey pürüzlülüğünde kesme hızı, malzeme sertliği, uç radyüsü ve ilerleme faktörlerinin etkili olduğu, kesme sıvısının ve kesme derinliğinin de etkili olmadığı bulunmuştur. İlerleme hızı ve malzemenin

sertliği arttıkça yüzey pürüzlülüğünün artmakta olduğu bulunmuştur. Kesme hızı ve kesici uç radyüsü arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azalmakta olduğu bulunmuştur.

Yang ve Tarng'ın (1998), tornalama operasyonda S45C malzemesi seçmiş olup, optimum kesme parametrelerini bulmak için Taguchi metodu, L9 ortogonal dizi, sinyal gürültü oranı ve Varyans analizi kullanılmıştır. Deney parametreleri olarak kesme hızı 135 m/min, 210 m/min, 285 m/min, ilerleme 0.08 mm/rev, 0.20 mm/rev, 0.32 mm/rev, talaş derinliği 0.6 mm, 1.1 mm ve 1.6 mm olarak belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğünü sırasıyla ilerleme, talaş derinliği ve kesme hızı olarak bulunmuştur. En iyi kesme parametreleri kesme hızı 135 m/dak, ilerleme 0.08 mm/dev ve talaş derinliği 1.1 mm olarak bulunmuştur.

Demirayak'ın (2006), kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve kesici takım üzerindeki kaplama tabakasının yüzey kalitesine ne gibi etkiler yaptığı incelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğüne en büyük etkiyi ilerleme oranı yapmıştır. İlerleme oranındaki azalma kesme kuvvetlerini azaltarak sönümlenme etkisini çoğaltmış ve böylece meydana gelen titreşimi azaltarak daha güzel bir yüzey kalitesi elde edilmesini sağlamıştır. Yüzey kalitesi üzerindeki diğer bir faktör ise kesme hızıdır. Kesme hızının artması kuvvetleri düşürerek titreşimin azalmasına sebep olmuş ve böylece daha iyi bir yüzey kalitesi elde edilmiştir. Düşük ilerleme ve yüksek kesme hızı parametrelerinin birleştiği noktalarda en iyi yüzey kalitesi değerleri elde edilmiştir. Bir diğer kesme parametresi olan talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde göze çarpan bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Talaş derinliğinin %100 oranında artırılması bile yüzey kalitesi üzerinde dikkate değer bir artış yaratmamıştır. Bir ısı kalkanı görevi gören TiAlN kaplama tabakasına sahip IC907 kesici takımında ise aşınma direnci daha düşük olduğundan kesme kuvvetinde bir artış olmamış dolayısıyla yüzey kalitesinde de çok belirgin bir değişme gözlenmemiştir.

Kartal'ın (2000), sert maden uçlu kalem ile belirlenmiş kesme hızları, ilerleme miktarları ve talaş derinliklerinde St 33 çelik malzeme ve St 52 çelik malzeme işlenmiş deneylerden elde edilen veriler Varyans analizi ve Taguchi Metodu yardımıyla değerlendirilerek en uygun kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği) bulunmuştur. Varyans analizi yardımıyla St 33 malzemenin yüzey pürüzlülüğü için en uygun kesme parametreleri olarak; kesme hızı 180 m/min, ilerleme miktarı 0.1 mm/dev ve talaş derinliği 1 mm bulunmuştur. St33 malzeme için, her kesme parametresinin yüzey pürüzlülüğüne etkinlik yüzdelerinin tespiti yapılmıştır. Bu değerler; kesme hızı için % 8.2, ilerleme miktarı için % 75.2 ve talaş derinliği için %

1. 9'dur. Varyans analizi yardımıyla St 52 malzemenin yüzey pürüzlülüğü için en uygun kesme parametreleri olarak; kesme hızı 180 m/min, ilerleme miktarı 0. 1 mm/dev ve talaş derinliği 1. 5 mm bulunmuştur. St 52 malzeme için, her kesme parametresinin yüzey pürüzlülüğüne etkinlik yüzdelerinin tespiti yapılmıştır. Bu değerler; kesme hızı için % 8. 40, ilerleme miktarı için % 72. 56 ve talaş derinliği için % 6. 88'dir.

Davim'in (2001), tornalama işleminde kesme parametrelerin yüzey pürüzlülüğünü etkileri incelenmiş olup sonuçlar Taguchi metodu ile analiz edilmiştir. L27 ortogonal seviyede yapılan deneyde deney parametreleri kesme hızı 250 m/min, 150 m/min, 100 m/min, ilerleme 0. 10 mm/dev, 0. 16 mm/dev, 0. 25 mm/dev, talaş derinliği 0. 5 mm, 0. 75 mm ve 1 mm olarak belirlenmiştir. Deney sonucunda kesme hızının ilerlemeye oranla yüzey pürüzlülüğü üzerinde daha büyük etkiye sahip olduğu, talaş derinliğinin ise etkisinin olmadığı bulunmuştur.

Nalbant ve ark. 'nın (2007), yüzey pürüzlülüğünü etkileyen optimum kesme parametresini bulmak için Taguchi metodu kullanılmıştır. AISI çeliği ve TiN elması ile yapılan deneyde radyüs, ilerleme ve talaş derinliği parametreleri dikkate alınarak L9 ortogonal dizi, sinyal gürültü oranları ve varyans analizi yöntemleri kullanılmıştır. Radyüs değeri 0. 4 mm, 0. 8 mm, 1. 2 mm, ilerleme 0. 15 mm/rev, 0. 25 mm/rev, 0. 35mm/rev ve talaş derinliği 0. 5 mm, 1. 5 mm, 2. 5 mm olarak seçilmiştir. Yapılan deney sonucunda yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli faktör uç radyüsü ve ilerleme olarak bulunmuştur. Uç radyüsü % 48. 54, ilerleme % 46. 95 ve talaş derinliği % 3. 39oranında yüzey pürüzlülüğünü etkilediği görülmüştür. Uç radyüsü 1. 2 mm, ilerleme0. 15 mm/rev ve talaş derinliği 0. 5 mm olarak bulunmuştur.

Qian Zou(2005), boru şeklinde olan delik işleme katerlerini, statik rijitlikteki azalma ve doğal frekanstaki artışın optimum dengesini bulacak bir inceleme yapmıştır. Buna göre katerin iç çapı, dış çapın 0, 6733 katı kadar olduğunda statik rijitlik ve doğal frekanstaki değişim %20, 5 olmaktadır ve buda en optimum değişimdir.

2. 2. Hidrolik Silindirler

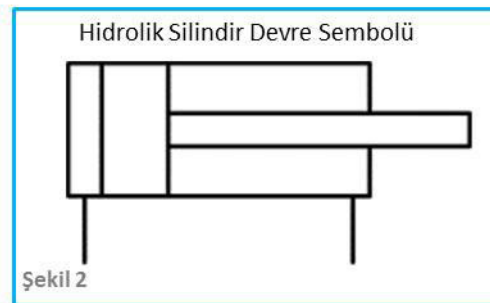
Hidrolik Silindirler hidrolik devrede hidrolik enerjiyi mekanik enerjiye çeviren, doğrusal hareket ve kuvvet elde ettiğimiz devre elemanlarıdır.

Hidrolik silindirler piyasada değişik tip ve ölçülerde kullanılmaktadır. Tek etkili, çift etkili, tandem, teleskopik gibi çeşitli hidrolik silindirler kullanım amacına göre değişik uygulamalarda kullanılır.

Piyasada en çok karşımıza çıkan hidrolik silindir tipi çift etkili tek milli silindirlerdir. Şekil 2. 1’de ki resimde buna örnek teşkil edecek bir silindir gözükmemektedir. Piyasada hidrolik silindire piston ve benzeri birçok farklı isimlendirme kullanılmasına karşın Akışkan gücü terminolojisinde Hidrolik Silindir adı kullanılmaktadır. Hidrolik devre sembolü ise Şekil 2. 2’de yer almaktadır.



Şekil 2. 1. Hidrolik Silindir(AKDER)

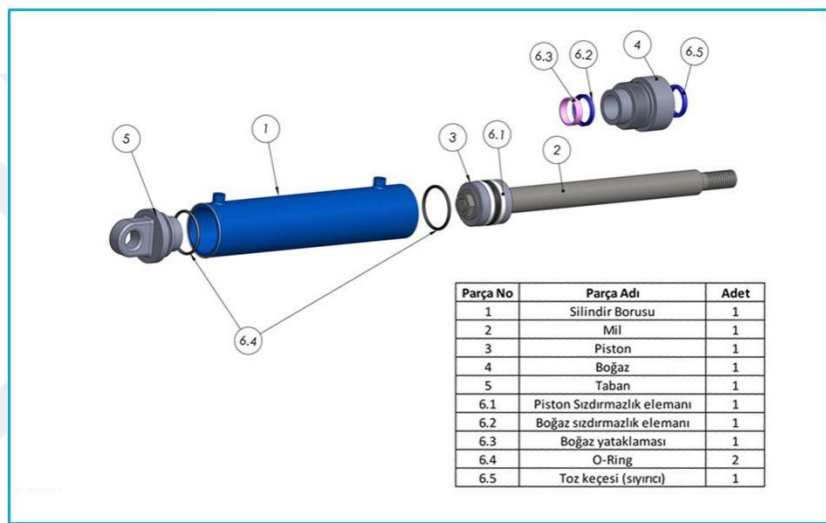


Şekil 2. 2. Hidrolik Silindir Devre Sembolü(AKDER)

Aşağıda Şekil 2. 3’de standart bir hidrolik silindirde bulunan parçaları içeren bir patlatılmış montaj resmi bulunmaktadır. Buna göre; 1 nolu parça kovanda(silindir borusu) bulunan yağ girişleri vasıtası ile kovan içine basınçlı yağ hidrolik pompa ve valfler vasıtasıyla gönderilir. Piston tarafından gönderilen basınçlı yağ, piston kesit alanına basınç kuvveti uygulayarak pistonu ve pistona bağlı olan mili dışarıda doğru iter. Mile bağlı taban parçasına makine aksamı bağlı olduğu için makine aksamına istenen hareket verilir ve böylece akışkan enerjisi mekanik enerjiye çevrilir. Silindir çift etkili ise yağ bu sefer boğaz tarafından sisteme verilir ve mil bu çekmeye zorlanarak kapanır. Burada kritik nokta ise hidrolik yağlar sıkıştırılmaz olduğu için kuvvet

verilmeyen taraftaki yağ boşaltılmadan yağ sisteme verilemez, bunlar ise valfler aracılığı ile yapılır.

Bir hidrolik silindirin görevini yerine getirebilmesi için basınçlı yağın mutlaka içerisinde hapsedilmesi gerekir. Oluşacak iç ya da dış kaçaqlar sonucu silindir içerisinde basınç kaybı oluşup kritik bir değere ulaşması halinde bu basınç kayıplarının etkisiyle silindir görevini yapamaz hale gelebilir. Hidrolik silindirde oluşabilecek kaçaqları engellemek için çeşitli bölgelerde sızdırmazlık elemanları kullanılır. Çok sayıda çeşitte malzemelerden ve çok sayıda tip de üretilen sızdırmazlık elemanlarının seçimi hidrolik silindirin konstrüksiyonuna ve çalışma koşullarına göre yapılır.



Şekil 2. 3. Hidrolik Silindir Patlatılmış Görünüm(AKDER)

Hidrolik silindir kovanının iç çapında oluşabilecek en küçük ölçü yada geometrik bir hata sızdırmazlık elemanlarının fonksiyonunu yerine getirmesine engel olacak ve buda hidrolik sistemde kaçaqlara ve basınç kaybına yol açacaktır.

2.2.1. Hidrolik Silindir Kovanı

Anti vibrasyon takımların en çok kullanıldığı yerlerden biriside hidrolik silindir kovanlarıdır. Çapı küçük ve derin delik içi tornalama işlemlerinde tırlama titreşimlerinin oluşumu kaçınılmazdır. Bu nedenden dolayı hidrolik silindir kovanlarının teknik özellikleri, işlenebilirliği ve tolerans boyutları bu bölümde verilmiştir.

Hidrolik silindirde basınçlı akışkanın gönderildiği ve akışkanın hareket ettirdiği piston-mil parçalarının yer aldığı parçadır. Kovan malzemesi olarak çoğunlukla St52

yapı çeliği kullanılır ve boru yada silindirik dolu malzeme şeklinde temin edilir. Borular sıcak çekim ve soğuk çekiç olarak temin edilebilir. Soğuk çekim St52 borular genellikle hazır honlanmış olarak gelir ve içine ekstra işleme yapmadan kullanılabilir. Sıcak çekim St52 borular ise içinde talaşlı imalat gerektirir ve genellikle derin delik delme tezgahları ile honlama öncesi ölçüye getirilir. Silindirik olan temin edilen dolu malzemeler de honlama öncesi ölçüye ön bir delik delme ve delik işleme ile getirilir. Hidrolik sistemde kullanılan basınç yüksek ise St52 malzeme yerine daha yüksek dayanımlı malzemeler kullanılabilir. Buna örnek ise genellikle mobil hidrolik silindirlerde kullanılan S690Q setleştirilmiş dayanımlı çeliktir. Malzeme ve kovan ölçülerinin seçimi istenen basınç kuvvetine göre yapılır. Burada kritik nokta kovan et kalınlığının basınç kuvvetine dayanıp dayanmadığının kontrol edilmesidir. Bu ise mukavemet hesapları ve sonlu elemanlar analizi ile yapılabilir.

Kovan iç çapına genellikle honlama yapılır. Honlama tezgahları, aşındırıcı taşa sahip honlama kafasının kovan içinde aksel olarak yaptığı hareket ile yüzeyden uygulamaya göre 0, 1-1 mm arasında talaş kaldırma mantığı ile çalışır. Bu işlem esnasında sürtünmeyi azaltıcı yağlar kullanılır. Honlama sonrası yüzey pürüzlülüğü Ra 0,2 - 0,4 μm olarak sağlanabilir. Honlama dışında diğer yüzey parlatma teknikleri kullanılabilir (ezerek parlatma, raybalama vs.) ancak honlama sızdırmazlık ömrünü uzattığı için daha çok tercih edilir. Paslanma riskinin yüksek olduğu durumlarda kovan içine sert krom kaplamada yapılır yada malzeme direkt olarak paslanmaz olarak seçilir, bu durumda da honlama yapılır.

2.2.2. Hidrolik Silindirlerde Doğrusallık

Hidrolik silindirler birden fazla parçanın bir araya gelmesiyle oluşan komplike ekipmanlardır. Çalışma şartları incelendiğinde ileri – geri hareketi yapan parçalar tek bağlantı ekseninde çalışmaktadır. Bu nedenle silindiri oluşturan tüm parçalar aynı eksen üzerinde konumlandırılmalıdır.

Aksi taktirde;

- Eksen farklılıkları silindirin yaslanarak çalışması demektir ki, buda keçelerin hızla aşınmasına neden olur.

- Farklı eksen istenmeyen yükleri de silindir elemanlarına taşıtmak anlamına gelir, sonuç olarak silindir elemanlarının ömrü kısalmır.

- Silindir şayet şase bağlantısından güçlü ise makinenin şasesini zorlar ve şasede deformasyona sebep olabilir.

- Sistem çabuk ısınır.
- Elektrik motoru ve pompa zorlanır.
- Sonuç olarak gereksiz güç kayıpları oluşur ve verim düşer.

Tüm bunları sağlamak için kovan-mil-piston üçlüsünün işlenmesine çok dikkat edilmelidir. Çalışmanın konusu kovan iç çapının işlenmesi olduğu için sadece kovanda bu kısma dikkat edilecektir.

2.2.3. Hidrolik Silindir Kovanının İşlenebilirliği

Hidrolik silindir kovanının işlenebilirliği 4 ayrı maddede incelenecektir. İlk olarak kovanların malzeme kalitesine bakılacaktır. Çünkü bu işleme prosesini tamamen etkilemektedir. İkinci olarak işleme kalitesinin ölçülmesi için ne gibi methodlar var ve bunlara neden ihtiyaç duyuyoruz, ona bakılacak. Üçüncü olarak işlemenin türüne ve parametrelerine bakılacak ve son olarak da işlemeyi kısıtlayan öğeler inlenecektir.

-Malzeme Kalitesi, Türü Ve Özellikleri

Hidrolik silindir kovanlarının malzeme kalitesinin seçimi hidrolik sistem basıncına ve hidrolik silindirin kullanılacağı ortama göre değişkenlik gösterebilir. Ancak, çoğunlukla piyasada St52 yapı çeliği kullanıldığı için bu çalışmada bu malzeme üzerinde deneyler yapılmıştır. Sıcak çekilmiş boru St52 yapı çeliğine ait malzeme özellikleri Çizelge 2.1.'de verilmiştir.

Çizelge 2. 1. St52 malzemenin kimyasal ve mekanik özellikleri (DIN 17100)

C %	Si %	Mn %	P %	V %	S %	Nb %	Ti %	Al %
≤0, 20	≤0, 55	1-1, 6	≤0, 04	0, 02- 0, 15	≤0, 05	0, 015- 0, 06	0, 02- 0, 2	≥0, 015

Akma Dayanımı (Mpa)	Kopma Dayanımı (Mpa)	Darbe Dayanımı (J)	Uzama %
≥ 345	470-630	≥ 34	≥ 21

Yukarıda verilen bilgilerden anlaşılacağı üzere yüksek dayanıma sahip bu malzemelerin işlenebilirliği ve kaynak edilebilirliği çok iyidir. Karbon(C) miktarı düşük olduğu için sertliği yüksek değildir ve bu yüzden talaşlı imalat operasyonlarında işleme konusunda problem yaşanmaz.

-İşleme Kalitesinin Ölçülmesi

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

Üretilen üründe yüzey yapısı, bitirilmiş yüzey, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey karakteristik terimler, sınıflandırmalar ve semboller tasarımcıların, teknikerlerin ve diğer çalışanların iletişim kurmasına imkan vermektedir. Kısmi özellikleri verilen bir yüzeyin yapımı için belirlenen özelliklerin doğru olarak yorumlanmasını sağlar (1). Modern talaş kaldırma yöntemlerinde boyutsal tamlılığın yanında yüzey kalitesi de önemli bir unsurdur. Birbirleriyle çalışan yüzeylerin kalitesi bu parçaların aşınmasında önemli bir etkidir. İşleme kalitesinin ölçülmesinde sadece yüzey pürüzlülüğünden bahsedilecektir.

-Yüzey pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü, kullanılan imalat metotlarıyla ve başka etkilerle ortaya çıkan mutlak tarzda genellikle başka düzensizliklerle sınırlanan oldukça küçük aralıklı yüzey düzensizlikleridir. En uygun takım geometrisi ve kesme hızı ile sağlanabilen en iyi yüzey pürüzlülüğü ideal yüzey pürüzlülüğünü verir. Kesici takımında BUE oluşumu, titreşim ve takımın hatalı bağlanması gibi etkenler azaltılırsa ideal yüzey pürüzlülüğü sağlanabilir (Bayrak, 2002).

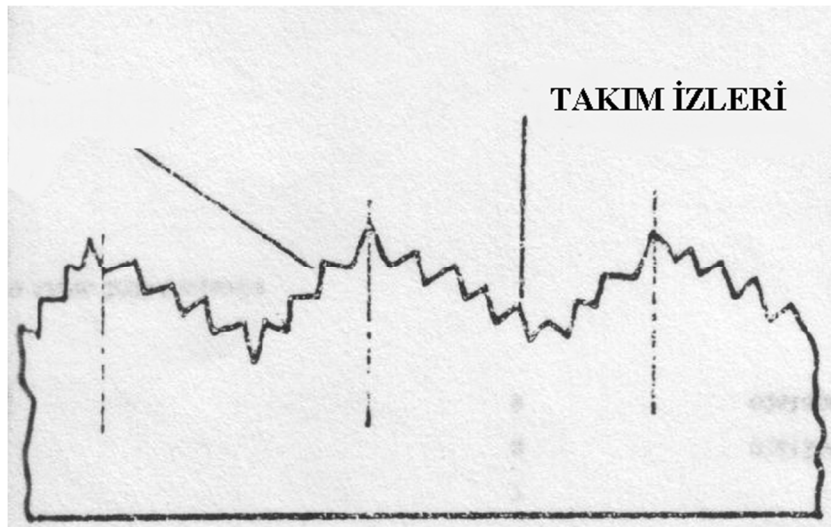
Yüzey karakteristiklerinin ölçümü için önce “yüzey yapısı” ve “yüzey pürüzlülüğü” terimiyle ne kastedilmek istendiğini anlamak gereklidir.

-Yüzeyin yapısı

Yüzey yapısı şu terimlerle daha iyi tanımlanır.

-Pürüzlülük

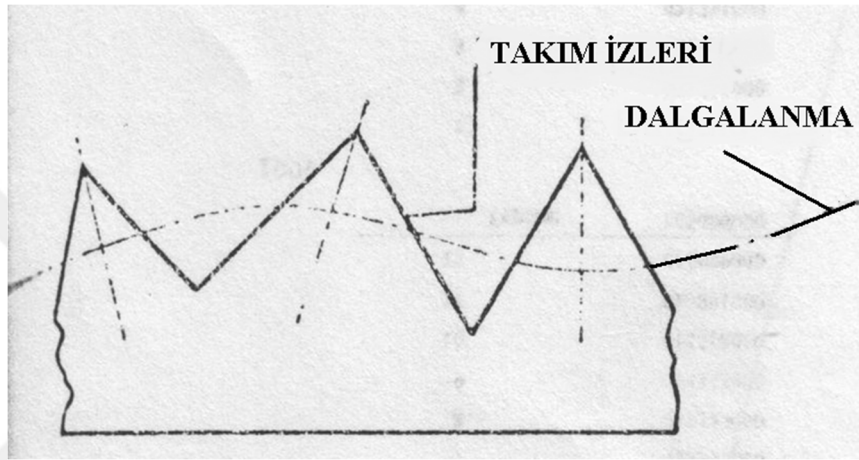
İşleyici bir takımın, yüzeyin bir ucundan diğer ucuna gitmesiyle oluşan pek çok çizikli, düzensiz kısa dalga boyu uzunluklarıdır. Yüzeydeki çizik izlerini normal yönde ölçme ile çapraz yönde (açılı kesik çizgi) ölçme arasında dalga boyu uzunluğu açısından fark vardır.



Şekil 2. 4. Pürüzlülük Gösterimi

-Dalgalanma

Yüzey pürüzlülüğü düzensiz dalga boyu uzunlukları olarak dağılmışsa, yüzey aşırı yüklenmiş demektir. Bu tür bir oluşum **dalgalanma** olarak adlandırılır. Dalgalanma, yüzeyin taşlanması esnasında, taşlama taşının eksik kısımlarından, işlemeyi yapan takımın bağlantı karterinin titreşiminden ve ısıl işlemlerden meydana gelebilir.



Şekil 2. 5. Dalgalanma Gösterimi

-Genel Form Hataları

Yüzeyin yapısında, kızak aşınmalarından, tornalama işleminde işleyici takımın merkezinin aşağıda veya yukarıda olmasından, iş parçası işlenirken iş parçasının eğilip bükülmesinden form hataları meydana gelebilir.



Şekil 2. 6. Form Hataları

Bu tür pürüzlülük ve dalgalanma hataları yüzey pürüzlülük cihazları ile ölçülebilir. Yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazları yüzeyin profilini grafik olarak çizerler. Yüzeyin uzun dalga boylarında olması, yüzey pürüzlülüğü ölçme parametre değerini etkiler. Bun edenle çok uzun dalga boylarının etkisi önlenmelidir.

Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesinde kullanılan parametreler

Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesinde kullanılan bazı parametreler aşağıdaki gibidir.

Rz : 5 tane en yüksek, 5 tane en düşük noktanın ortalaması,

Ra : Aritmetik ortalama sapma,

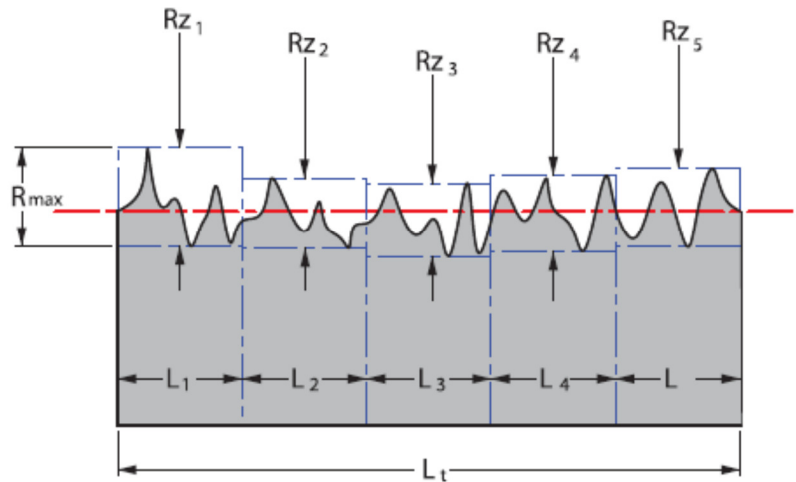
Rmr : Ortalama yüzey temas alanı,

Rt : Tüm ölçüm uzunluğu için maksimum yükseklik ile maksimum derinliğin toplamı,

Rq : Aritmetik ortalama sapmaların karekökü anlamında bir parametredir.

-Ortalama pürüz yüksekliği (Rz)

Talaşlı imalatta genellikle kaba yüzeyleri göstermek için kullanılır. Birimi μm 'dir. Yüzey pürüzlülüğü ölçen cihazlardan direkt olarak okunabilir. Grafikten ölçülmesi kolaydır. Ortalama değer şu formülle belirlenir.



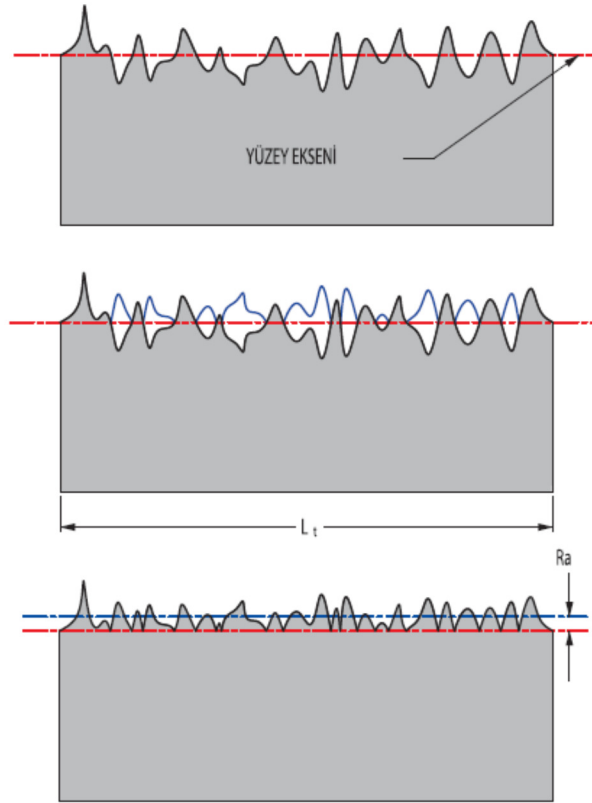
Şekil 2. 7. Rz Gösterimi (Kastaş)

$$R_z = \frac{R_{z1} + R_{z2} + R_{z3} + R_{z4} + R_{z5}}{5}$$

-Aritmetik ortalama sapma (R_a)

Bu ifade BSJ standardında merkez eksenli ortalama yüksekliği olarak tarif edilmiştir. Birimi μm 'dir. Daha çok finiş yüzeyleri göstermek için kullanılır. Yüzey pürüzlülüğü ölçen cihazlardan direkt olarak okunabilir. Aşağıdaki formül ile grafiklerden belirlenebilir.

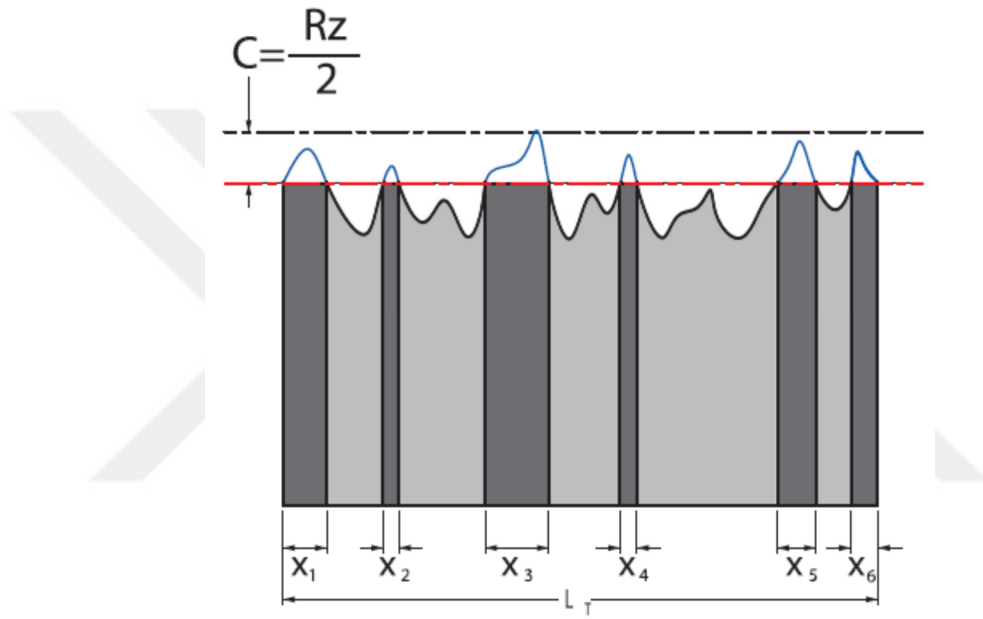
$$R_a = \frac{1}{L_t} \int_0^{L_t} z(x) dx$$



Şekil 2. 8. R_a Gösterimi (Kastaş)

-Ortalama yüzey temas alanı (R_{mr})

Özellikle sızdırmazlık elemanlarının kullanıldığı yerde belirtilir. Birimsizdir ve % olarak belirtilir. Yüzey temas alanı yüzdesi R_{mr} belli bir yüzey uzunluğundaki yüzey pürüzlülüklerinin C derinliğinde kesildiğinde temas sağlayan yüzeylerin temas sağlamayan yüzeylere oranıdır. C değeri çoğunlukla $R_z/2$ olarak alınır. R_{mr} değeri yüzey pürüzlülük ölçüm cihazlarının hepsinde yer alan bir özellik değildir. Aşağıdaki formülden hesaplanabilir.



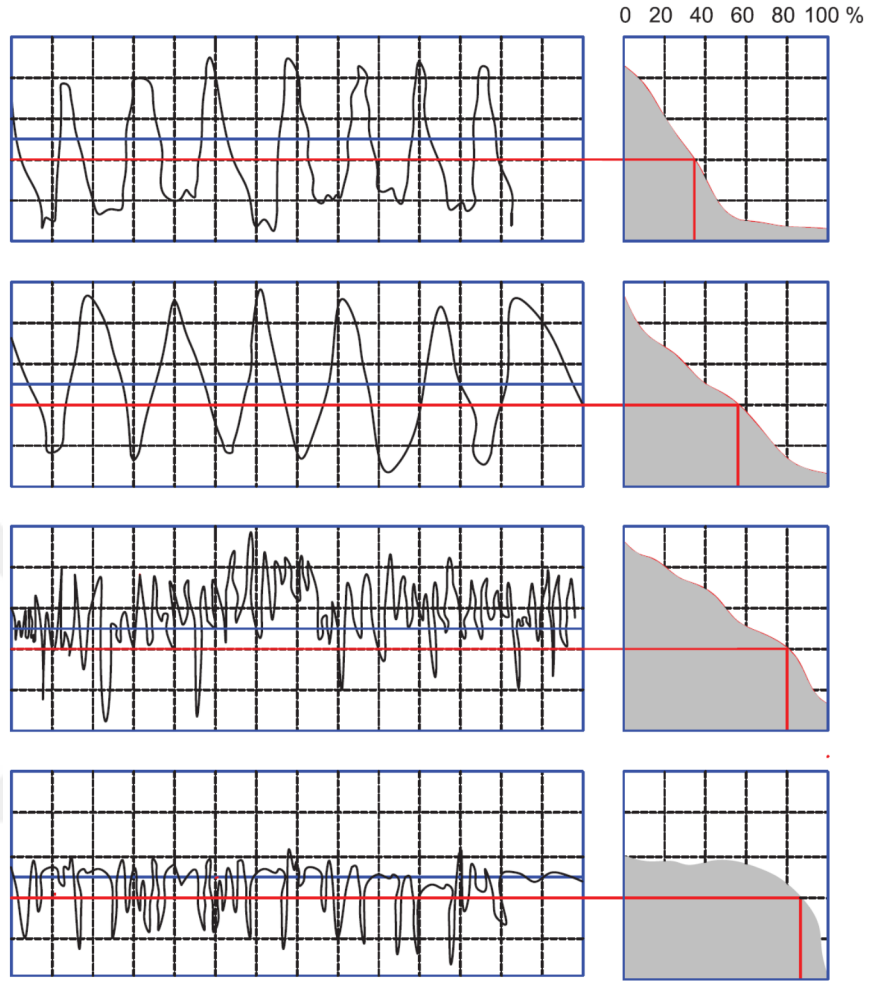
Şekil 2. 9. R_{mr} Gösterimi (Kastaş)

$$R_{mr} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6}{L_t} \times 100$$

R_{mr} değerinin daha iyi anlaşılması için aşağıda verilen şekilden şu yorumları çıkartabiliriz.

Aşağıdaki grafiklerde R_z değerleri birbirine yakın olan 4 farklı yüzey C derinliğinde kesildiği zaman R_{mr} değerleri %35 ile %90 arasında değişebilmektedir. Bu grafiklerden sonuncusu ideal yüzeye örnek teşkil eder. Çünkü R_{mr} değerinin %100 olması istenen bir durum değildir. Böyle bir durumda kayma yüzeyinde ayna etkisi görülüp , yağ filmi oluşmamakta ve sızdırmazlık malzemesinin çok kısa sürede hasar

görmesine neden olmaktadır. %70 altındaki Rmr değerleri de yüzey çok pürüzlü olacağı yine aynı sebepten istenmemektedir.



Şekil 2. 10. Rmr Gösterimi (Kastaş)

Diğer yüzey pürüzlülük değerleri R_t ve R_q ise talaşlı imalat proseslerinde çok kullanılan gösterimler olmadığı için burada ayrıca belirtilmemiştir.

Yüzey Pürüzlülüğünün Önemli Olduğu Durumlar

Yüzey pürüzlülüğü birçok alanda önemli bir parametredir. Bunların bazıları;

- Sürtünmeli yataklar,
- Korozyon ortamında çalışan parçalar,
- Yuvarlanmalı yataklar,
- Boyanmış ve kaplanmış yüzeyler,

- Sızdırmazlık yüzeyleri,
- Plastik enjeksiyon kalıp yüzeyleri,
- Masterlar vb (Demir 2002).

Yüzey Pürüzlüğüne Etki Eden Faktörler

Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler;

- Kesici takımındaki titreşimler,
 - Kesici takım geometrisi,
 - İşlenen iş parçasında meydana gelen titreşim ve balans,
 - İlerleme miktarı,
 - Kesme hızı,
 - Talaş derinliği,
 - Kesici uçun üzerine talaşın yapışması (BUE),
 - İşlenen malzemenin süreksiz talaş vermesi,
 - Bir önceki yüzey kalitesi
- şeklinde sıralabilir. (Bayrak 2002)

-Kesici takımındaki titreşimler

Bu konuya ilerleyen bölümde ayrıca değinilecektir.

-Kesme hızı yada makine devri

Kesme hızı, sabit bir kesici takıma göre iş parçasının dönme hızı ile ilgili hareketi olup parça üzerindeki bir noktadan takımın dakikada metre cinsinden aldığı yol olarak tanımlanır. Kesme hızı V ile gösterilir ve birimi m/dak olarak ifade edilir. İş parçasının dönme hızı veya tezgâhın devir sayısı (n), iş parçasının işlenen çapıyla(d) ilgili olduğundan kesme hızı aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

$$V = \frac{\pi x D x n}{1000}$$

-İlerleme Miktarı

İlerleme hızı, iş parçasının her bir dönüşünde, yani birim zamanda takımın işekseni boyunca hareket ettiği mesafe veya her bir pasoda kaldırılan malzeme miktarıdır. İlerleme hızı birimi genelde mm/dev veya mm/min olup f ile gösterilir. İş parçası dönme eksenine paralel ilerleme hareketi yapar. Fakat alın tornalamada istedik ilerleme hareketi yapar (Şahin 2003).

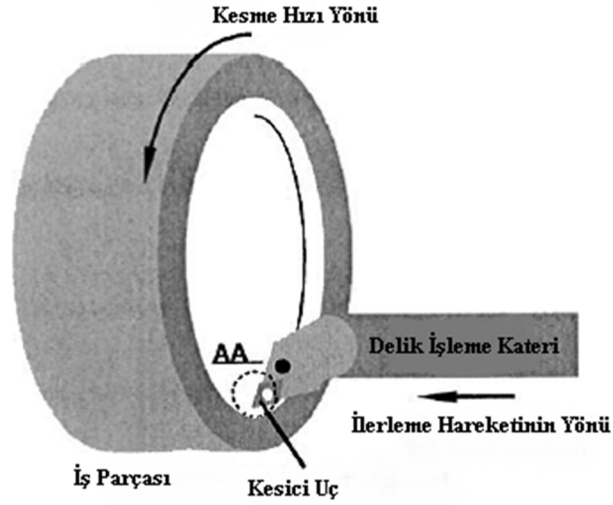
-Talaş Derinliği

Talaş derinliği, talaş kaldırma işleminde üçüncü boyutu göstermekte olup takımın iş parçası içine dikey olarak daldığı mesafedir. İlk çapla son çap arasındaki farkın yarısına eşittir. Genellikle ap ile gösterilir (Şahin 2003). Tornalamada talaş kaldırma işlemi, iş parçasından istenen özelliklere göre kaba talaş kaldırma ve son paso işlemleri tatbik edilmektedir. Kaba talaş kaldırmada maksat birim zamanda mümkün olduğu kadar çok talaş kaldırmaktır. Bu yüzden paso derinliği 1-25 mm, devir başına ilerleme 0.05-3 mm arasındadır. Son paso ise, düzgün yüzey elde etmek için yapılır. Kesme hızı arttıkça, yüzey düzgünleşir. Son pasoda paso derinliği 0.1-0.5 mm, devir başına ilerleme 0.05-1.5 mm arasındadır (Anık ve ark. 2000).

-İşlem Türü ve Parametreleri

Bu bölümde çalışmanın konusu olan talaşlı imalat proseslerinden delik içi tornalama ve parametrelerinden bahsedilecektir.

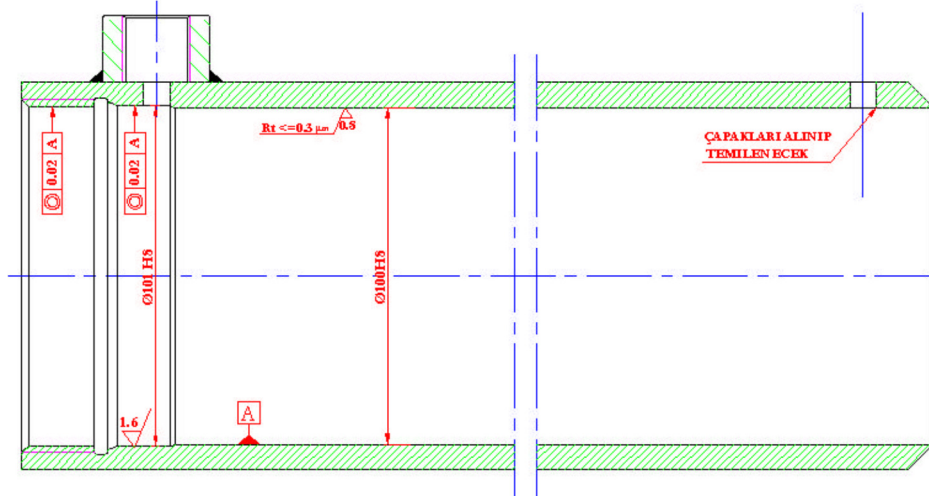
Örnek bir delik içi tornalama operasyonu Şekil 2.11'de verilmiştir.



Şekil 2. 11. Delik içi tornalama operasyonu

Buna göre, aksenal x yönünde hareket eden delik içi işleme kateri, iş parçasından uygun ilerleme, kesme hızı ve talaş derinliğinde talaş kaldırmaktadır. Talaş tahliyesinin kolay olabilmesi için katerin çapı işlenecek çaptan daha küçük seçilmelidir.

Yukarıda verilen bilgiler ışığında kovan imalatlarında daima referans kovan iç çapıdır. İmalat esnasında kovana yapılacak tüm işlemler iç çap referans alınarak gerçekleştirilir. Ayrıca yağ giriş rakoru şayet kaynaklı ise bu proses tornalama işlemi öncesi yapılmalıdır. Şekil 2. 12'deki resime bakıldığında kovan çapından 1 mm büyük 101 mm ölçüsü mevcuttur. Bu bölge ön kapağın oturma bölgesi olup, şayet kaynak sonrası ovallik öngörülen sınırları geçmiş ise yine kovanın iç çapı referans alınarak dış çekimi ile birlikte bir seferde işlenmelidir. Çap 101 ölçüsünün işlenmesinde dikkat edilecek diğer nokta ise yüzey kalitesidir. Çünkü O-ring denilen sızdırmazlık elemanı yer almaktadır.



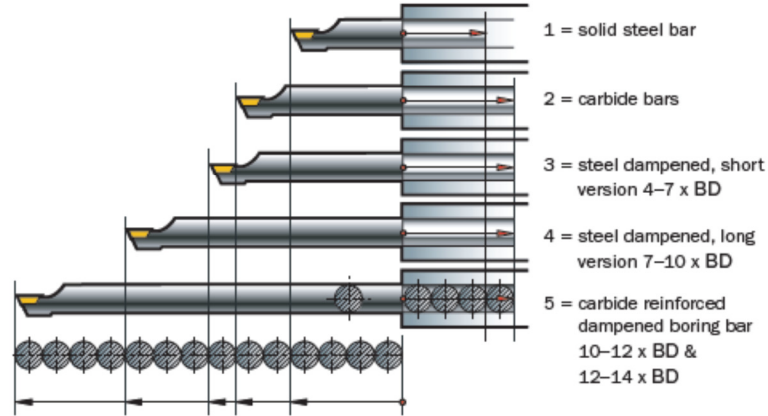
Şekil 2. 12. Hidrolik Silindir Kovanı Teknik Resmi

Yüzey kalitesi ve dairesellik bu sızdırmazlık elemanının sağlıklı olarak çalışmasını engellemektedir. Resim üzerinde çap 100 mm ölçüsüne bakıldığında yüzey kalitesinin $Rt \leq 0.3 \mu m$ (Ra 0, 2-0, 4 μm) mertebesinde istendiği görülmektedir. Bu yüzey piston keçesinin ve yataklama elemanlarının çalıştığı yüzeydir. Yüzey kalitesi bozuk ise keçe ömrünü azaltarak silindirin iç kaçak yapmasına neden olabilir. Bu sebeple silindir kovanlarının uygun olarak işlenmesi, hidrolik silindirin sorunsuz bir şekilde çalışmasını sağlar.

-İşlem Kısıtlamaları

Delik içi tornalamada ortaya çıkan en büyük kısıtlama titreşimdir. Özellikle uzun boyda delik içi tornalama yapılacaksa delik içi işleme katerinin uzun boyda bağlanması gerekmektedir. Bu durumda sarkma boyunun dikkate alınması gerekmektedir. Şekil 2. 13’de görüldüğü üzere yapılan çalışmalarda kater çapının 4 katı kadar sarkma boyuna sahip standart çelik katerler titreşim olmadan işleme yapabilirler. Sarkma boyu çapın 6 katına kadar karbür gövdeye sahip katerler ile işleme yapılabilir. Karbür malzemenin statik rijitliği çeliğe göre daha yüksek olduğu için bu mümkündür. Sarkma boyunun kater çapının 6 katından fazla olduğu durumlarda ise titreşim çok yüksek seviyeye geldiği için bu titreşimi sönmüleyen katerler ile tırlama olmadan işleme yapılabilir.

Delik içi katerler delik içi tornalama operasyonlarında konsol giriş davranışı göstermektedir ve katerlerin statik deplasmanı sarkma boyu ve kater çapına bağlıdır. Aşağıdaki eşitlikten bu daha iyi anlaşılacaktır.



Şekil 2. 13. Delik içi katerlerde sarkma oranı (overhang ratio)(Sandvik)

$$\delta = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

Yukarıdaki eşitlikte F kesme kuvveti, L sarkma boyu, E Young modülü ve I atalet momentidir. Atalet momentini, çoğunlukla silindirik olan kater göre alırsak, formül şu hale gelecektir.

$$\delta = \frac{64 \cdot F \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot \pi \cdot d^4} = \frac{64 \cdot F}{3 \cdot E \cdot \pi \cdot d} \cdot \left(\frac{L}{d}\right)^3 = K \cdot \left(\frac{L}{d}\right)^3$$

Burada d kater çapıdır. Bu formüle göre sarkma boyu ve kater çapını statik deplasmana olan etkisini rahatlıkla görebiliriz. Örnek vermek gerekirse;

25 mm çapında, 120 mm sarkma boyuna sahip katerin sarkma oranı 4,8 iken, aynı kater 130 mm sarkma boyuna sahip iken bu oran 5,28'dir. Bu durumda;

$$\delta = K \cdot 4,8^3 \approx K \cdot 111$$

$$\delta = K \cdot 5,28^3 \approx K \cdot 147 \text{ eşitliği sağlanmaktadır.}$$

Buna göre; 120 mm sarkma boyuna sahip katerde oluşan statik deplasman, 130 mm sarkma boyuna sahip katerde oluşan statik deplasmanın yaklaşık %75'ine denk gelmektedir. Titreşim genlikleri sarkma boyları azaldıkça dramatik bir şekilde azalmaktadır. Ancak bazı uygulamalarda bu mümkün değildir. Uzun boya sahip iş

parçalarını işlemek için katerleri uzun sarkma boylarında bağlamak gerekmektedir ve buda tırlamaya sebep olmaktadır.

2. 3. Tırlama Titreşimi

Tırlama titreşimi bir yüzyıldan beri çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmeye devam etmektedir ve hala tornalama, frezeleme, delik delme gibi ana talaşlı imalat operasyonlarının başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesini engelleyen önemli bir parametredir. Tırlamanın yıkıcı doğası kötü yüzey kalitesi, aşırı gürültü, kesici takım ekipmanlarının hasarı, takım ömrünün azalması ve üretkenliğin azalması gibi sonuçlara yol açmaktadır. Tırlama titreşimi genel olarak, kesici uç ile iş parçası arasında meydana gelen aşırı bağıl hareketlenmedir.

2. 3. 1. Tırlama Titreşiminin Nedenleri

Tırlama ilk olarak üretkenliği azaltan bir sınırlayıcı olarak Taylor (1907) tarafından tanımlanmıştır. Taylor 1800 yılların başında, kuvvet modeli çıkarmış ve tırlamayı bir operatörün karşılaşılabileceği en büyük problem olarak nitelemiştir. Tırlamanın dinamik bir dengesizlik problemi olduğu ilk olarak Tobias ve Fishwick (1958) tarafından anlaşılmıştır. Buna göre; titreşimin etkisiyle modüle edilmiş talaş kalınlığı kesme kuvvetlerini dinamik olarak etkilemektedir ve buda sonuç olarak titreşim genliklerini artırarak rejeneratif tırlama denilen olayı meydana getirmektedir. Ayrıca, talaş derinliğinin tırlama için en kritik parametre olduğu gözlemlenmiştir.

Bir tornalama operasyonunda iş parçası, takım tutucu, kater, tezgahdan oluşan kesici takım sistemindeki dinamik rijitsizlikten kaynaklanan 3 tip mekanik titreşim söz konusudur. Bunlar; serbest, zorlanmış ve kendiliğinden oluşan titreşimlerdir. Serbest titreşimler şok etkisi ile zorlanmış titreşimler genellikle tezgah yapısında bulunan dişli, rulman, spindle gibi ekipmanlardaki dengesizliklerden meydana gelmektedir ve her ikisinde kolayca belirlenip, elimine edilebilir. Kendiliğinden oluşan titreşim ise kompleks doğasından ötürü hala tam olarak anlaşılammıştır ve en zararlısıdır. Tırlama olarak bahsedilen titreşimde aslında kendiliğinden oluşan titreşimdir.

Kendiliğinden oluşan titreşim genel olarak ilk ve ikincil olarak 2 sınıfa ayrılmıştır. İlk tırlama, iş parçası ile takım arasındaki sürtünme, termo-mekanik etki yada mode-coupling ile meydana gelir. İkincil tırlama ise iş parçasındaki dalgalı

Rejeneratif tırlama, sistemin en dominant moddaki frekansında meydana gelir. Bu modun ortaya çıkması, bir önceki işlenmiş dalgalı yüzeyde kesici ucun işlem yapmasından dolayı, iş parçası ile kesici ucun bağıl hareket yapmasına sebep olur.

Takım parametreleri m , k ve c sırasıyla kütle, rijitlik ve sönümlenme katsayısı ve V , iş parçasının kesme hızıdır. Burada $x(t)$, mevcut dönme esnasında ortaya çıkan dalga, $x(t-T)$ ise bir önceki dönme (iş parçasının) esnasında ortaya çıkan dalgadır. Bir önceki dalga ile mevcut dalga arasındaki Faz gecikme/değiştirme (θ), tırlamanın sistemde varlığının belirlenmesindeki en önemli faktördür. Eğer her iki dalga aynı fazda ise ($\theta=0$), sistemde herhangi bir fazla enerji yok ve sistem stabil durumda demektir. Fakat dalgalar aynı fazda değil ise ($\theta \neq 0$), kesici takıma gelen enerjiden dolayı iş parçasındaki dalgalanmalar büyüyor ve dağıtılan enerji gelen enerjiden daha az demektir. Buda sonuç olarak dengesiz bir kesmeye yol açacaktır. Bu titreşimler altında, talaş kalınlığı sürekli olarak farklılık göstererek, dinamik kesme kuvvetinin sistemin doğal frekanslarından birine yaklaşmasına ve sonunda aynı frekansa gelerek rezonansa yani tırlamaya sokmasına yol açacaktır.

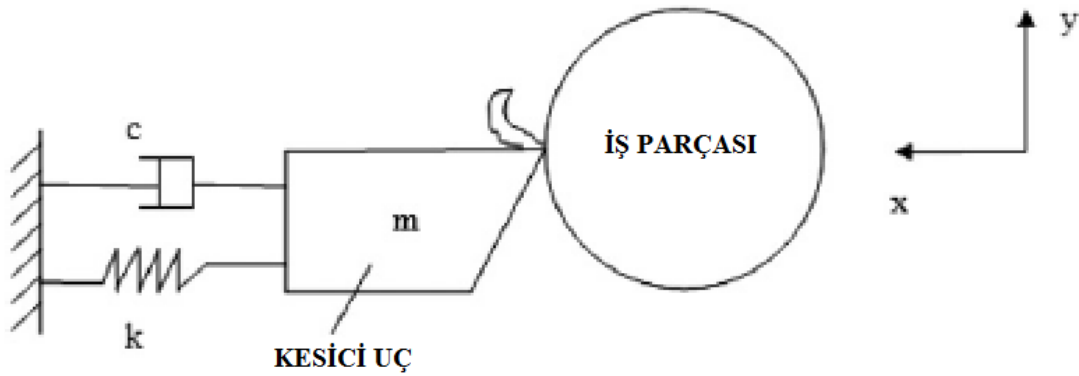
Tırlama, ortaya çıkan gürültü, kesilmiş yüzeydeki tırlama izleri ve talaşların görünüşüne bakarak anlaşılabilir. Yüzeyde bıraktığı izler ve dinamik kesme kuvvetinde dalgalanmalarda dolayı ortaya çıkan aşınmalardan dolayı tırlama ile işleme çoklukla kabul edilemez bir durumdur.

-Dinamik Tırlama Modeli

Dinamik tırlama modelinin dinamik parametrelerini belirlemek/ölçmek gerçekten uğraş verici bir iştir. Tornalamada, Genel olarak analitik olarak bunu yapmanın iki yolu vardır (Das ve ark. 1970). Birincisi; uygun formun artan kesme kuvveti eşitliğini belirlemek ve kararlı koşullardaki testlerden ortaya çıkan bu ifadelerin katsayı değerlerini derlemek (Tobias 1958, Das ve ark. 1967, Knight 1968) yada deneysel olarak elde edilen kararlılık diyagramlarına yerleştirmek (Tobias 1959, Sadek 1970) yada dinamik/titreşimli kesme testlerinin sonuçlarının ifadelerine yerleştirmek (Vanbrussel 1970, Wallace 1965). Çok fazla kesme parametresi aralığında inceleme yapılacaksa, kararlı koşul testi kullanmak daha mantıklıdır. Tobias (1958), tarafından ortaya koyulan birleştirilmiş matematik model iç ve dış tornalama, delik delme ve frezeleme için kesme kuvvetlerini tahmin etmede gayet başarılıdır.

Değişkenlik gösteren kesme kuvvetini etkileyen efektif eğim açısı, boşluk açısı ve kesmenin anlık yönü gibi faktörler vardır. Ancak en fazla etkileyen faktörü bulmak için kesmenin temel mekaniklerinin yer aldığı ikinci yaklaşımı ele almalıyız. Buna göre, kesme kuvveti değişkenliği, takımın devirsel hareketi esnasındaki herhangi bir noktadaki toplam kuvvet ve karşılık gelen anlık kesme parametresi ve takım geometrisi değerleri göz değerlendirilerek belirlenir. Bu yaklaşıma göre bir matematik model aşağıdaki gibi formüle edilmiştir.

Tek serbestlik dereceli, iş parçasının rijit, kesici takımın esnek kabul edildiği ortogonal bir kesme işlemi Şekil 2.15’de resmedilmiştir. Model, atalet kuvveti, sönümlenme kuvveti, yay kuvveti ve kesme kuvveti gibi çeşitli kuvvetlerin fiziksel bir sisteme uygulandığını göstermektedir. Burada kesme kuvveti ilerleme yönünde (x) uygulanmıştır.



Şekil 2. 15. Tek serbestlik dereceli ortogonal tornalama modeli (Tobias, 1958)

Tek serbestlik dereceli esnek kesici uç, rijit iş parçasını kestiği zaman, dinamik sistemin hareketinin eşitliği, radyal (ilerleme) yönünde şu şekildedir.

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = F_f(t) \quad (1)$$

$$F_f(t) = x \text{ yönündeki kesme kuvveti} = K_f \cdot b \cdot [x(t - T) - x(t)] \quad (2)$$

Burada, K_f kesme katsayısı, b talaş genişliği, T mevcut zaman ile bir önceki zaman arasındaki gecikme, $x(t - T) - x(t)$ ise titreşimden kaynaklı dinamik talaş kalınlığıdır.

Eşitlik 2 ile 1'i değiştirirsek ve m 'e bölersek, aşağıdaki eşitliği elde ederiz.

$$\ddot{x} + \frac{c}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x = \frac{K_f \cdot b}{k} \cdot \frac{k}{m} [x(t-T) - x(t)] \quad (3)$$

Laplace dönüşümü ve ilişkilerini kullanırsak,

$$\omega_n^2 = \frac{k}{m} \frac{c}{m} = 2\zeta \omega_n \psi = \frac{K_f \cdot b}{k}$$

$$s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2 = \psi\omega_n^2 (e^{-sT} - 1) \quad (4)$$

Eşitlik 4'ü kullanarak, sistemin transfer fonksiyonu diferansiyel eşitlikten direkt elde ederek,

$$F(s) = \frac{1}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

$s=j\omega$ 'yi Eşitlik 5'de değiştirirsek, transfer fonksiyonunun gerçek ve hayali cevaplarını bulabiliriz.

$$G(\omega) = \frac{\omega_n^2 - \omega^2}{R(\omega)} \quad (\text{Gerçek Kısım})$$

$$H(\omega) = \frac{-(2\zeta\omega_n)\omega}{R(\omega)} \quad (\text{Hayali Kısım})$$

$$R(\omega) = (\omega_n^2 - \omega^2)^2 + (2\zeta\omega_n)^2 \omega^2 \quad (\text{Payda})$$

ω_n sistemin doğal frekansı, ω ise tırlama frekansdır.

Operasyonun stabil halden stabil olmayan hale geçtiği talaş genişliğini aşağıdaki eşitlikten bulabiliriz.

$$b_{\text{lim}} = -\frac{1}{2 K_f G(\omega)} \quad (5)$$

Faz açısını tanımlarsak,

$$\psi = \tan^{-1} \frac{H(j\omega)}{G(j\omega)}$$

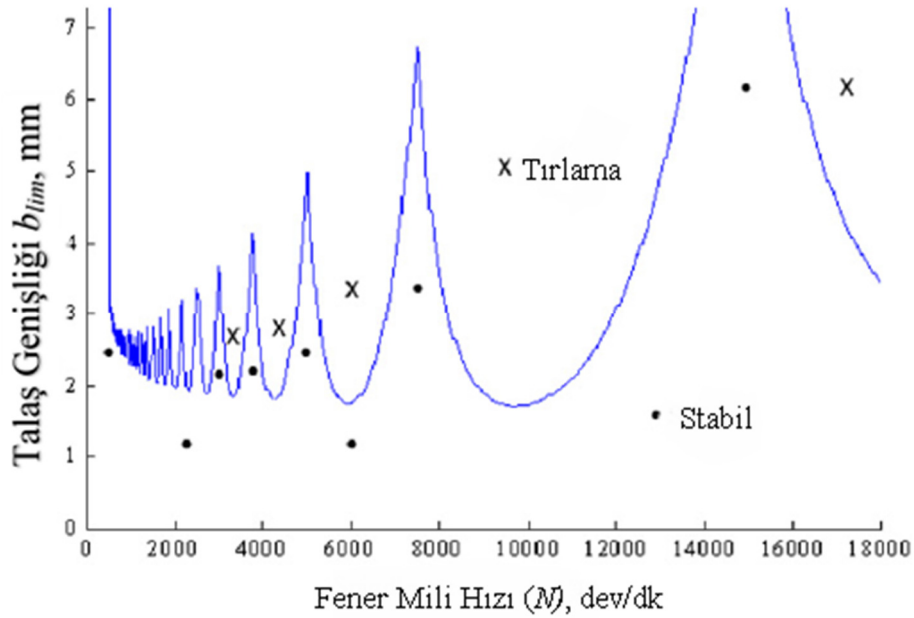
Aşağıdaki matematiksel eşitlikleride kullanarak, fener mili hızını (N) bulabiliriz.

$$T = \frac{1}{\omega} [2n\pi + \theta], \quad \theta = 3\pi + 2\psi \quad (6)$$

$$N = \frac{60}{T} \quad (7)$$

Burada T periyod, θ ise faz değiştirme açısıdır.

Eşitlik 5 ve 7'yi kullanarak kararlılık diyagramlarını elde edebiliriz. Bu diyagramlar talaş genişliği (b_{lim}) ve fener mili hızı (N) arasındaki ilişkiyi gösterir ve Şekil 2. 16'daki gibidir.



Şekil 2. 16. Kararlılık Diyagramı

İşlenebilirlik stabilite sınırı, eğer tahmin edilebilir ise, üretim oranı ve iş parçasının finiş durumu için bir limit belirler. İşleme esnasında tırlama oluşuyorsa, kesme hızının düşürülmesi bazı koşullarda prosesin dinamik stabilitesini artırıp, tırlamayı azaltabilir.

İşlenebilirlik stabilitesini etkileyen değişkenlerin arasında en önemlisi, takım geometrisi ve işleme koşullarıdır. Operatör tarafından değiştirilebildiği içinde, aynı zamanda en efektif olanıdır. Tırlamanın karakteristiği yapısal cevap, kesme operasyonu ve kesme ucunun iş parçası ile teması ile açıklanabilir.

Çizelge 2.2.'de dinamik stabiliteyi dolayısıyla tırlama titreşimini etkileyen faktörler belirtilmiştir.

Çizelge 2. 2. Tırlama titreşimini etkileyen faktörler (Shirvani, 1995)

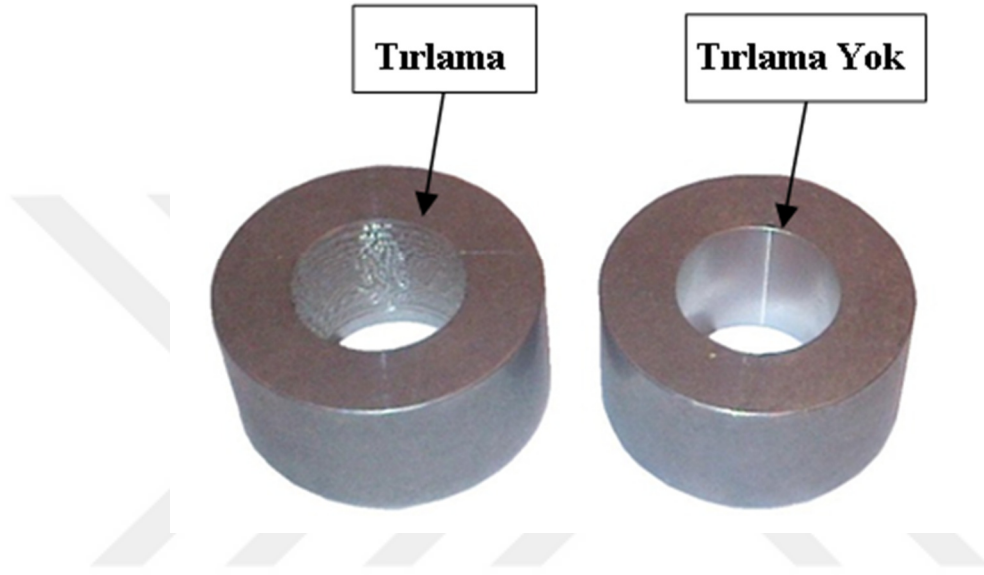
İŞ PARÇASI MALZEMESİ VE GEOMETRİ	TAKIM GEOMETRİSİ VE RİJİTLİK	KESME DİNAMİĞİ DEĞİŞKENLERİ
<ul style="list-style-type: none"> • SÖNÜMLEME • DOĞAL FREKANS • HOMOJENLİK • TERMAL ÖZELLİKLER 	<ul style="list-style-type: none"> • TAKIM TUTUCU • SARKMA ORANI (L /D) • RİJİTLİK • SÖNÜMLEME • DOĞAL FREKANS • KESİCİ UÇ • RİJİTLİK • SÖNÜMLEME • GEOMETRİ • BURUN RADYÜSÜ • EĞİM AÇISI VE BOŞLUK AÇISI 	<ul style="list-style-type: none"> • KESME REJİMLERİ • İLERLEME • KESME HIZI • KESME DERİNLİĞİ • PROSES İÇİ ETKİLEŞİM • KESME KUVVETİ DEĞİŞKENLİĞİ • KAYMA AÇISI DEĞİŞKENLİĞİ • TALAŞ KALINLIĞI DEĞİŞKENLİĞİ • TALAŞ YAPIŞMASI VE SIVANMASI DEĞİŞKENLİĞİ • İŞ PARÇASINDA SERT BÖLGELER • YÜZEY SAPMASINDAN DOLAYI ÜST ÜSTE GELME • TALAŞ TİPİ

2. 3. 2. Tırlama Titreşiminin Sonuçları

Tırlama titreşiminin yukarıda bahsedilen nedenlerine bağlı olarak talaşlı imalat operasyonlarında yol açtığı problemleri aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

- Kötü yüzey kalitesi
- Ölçüm ve geometrik toleranslarına uyumsuzluk
- Aşırı gürültü
- Orantısız şekilde gelişen takım aşınması

- Takım hasarı
- Azalan talaş kaldırma oranı
- Üretim sürelerindeki artış ve buna bağlı maliyet artışı
- Malzeme sarfiyatı
- Enerji sarfiyatı
- Malzeme ve enerjideki zarara bağlı olarak çevreye zarar
- Hasar gören parçaları onarmak için harcanan süre ve maliyetler



Şekil 2.17. Tırlamanın iş parçası yüzeyindeki sonucu

2.3.3. Tırlama Titreşiminin Belirlenmesi ve Tahmin Edilmesi

Stabil bir işleme sağlamak için tırlamayı belirlemek, tanımlamak, uzak durmak, uzaklaştırmak, azaltmak, kontrol etmek ve sönmölemek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunun için 2 yol vardır. Birincisi lobbing etkisini kullanarak proses dışında veya esnasında kararlılık diyagramları elde ederek tırlamayı belirlemek, tanımlamak, uzak durmak, uzaklaştırmak ve azaltmaktır. İkinci yol ise, sistemin davranışını pasif ve aktif methodlar ile değiştirerek tırlamayı kontrol etmek ve sönmölemektir.

İlk yol için proses dışında ve esnasında olarak ayırım yapmak gerekiyor. Proses dışı methodlarda amaç, stabil kesme parametreleri kombinasyonun oluşturmak için kesme prosesinin stabil sınırlarının yerini tahmin etmektir. Buna kararlılık diyagramları denir ve üretime başlamadan önce yapılır. Proses esnasında yapılan işe, kesme esnasında tırlama oluştuğunda kesme parametrelerini düzelterek tırlamadan kaçınmaktır. Bunun için, ilk olarak prosese başlamadan stabil bir kesme bölgesi

hesaplanır, sonrasında sistemde tırlama oluştuğu anda kesme parametreleri değiştirilir ta ki stabil bir kesme sağlanana kadar.

İkinci yol için ise, pasif ve aktif ayrımını yapmak durumundayız. Pasif methodda, sisteme dışardan ekstra bir güç uygulamadan, iş parçası, takım tutucu yada kesici uç üzerinde değişiklikler yaparak tırlama kontrol edilir/sönümlenir. Aktif methodda ise, pasif methodun aksine dışardan ekstra bir güç uygulanır ve bu sayede tırlama kontrol edilir/sönümlenir.

-Analitik teknikler ile tırlama stabilitesinin tahmin edilmesi

Tırlama titreşimini analitik yollarla belirlemek ve/veya tahmin etmek için en çok kullanılan 3 yol şunlardır: Kararlılık diyagramlarını oluşturmak, Nyquist plot diyagramlarını elde etmek ve sonlu elemanlar analizini kullanmak. Bunlar arasında en çok kullanılan ve uygulaması kolay olanı kararlılık diyagramlarının oluşturulmasıdır.

-Kararlılık Diyagramları

Tırlama oluşumunda incelenmesi gereken en önemli kesme parametresi talaş genişliği(b) yada kesme derinliği (paso)dir. Talaş genişliği daha az ise, kesme daha stabildir. Talaş genişliği arttıkça, tırlama kesin bir *blim* değerinde oluşmaya başlar ve bu yüzden *blim* stabil bir kesme için en önemli parametredir. *Blim* değeri, yapının dinamik karakteristiğine, iş parçası malzemesine, kesme hızı ve ilerlemeye ve takım geometrisine bağlıdır. Kararlılık diyagramları, tırlamanın tahmin edilmesi için kullanılabilir. Şekil 2. 25'de görüldüğü gibi, *blim* ve fener mili hızı N, kararlılık diyagramında yer alır. Farklı loblardaki (n=1, 2, 3, ...) iş parçası ile kesici uç arasında oluşan titreşimi ve farklı kesme derinliklerinde ve fener mili hızlarında görülen kararlılık diyagramında, lobların altında kalan kısım kararlı (stabil) kısmı, lobların üstünde kalan kısım ise kararlı olmayan kısım (unstabil) ifade eder. Kararlılık diyagramı yardımıyla, maksimum talaş kaldırma oranını elde etmek için ideal kesme derinliğini ve fener mili hızını bulabiliriz.

Kararlılık diyagramlarını oluşturabilmek için, farklı parametreleri içeren analitik modellerin oluşturulması gerekmektedir. Bu modeller ve yapılan çalışmalar atıfları ile birlikte aşağıdaki şekilde irdelenmiştir. Bahsedilen çalışmalar tornalama prosesi için yapılmıştır.

-Serbestlik derece sayısına göre analitik modeller

Bir torna operasyonu, ortogonal bir prosesi düşünerek, tek serbest dereceli, 2 serbest dereceli ve 3 serbest dereceli olarak düşünülebilir. Çoğu araştırmada, torna takımı tek serbest dereceli yay-kütle sistemi olarak, iş parçası rijit, kesme kuvveti ise proses parametreleri ile lineer bir davranış içerisinde olduğu kabul edilmiştir. Ancak kesme prosesi stabil olarak kabul edilse de, stabil olmayan prediyodik hareketlerin olduğu da gözlemlenmiştir.

Chandiramani ve Pothala(2006), oldukça basitleştirerek 2 serbest dereceli bir kesici takımın tırlama dinamik modelini geliştirmişlerdir. Buna Göre, talaş genişliğinin artması, tırlama genliğini artırmaktadır. İlerleme yönündeki kesme kuvveti belli bir hız aralığında sabit olsada, kesme hızının artması kesici uç-iş parçası birleşmesini azaltmaktadır. Tırlama genliği, kesme hızı yada kesilmemiş talaş kalınlığı arttıkça, azalır artmaktadır.

Budak ve Ozlu(2007), tek serbest dereceli sistem ile çok boyutlu kararlılık modelleri simülasyon ve tırlama deneylerini kullanarak karşılaştırmışlardır. 3 kesme açısının, kesici uç burun radyüsünün ve ekipmanların dinamiği etkisi göz önüne de alınarak, 3 serbestlik dereceli modellerinde yer almaktadır.

Dassanayake(2008)'e göre, tornalama prosesini doğru modellemek için, iş parçasında oluşan titreşimlerde takım titreşimine dahil etmek gerekiyor.

Sonuç olarak, çok iyi modellenemediği ve mümkün olduğu kadar tırlamaya etki edecek tüm faktörlere dahil edemedikten sonra, çok boyutlu bir tırlama modeli oluşturmanın mantığı olmayacaktır. Doğru modellendiği takdirde, tek serbest dereceli bir modelde tırlama için yeterli olabilir.

-Takım-iş parçası sisteminin Compliance/esnekliğine göre analitik modeller

Sadece birkaç araştırmacı takım ve iş parçası esnekliğini tırlama analizi için dikkate almıştır. Shanker(1976), iki ucundan merkezlenen esnek bir iş parçasının etkisini, ölçülerini de dikkate alarak incelemiştir.

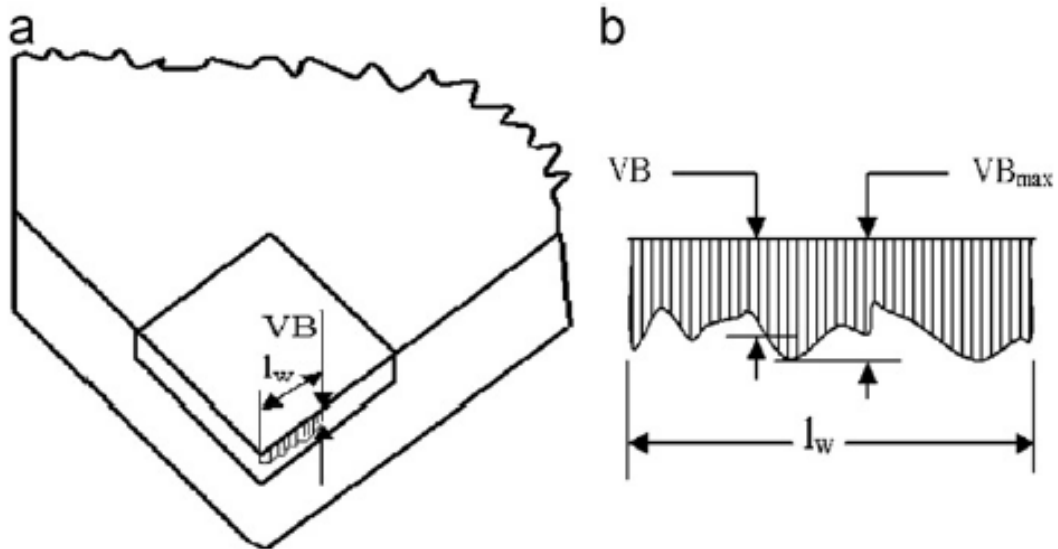
Chen ve Tsao(2006) iş parçasının yatağa alındığı ve alınmadığı durumu düşünerek, kiriş teorisi ile 2 serbest dereceli bir model geliştirmişlerdir. Bu dinamik modelde, iş parçası sürekli bir sistem olarak düşünülmüştür. Kritik kesit genişliği, farklı fener mili hızlarında incelenmiştir. İş parçasının farklı kesme koşullarında

deformasyonunu göz önüne alındığında sonuç gösteriyor ki, özellikle düşük doğal frekanslarda, deforme olmuş durumun talaş genişliği, rijit parça durumundakinden daha fazladır. Bu 2 serbest dereceli model, iş parçasının farklı 2 bağlantı koşulunda, elastik modelini vermede başarılı olsada, titreşimli koşul altında ve özellikle çok boyutlu modellerde başarılı olmamıştır.

Araştırmacılara göre, daha doğru ve gerçekçi bir model için, takım-iş parçasının uyumu sistemi modele dahil edilmelidir.

-Takım aşınması-proses sönümlemeyi dikkate alan dinamik modeller

Takım aşınması, kesme esnasında meydana gelen ve takım geometrisini değiştirerek sistemin dinamik özelliklerinde dramatik değişikliklere yol açan bir olaydır.



Şekil 2. 18. (a) Torna Takımında Flank Aşınması, (b) Flank Aşınması Profili (Rahman, 1985)

Çeşitli tipleri olmakla beraber, en önemlileri krater aşınması (KA), flank aşınması (FA) ve darbe aşınmasıdır (DA). Bunlar arasında flank aşınma ise en çok dikkate alınan ve araştırılmıştır. Thangavel (2006)'e göre, flank aşınması kesme prosesinin mekaniğini ve işlenen ürünün ölçülerini değiştirmektedir. Ancak yanlış olan bir ifade ki oda, flank aşınmasının turlaman etkisini artırdığıdır.

Flank aşınması aynı zamanda takım ömrü kriteri olarak da kullanılmaktadır. Şekil 2. 27 (a)'da flank aşınmasının nerede oluştuğu, 2. 27 (b)'de ise profili gösterilmektedir. Burada VB, ortalama flank aşınması genişliği, VBmax, maksimum

flank aşınması genişliği, l_w ise flank aşınması uzunluğudur. Takım aşınması kriteri genellikle $VB \leq 0,3$ mm ve $VB_{max} \leq 0,6$ mm olarak alınır.

Flank aşınma uzunluğu (l_w) tırlama oluştuğunda meydana gelen proses sönümlemede çok kritik bir yere sahiptir. Sisson ve Kegg(1969)'e göre, düşük hızlardaki yüksek stabilite iş parçası-takım arasında oluşan sönümlemeye yol açmaktadır ve burun radyüsü, boşluk açısı ve kesme hızı proses sönümlemeyi etkileyen en önemli faktörlerdir ve bu deneysel sonuçların, tahmin edilen sonuçlardan farklı çıkmasına yol açar.

Clancy ve Shin(2002), takım aşınmasında dahil ederek 3 boyutlu alın tornalamayı frekans domain tırlama stabilite modelini sunmuşlardır. Bu model, aynı zamanda analitik olarak kararlılık sınırlarını da hesaplamak için kullanılacak proses sönümleme kuvvetinin büyüklüğünü ve yönünü tahmin edebilmektedir. Sonuçlara göre, flank aşınması ve kararlılık sınırları birbiri ile doğru orantılıdır. Aşınma flank yüzeyinde büyüdükçe, proses sönümleme de artmaktadır. Bu aynı zamanda, daha büyük flank aşınması alanı, daha yüksek kararlılık sınırları demektir.

Altıntaş (2008), lineer bir model sunmuş ve sönümleme katsayısının titreşim ve kesme hızı ile doğru orantılı olduğunu doğrulamıştır. Yapılan testlerin sonucuna göre, düşük hızlardaki tırlama kararlılığının doğru tahmini, dinamik kesme kuvvetlerinin katsayısının belirlenmesine bağlıdır. Bu katsayılar, iş parça malzeme özelliklerine, kesme köşesi parametrelerine, takım boşluk açısına, takım aşınmasına, kesme hızına, iş parçası-takım kontakt mekanizmasına, kayma prosesine, dalga uzunluğuna ve titreşimin kesme esnasındaki frekansına karşı oldukça hassastır.

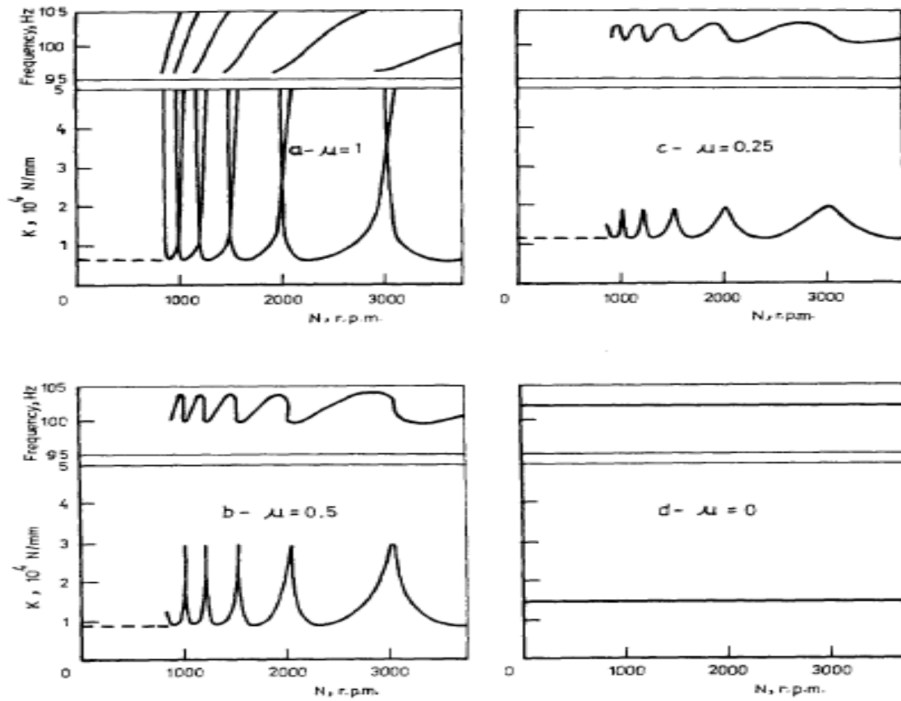
Proses sönümleme, düşük kesme hızlarında meydana gelen ve kararlılık sınırlarını ciddi derecede etkilediği için modellemenin başlangıcında düşünülmesi gereken çok önemli bir olaydır. Proses sönümleme katsayılarının analitik olarak yada dinamik testler ile belirlenmesi oldukça önemlidir.

Yukarıda bahsedilen farklı analitik model ve tekniklerden sonra anlaşılıyor ki, analitik olarak belirlenen kararlılık diyagramları, takım tezgahı, iş parçası ve takım geometrisi ile genellikle değişmektedir. Bu yüzden, kararlılık diyagramlarını pratikte uygulamak, her uygulama için farklı diyagramlar oluşacağı için uygulamak oldukça zordur. Ayrıca, kararlılık diyagramlarını belirlemede kullanılan herhangi bir analitik method/teknik, kesme prosesinin statik modellerinin kullanımından dolayı, düşük fener mili hızlarındaki yüksek stabilite özelliklerini tarif edememektedir.

-Nyquist Diyagramı

Bazı araştırmacılar, tırlama titreşiminin tahmini için kontrol teorisini kullanmışlardır, bu Nyquist diyagramını da içermektedir. Nigm(1981), feedback kontrol teorisini kullanarak ve kesme prosesinin dinamik özelliklerindeki bir model ortaya koymuştur. Bu analiz methodu, analitik yada grafiksek olarak uygulamada çok güçlüdür ve rejenerasyon olayını tam manasıyla karşılamaktadır.

Nyquist diyagramlarını kullanımı ile ilgili problem, sadece kesme koşullarının stabil olduğu zaman uygulanabilmesidir. Dolayısıyla, time domain simülasyonu açıkca Nyquist diyagramlarına nazaran daha üstündür, çünkü talaş kalınlığını ve kesme hızını karşılaştırarak KD'lerin stabil ve stabil olmayan bölgelerini sağlamaktadır. TDS tekniği, kesme prosesinin nonlinear karakteristiği gibi çok farklı özellikleri verebildiği için analiz için çok daha başarılıdır.



şekil 2. 19. Nyquist diyagramı ile μ (örtüşme faktörü) incelenmesi

-Sonlu Elemanlar Analizi

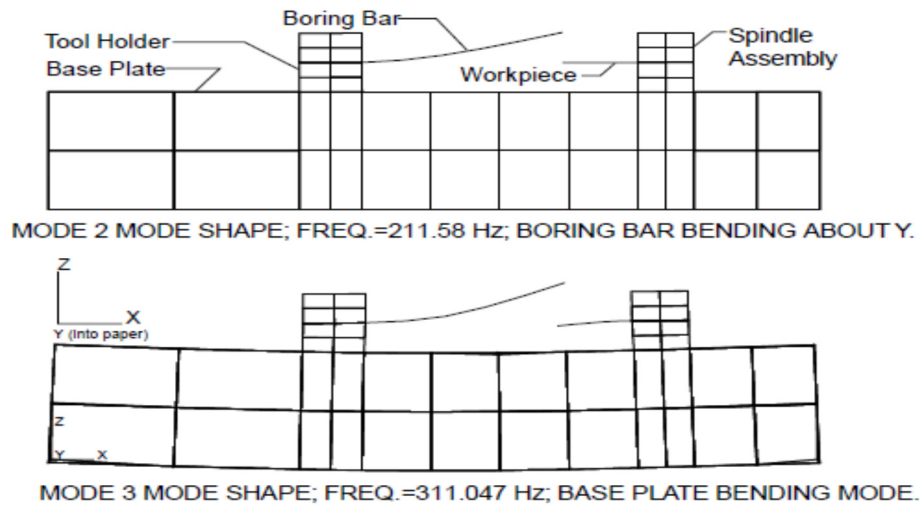
Analitik olarak kararlılık analizlerinin belirlenmesindeki methodlardan biriside sonlu elemanlar analizinin kullanımınıdır.

Baker ve Rouch (2002), SEA kullanarak kesme prosesinin kararsızlığını analiz etmiş ve yapısal bir modelini oluşturmuştur ancak bu modelin verdiği sonuçlar, deneysel sonuçlar ile doğrulanmamıştır. Yapısal parametrelerin etkisi modelde yer almasına rağmen, kesme prosesinin dinamiği yer almamıştır. Buna rağmen model, analizde yer alan kesme ucunun ve iş parçasının esnekliğinin etkisini sunmuştur.

Mahdevinejad (2005), sonlu elemanlar yazılımı ANSYS'i kullanarak, bir tornalama prosesinin kararlılığını incelemiştir. Tezgah yapısı, iş parçası ve takım esnekliği bu modelde yer almıştır.

Brecher (2007), 3 boyutlu bir tornalama modeli ortaya koymuştur. Bu 3B sonlu elemanlar modeli, karışık şekilli takım geometrileri için bile kesme kuvvetlerinin belirlenmesinde başarılıdır. İtme ve ilerleme kuvvetlerine odaklanarak, kesme kuvvetlerinin diyagramları kullanılmış ve hesaplama zamanı azaltılmıştır.

Sonlu elemanlar analizindeki problem, birbiri ile etkileşimde olan parçalar arasındaki ilişkinin matematiksek olarak programa tanıtılması oldukça zordur. İlerleyen zamanlarda bu problem aşılsa, SEA analizi ile tırlamanın büyük başarıda tahmin edilmesi mümkün olacaktır.



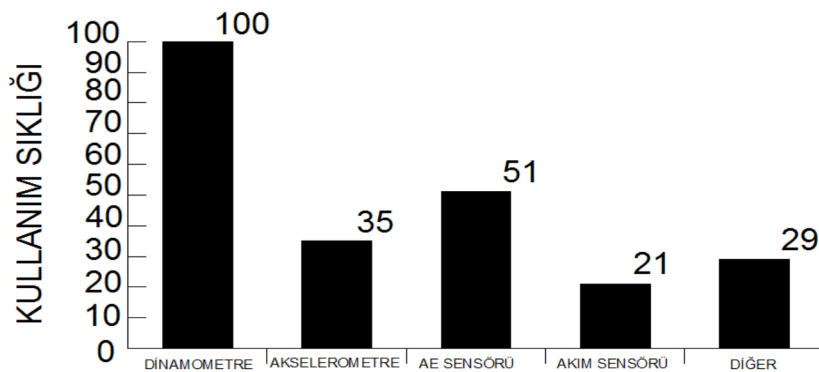
Şekil 2. 20. Eğilmeye maruz kalan delik içi işleme katerinin mod şekillerinin SEA modeli(Brecher ve ark. 2007)

-Deneysel teknikler ile tırlama stabilitesinin tahmin edilmesi ve belirlenmesi

Pazardaki baskıdan dolayı, üretim sürelerini azaltmaya olan talep, çoğu üretim yapılan endüstride katılımsız işleme için anahtar bir rol olmaktadır. Bu yüzden, insansız talaşlı imalat, rejeneratif tırlamanın tespiti iş parçasında oluşan ve istenmeyen sonuçlara yol açan etkilerinden dolayı çok önemlidir. Offline modda kararlılık şartlarının tahmin edilmesi ve online modda tespit edilmesinde deneysel methodlar çok kullanışlıdır. Bu deneysel methodlar, insansız talaşlı imalatın gerçekleşmesi için önemli bir potansiyele sahiptir. Bazı deneysel methodlar, KD'lerin tespit edilmesi ile offline olarak tırlama kararlılığı için kullanılır, bunu sağlarken takım-iş parçası çiftinin modal parametreleri modal test yardımıyla belirlenir. Fakat, bu yarı-analitik bir yoldur. Gerçek/realistik yol ise gerçek kesme testlerinin yapılması ile olur, bunun dezavantajı ise maliyetinin yüksek olması ve zaman almasıdır.

Herhangi bir tezgah için kararlılık şartlarının belirlenmesi için izlenecek yol ve method genellikle isteğe göre yapılır ve her tezgaha göre ayrı ayrıdır (Siddhpura ve ark. 2008). Takım ayarı izleme, kuvvet, titreşim ve akustik sinyallerin izlenmesi ile yapılabilir. Armarego (1969, 1985) belirli bir takım ve iş parçası çifti üzerinde farklı kesme hızı, giriş açısı ve kesilmemiş talaş kalınlığı değerleri vererek, ortogonal bir kesme verisi oluşturmuştur.

Önceden tahmin edilmiş bir tırlama kararlılığının doğrulanması ve tespiti kuvvet, deplasman, hız, ivme, akustik sinyalleri ölçebilen sensörlerin yardımıyla mümkündür. Bununla birlikte çok farklı sensörler mevcuttur. Sinyalleri işlenmesi sensörlerden okunan değerler ile olur ve bunlarında yorumlanması için zaman-domain, frekans-domain ve zaman-frekans domain analizleri gereklidir.



Şekil 2. 21. İzlemede kullanım sıklığına göre sensörler (Cho ve ark. , 1999)

Thrusty ve Andrews(1983), insansız bir talaşlı imalatın incelenmesi kapsamında, tirlama ve takım aşınması için çeşitli sensörleri ve bunların kapasitelerini incelemişlerdir. Kuvvet, titreşim ve akustik sensörler tirlama ve frezeleme için test edilmişlerdir. Buna göre, kuvvet sensörleri titreşim sensörlerine göre tirlamanın tespit edilmesinde daha doğru sonuçlar vermektedir. Çünkü,tirlama iş parçası ile takım arasında relatif bir hareket olduğu için ve kesme kuvveti bu hareketin ana sebebi olduğu için kuvvet sensörleri daha doğru sonuçlar verecektir.

Heyns (2007), bu sinyal işleme teknikleri incelemiş ve zaman domain ve frekans domain methodlarının çoğunluklu takım aşınması ve tirlama tahmininde kullanıldığını bulmuştur. Zhu (2009), time domain methodu Takım Koşullarının izlenmesi (TKİ)'nde en çok kullanılan method olmasına rağmen, bu methodlar bazı sinyalleri kaybetmektedirler. Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD) ve dalgacık dönüşümü(DD) karşılaştırılmış ve nadirlik ve lokalizasyon özelliklerinden dolayı DD'nin HFD'den daha verimli olduğu anlaşılmıştır. DD, takım koşullarındaki ani değişikliklerin tespit edilmesinde büyük bir potansiyele sahiptir ve değişen çevre şartlarına karşı hassas değildir.

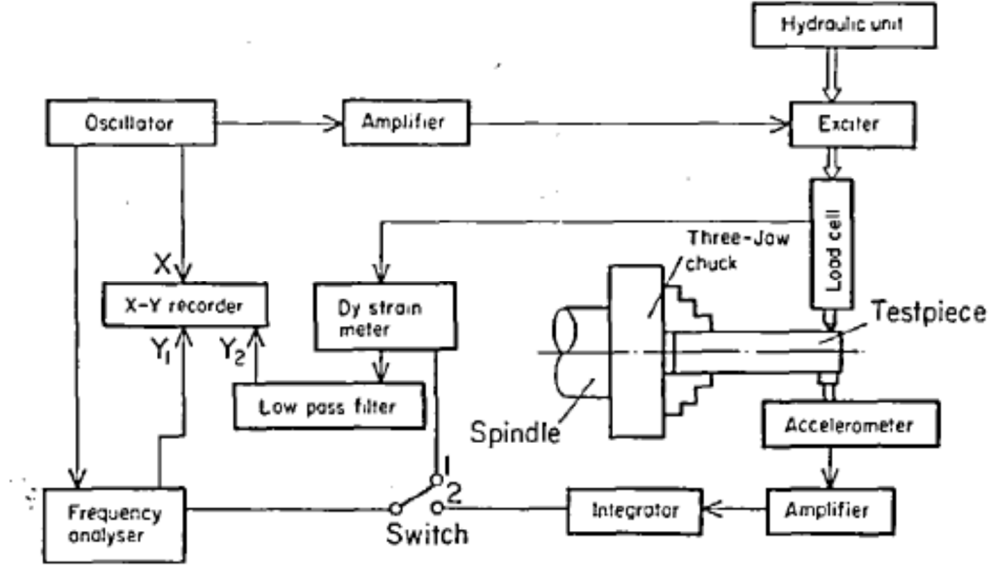
-Kuvvet ve Titreşim Ölçümü

Kuvvet ve titreşim sinyalleri, kesme prosesinin dinamiğine daha iyi bir bakış açısı sağladığı için ve işleme prosesinin koşullarının izlenmesinde daha faydalı olduğu için daha çok tercih edilmektedir.

Shanker(1976), darbe testleri ve titreşim ölçümlerini kullanarak açılı bir tirlama için, esnek bir iş parçasında 2 serbestlik dereceli bir tirlama kararlılığının tahminini doğrulamıştır. İş parçası boyunca farklı noktaları tahrik ederek ve rezonans eğrileri elde ederek, iş parçasının doğal frekansı ve sistem sönümlenmesi elde edilmiştir. Tirlama frekansı, takım gövdesine takılan titreşim ölçerler ile kayıt edilmiştir. Buna göre, takım geometrisi, kararlılık sınırlarında düşük bir etkiye sahip olup, kararlılık daha çok iş parçasının ölçü ve uygunluğu ile alakalıdır.

Rahman ve Ito (1985), Şekil 2. 31'de görüldüğü gibi eddy akım tipi deplasman ölçerler kullanarak iş parçasının yatay sapmasını online olarak ölçen bir method geliştirmişlerdir. Piezoelektrik bir 3 eksenli dinamometre kullanmışlardır. İş parçasının

sapmasını ölçen bu teknik, önceki bölümde bahsedilen takım-iş parçası uygunluğunu doğrulamada oldukça kullanışlıdır.



Şekil 2. 22. İş parçasında oluşan saptmaları ölçmek için kullanılan test düzeneği (Rahman ve Ito 1985)

Thomas ve Beuchamp (Thomas 2003) kuru bir tornalamada, kesme takımının modal parametrelerinin istatistikî araştırmasını gerçekleştirmişlerdir. Kesme kuvvetleri, teğetsel ve radyal yönde, strenguç yerleştirilerek ölçülmüştür. 3 eksenli bir akselerometre, ilerleme, kesme ve teğetsel yönlerdeki ve aynı zamanda itme ve radyal yönlerdeki ivmelenmeyi ölçmek için yerleştirilmiştir. İvmelenme sinyalleri, hızlı fourier dönüşümü analiz programı ile frekans domaini kullanılarak analiz edilmiştir. Buna göre, takım burun radyüsünü artırmak, teğetsel kesme kuvvetini azaltmıştır. Buda, ilerlemeyi artırarak işleme zamanının azaltmaya ve birim üretim maliyetini azaltmaya izin vermektedir.

Çizelge 2. 3. Takım dinamiğine etki eden kesme parametrelerinin etkisinin karşılaştırılması (Thomas 2003)

Kesme parametresi	Teğetsel kuvvet	Rijitlikteki değişim	Sönümlemedeki değişim	Takım sapması	Yüzey pürüzlülük durumu
İlerleme	İlerlemeyi azaltmak, kuvveti azaltmaktadır	Sadece düşük hızlarda, ilerlemeyi azaltmak, rijitliği azaltmaktadır Yüksek hızlarda etkisi yoktur	İlerlemedeki azalma, sönümlemeyi artırmaktadır	Takım titreşimi ilerleme ile artmaktadır	En iyi yüzey pürüzlülüğü düşük ilerlemede, yüksek kesme hızı ile işleme yaparken sağlanır
Talaş derinliği	Talaş derinliğini artırması, kuvveti artırmaktadır	Düşük burun radyüsüne sahip ve rijit bir takım kullanıldığına, yumuşak bir malzeme işlenmesinde talaş derinliğini azaltmak, rijitliği artırmaktadır.	Talaş derinliğinin artması, sönümlemeyi azaltmaktadır	Takım titreşimi talaş derinliği ile birlikte artmaktadır	Kısa takım ile işleme yapılmadığı takdirde etkisi yoktur
Takım burun radyüsü	Burun radyüsünü azaltmak,	Yüksek burun radyüsüne	Yüksek burun radyüsüne	Etkisi yoktur	En iyi yüzey pürüzlülüğü, geniş burun

	kuvveti artırmaktadır özellikle esnek bir takım ile	sahip bir takım, takım rijitliğini azaltmaktadır .	sahip takımlar, sönümlemeyi azaltmaktadır		radyüsüne sahip takım ile düşük ilerleme ve yüksek kesme hızı ile sağlanır. daha geniş burun radyüsüne sahip takım, farklı talaş derinliği durumlarında, yüzey pürüzlülüğünde daha az dalgalanmalara yol açar.
Kesme hızı	Kesme hızının artması, kuvveti azaltmaktadır	Etkisi yoktur. yalnızca, düşük ilerleme hızı ve düşük kesme hızı ile işleme yapıldığında rijitlik düşmektedir. (yığma ağız oluşumundan dolayı)	Önemli bir etkisi yoktur	Etkisi yoktur ancak kesme hızı yığma ağız oluşumu aralığında müsaade ederse takım titreşimi artmaktadır	Kesme hızı genel olarak yüzey pürüzlülüğünü etkilemez fakat yığma ağız oluşumu aralığında bu böyle değildir.
Takım uzunluğu	Etkisi yoktur	Uzun takım, takım	Uzun takım sönümlemeyi	Uzun bir takım	Kısa ve düşük burun radyüslü

		rijitliğini azaltmaktadır.	artırmaktadır	titreşimini azaltmaktadır(sönümleme etkisi)	bir takım yüzey pürüzlülüğünü bozmaktadır.
İş parçası uzunluğu	Etkisi yoktur	Fazla talaş derinliği verilmediği takdirde rijit bir malzemeyi işlemek, takım rijitliğini artırmaktadır.	Esnek bir iş parçasını esnek bir takım ve düşük burun radyüsüne sahip bir takım işlenmediği takdirde etkisi yoktur	Yüksek kesme hızı seviyelerinde etkisi yoktur fakat düşük kesme hızlarında esnek bir iş parçası takım titreşimini artırmakta	Etkisi yoktur

Chiou(1995), proses sönümlemeyi de içeren analitik bir kararlılık modelini deneysel olarak doğrulamıştır. Kesme rijitliği, yapısal rijitlik ve doğal frekans, sönümleme oranı ve spesifik kontakt kuvveti gibi karakteristik parametreleri de deneysel olarak belirlemiştir. Bunun için, takım postuna yerleştirilen bir dinamometre ile ilerleme ve kesme yönlerindeki kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Takım-tezgah sisteminin yapısal cevabını öğrenmek için darbe testi yapılmıştır. Farklı işleme yüzey hızlarındaki ivmelenme sinyalinden takım deplasmanı ve hız oranları ölçülmüştür. Buna göre, hız arttıkça, proses sönümlemenin arttığı ortaya koyulmuştur.

Chiou ve Lang(1998), akselerometre ile belirledikleri tırlama koşulları, darbe testi ile belirledikleri modal parametreler ve dinamometre ile ölçtükları kesme kuvvetleri sonucunda, tırlamaya karşı kararlılığın, flank aşınması arttıkça arttığını ortaya koymuşlardır.

Dimla ve Lister (2000), takım postuna takılan dinamometreyi kullanarak, kesme kuvvetinin tüm statik ve dinamik bileşenleri ile üç yöndeki kesme kuvvetini bulmuştur

ve kuvvet sensörlerini incelemiştir. Takım koşulları izleme (TKİ) için kuvvet sensörleri çok önemli bir yere sahiptir. 3 eksenli bir akselerometre ile tırlama operasyonunun titreşim sinyalleri elde edilmiş ve bu sinyallerin en çok takım aşınmasına duyarlı olduğu anlaşılmıştır. Zaman domain analizi ile statik kuvvet büyüklüğünün değişimi elde edilirken, frekans analizi ile kesme koşullarının ve aşınma seviyesinin dinamik kuvvete etkisini ortaya koymuştur.

Uygulamaya göre tek eksenli veya 3 eksenli bir akselerometreyi takım gövdesine bağlamak suretiyle, işleme esnasında ivmelenmede herhangi bir zıplama oluştuğunda ve doğal frekansa yakın ise tırlamanın sistemde olduğunu anlayabiliriz.

Ozlu ve Budak(2007), darbe çekici, akselerometre ve bir data toplama sistemini içeren modal analiz test sistemi ile bu test sonucunda elde edilen sonuçları analiz edebilen bir yazılım (CutPro) ile iş parçası ve takımın transfer fonksiyonunu ölçmüşlerdir. Bu teknik, sadece takım eksenli boyunca modal parametrelerdeki değişimin etkisinin incelemede kullanışlı olmakla kalmayıp, aynı zamanda farklı takım geometrilerine de uygulanabilmektedir.

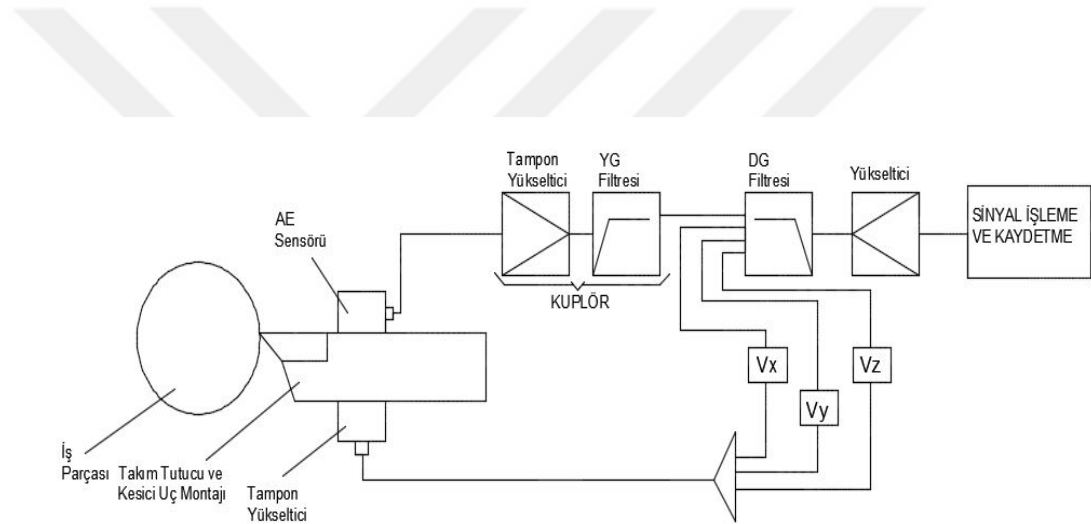
Altıntaş(2008), 3 eksenli bir dinamometre ve bir akselerometre ile tırlama kararlılık modeli oluşturmuştur. Buna göre, düşük hızlardaki doğru bir tırlama kararlılığı tahmini, dinamik kuvvetin bileşenlerinin tanımlanmasına bağlıdır çünkü bunlar prosesin parametrelerine karşı oldukça hassas bir davranış göstermektedir.

Kebdani(2008), çekiç darbe testi ile takım sisteminin doğal frekansı ve sönümlenme oranını bulmuştur. Bir ivmeölçer ile frekans cevapları elde edilmiştir. Yapısal rijitlik ise, sapmaların anlık ölçümleri ile elde edilmiş ve statik kuvvet takım boyunca iş parçasına uygulanmıştır. Takım sisteminin sapması komparatör ile ölçülmüştür. Kesme rijitliği, verilen bir kesme şartı için itme kuvvetinin bulunması ile elde edilmiştir. Statik kuvvet ve itme kuvveti dinamometre ile ölçülmüştür.

Tırlamadan ayrı olarak, kesme kuvvetleri aynı zamanda diğer parametrelere karşı oldukça hassastır ve kesme hızı, talaş derinliği, iş parçasının sertliği ile değişebilmektedir ve bunu tırlama ile korrelasyon yapmak oldukça kompleks bir prosestir. Titreşim ölçümünün uygulanması ise aksine oldukça kolaydır ancak kaydedilen sinyaller yüksek derecede kesme koşullarına, iş parçası malzemesine ve tezgah yapısına bağlıdır. Dinamometre ve akselerometre gibi cihazlar oldukça pahalı olmasına rağmen TKİ tekniğinin uygulanması için ve işleme prosesinin dinamiğinin gerçek doğasını öğrenebilmek için sürekli üzerinde çalışılması gereken bir konudur.

-Ses ve Akustik Emisyon (AE) Ölçümü

Bir kesme operasyonunun sesi, prosesle ve kesici takımın koşulları ile ilgili oldukça önemli bilgiler veren bir mikrofon ile ölçülür. Tezgahtan gelen ses genellikle bir insanın duyabileceği aralıktadır. Bir operatör, tezgahtan gelen sesin tırlamanın bir sonucu mu yoksa tezgahta oluşan bir hatanın sonucu mu olduğunu ayırt edebilir. Akustik Emisyon (AE), malzemedan anlık olarak salınan ve deformasyon yada kırılma yada ikisine birden maruz kalan zamana bağlı elastik bir enerjidir. AE sinyalinde toplanan enerji ve oranı, deformasyonun oranına, uygulanan gerilmeye ve malzemenin hacmine bağlıdır. Bir talaşlı imalat prosesi, AE kaynağının kendisidir. AE, önemli bir data ve sinyal işleme sağlandığı zaman tırlamayı tespit edebilir.

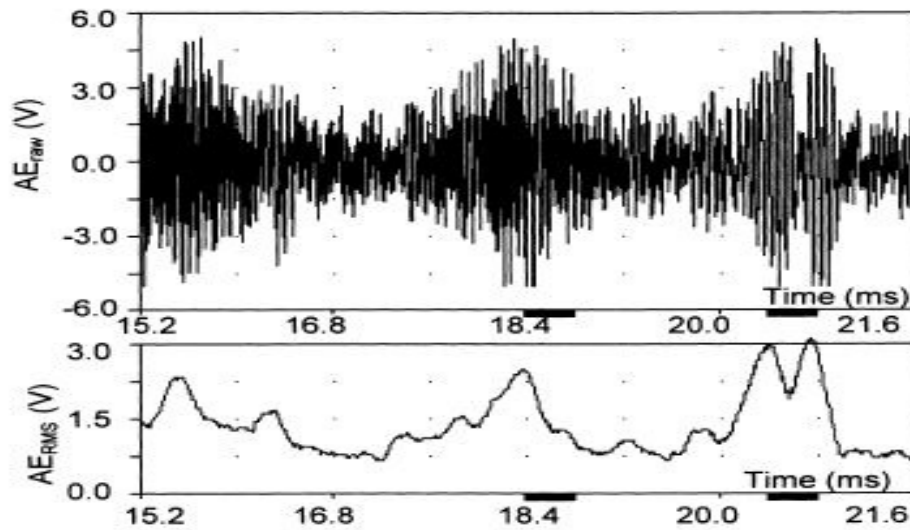


Şekil 2. 23. Titreşim sensörü ve AE sensörü ile bir çoklu ölçüm örneği (Bhuiyan ve ark. , 2014)

Grabec ve Leskovar (1977), alüminyum bir alaşımın işlenmesi esnasında dağıtılan sesi analiz eden ilk kişilerdir. Yaptıkları testlerde, duyulabilen frekansın spektrumu ayrık olmasına rağmen, ultrasonik aralık ise sürekli. İlgili spektral dağılımdaki kesme parametresinin etkisi incelenmiştir. Burada, AE'nin bir kesici takımın keskinliğini değerlendirebilme yeteneği anlaşılmıştır.

Bir AE, bir ses dalgasıdır yada daha doğru bir ifade ile strain enerjinin ani bir salınımının sonucu olarak bir gerilim dalgasının bir malzemedeki yolculuğudur. AE ile izleme uygulamalarının çoğunluğu, AE sinyallerinin RMS değerlerine bağlı olarak yapılmıştır. Kesme işleminden elde edilen AE, tamamı ile farklı karakteristiklere sahip sürekli ve zamana bağlı sinyaller içerir. Sürekli sinyaller ana bölgedeki kesme ve takım ön yüzeyi ve flank yüzeyindeki aşınma ile alakalı olup, patlama ve zamana bağlı

sinyaller ise ya takım kırılmasının yada talaş kırılmasının bir sonucudur. AE'nin temel avantajı, sinyallerinin frekans aralığı, bir tezgahta oluşan titreşimler ve çevredeki gürültünün frekans aralığından yüksek olması ve bu sebeple bir kesme operasyonunu rahatsız etmemesidir.



Şekil 2. 24. Ham ve RMS yöntemi ile işlenmiş AE sinyalleri (Jemielniak, 2000)

Liang ve Dornfeld (1989), bir metal işleme prosesi esnasında oluşan AE'nin muhtemel kaynaklarını aşağıdaki şekilde sıralamıştır.

- 1) İş parçasında işleme esnasında oluşan plastik deformasyon
- 2) Talaşta oluşan plastik deformasyon
- 3) Takım flank yüzeyi ile iş parçası arasında oluşan ve flank aşınmasına yol açan sürtünmeli kontakt
- 4) Takım talaş yüzeyi ile talaş arasında oluşan ve krater aşınmasına yol açan sürtünmeli kontakt
- 5) Talaş ve takım arasında oluşan çarpışma
- 6) Talaş kırılması
- 7) Takım kırılması

Chiou (2000), takım aşınması varlığında, AE sensörü kullanarak tırlamayı tespit etmiştir. AE sinyalinin RMS (root mean square)'si tırlama ve takım aşınmasına karşı oldukça hassastır çünkü AE sinyal karakteristiği değişkenlik gösteren kesme prosesi mekaniği ve titreşimi ile değişmektedir. Akselerometre ile bir AE sensörü kullanılmış ve tırlama frekansı, genliği ve prosesteki takım aşınmasının etkisini tespit etmiştir.

Yu (2008), tırlama oluştuğu zaman, sistemde önemli derecede titreşimin oluştuğunu gözlemlemiş ve bunu mikrofondan elde edilen sesleri ses basınç ile yorumlayarak tırlama frekansının tespitini yapmıştır. Mikrofon takım tutucunun yakınına yerleştirilmiş ve bir frekans analizörü ve bir plottera bağlanmıştır. Sonuç olarak bulunmuştur ki, ses basınç seviyesindeki 20 db'lik bir artış, tırlamanın bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır.

AE sinyal parametrelerindeki değişimlerin gözlemlenmesi, daha uygun ve daha doğru bir method sağlayabilir (analitik methodlara nazaran). Ses/AE ölçüm tekniklerinin kullanımı diğer gürültü kaynaklarının varlığı ile sınırlandırıldığı için çok popüler değildir. Ses/AE sinyalleri, ağırlıkla proses parametrelerine bağlı olduğu için, sinyal işleme methodlarının ve sinyal çıkartma tekniklerinin seçimini dikkatli yapmak oldukça önemlidir.

Çizelge 2. 4. Sensörlerin avantaj ve dezavantajları (Abellan-Nebot ve Subirón, 2010)

Sensör	Maliyet	Elverişsizlik	Sinyal Güvenilirliği	Temel Uygulama
Dinamometre	★★★	★★★	★★★	Takım Aşınma Teşhisi Takım Kırılma Tespiti Yüzey Pürüzlülük Tahmini Parça Tamlığı Tahmini
Akselerometre	★★	★★	★★	Yüzey Pürüzlülük Tahmini Takım Aşınma Teşhisi
AE	★★	★★	★★	Takım Kırılma Tespiti Takım Aşınma Teşhisi
Akım Sensörü	★	★	★	Takım Aşınma Teşhisi Takım Kırılma Tespiti

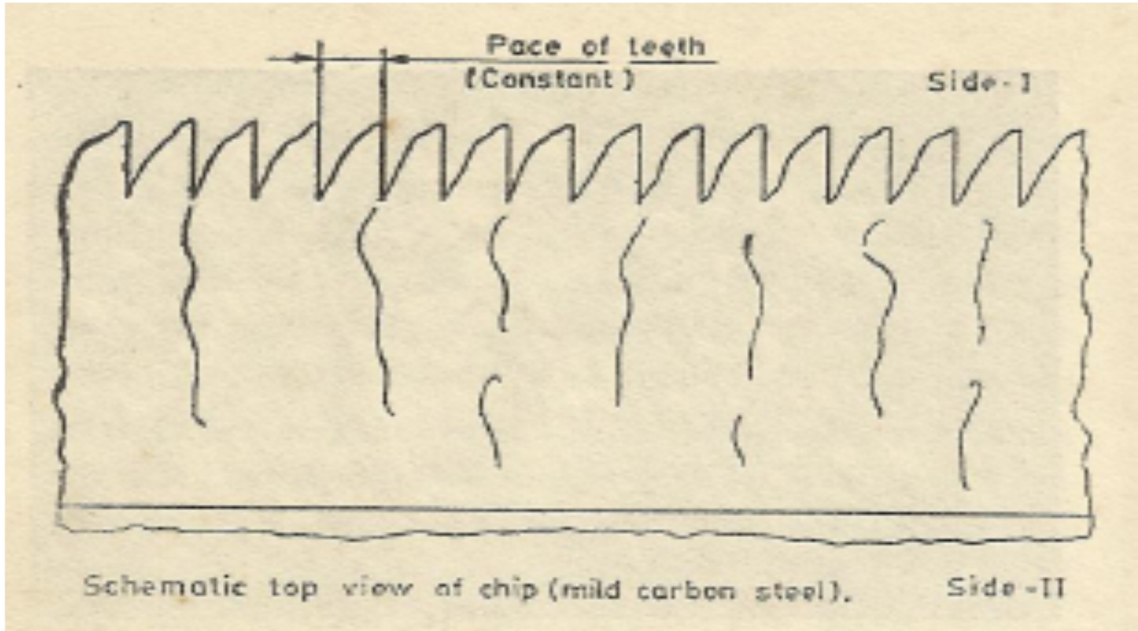
-Talaş Analiz Tekniği

Bazı araştırmacılar, talaşlı imalatta oluşan talaşları analiz ederek, kararlılık koşullarını ve tırlamanın oluşumunu belirlemişlerdir. Fakat, talaş oluşumunun analizi, tırlama oluşuktan sonra onunla ilgili bilgi verebildiği için önceden tırlamayı tahmin etmek olanaksızdır.

Nurulamin (1983), talaş köklerinin mikro kesit metalografik örnekleri inceleyerek talaş oluşumundaki kararsızlığın mekanizmasını incelemiştir (Şekil 2. 10). Bunu, ani olarak işleme prosesini durdurup örnek alarak yapmıştır. Bu örneklerde, metalografik mikroskop ve mikro-sertlik ölçüm cihazları kullanarak, tane değişimi,

farklı bölgelerin sınırları ve mikro-sertlik ölçülmüş ve bununla paralel olarak kesme açısı, farklı bölgelerin uzunluğu ve kontakt alanları ve aynı zamanda çevrimin her fazının zamanı belirlenmiştir.

Buna göre, tırlamanın fiziksel sebebi, talaş oluşumunun kararsızlığı ve rezonans frekansındaki takım ve iş parçası arasındaki etkileşim olduğu keşfedilmiştir.



Şekil 2. 25. Talaşın üstten görünüşü (Malzeme Ck45)

Bazı araştırmacılar, talaş analiz tekniğini kullanarak, talaşlı imalatın dinamiğini ve tırlamanın koşullarını belirlemeye çalışsalar da, bu teknik prosesin kararlılığını önceden tahmin edemediği için, prosesin bir otopsisini olarak kalmaya devam edecektir.

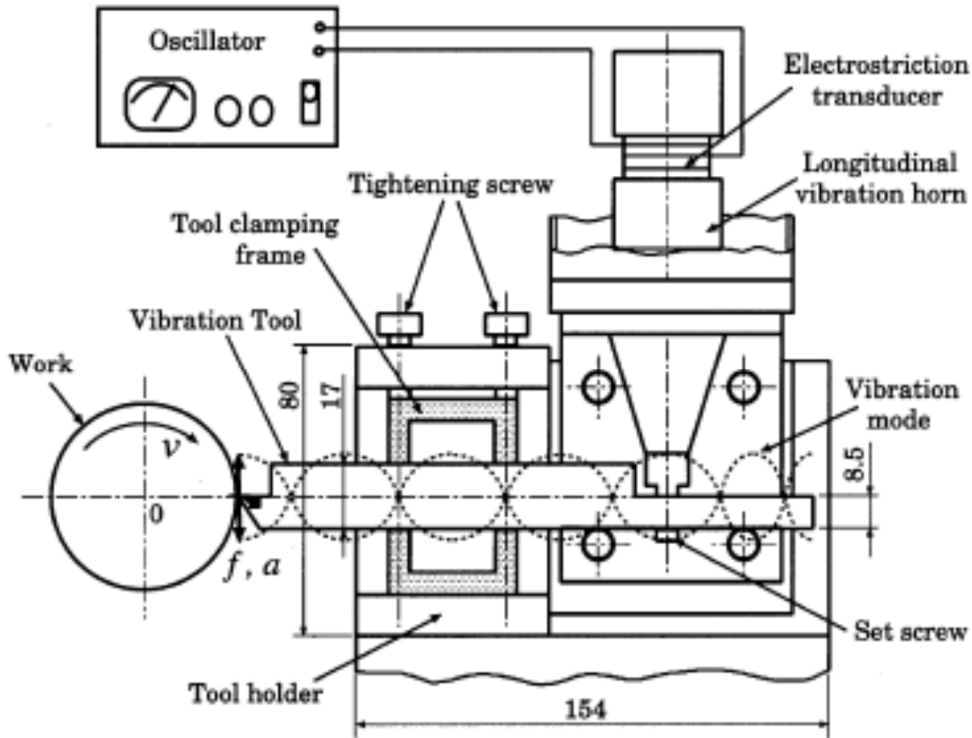
2. 3. 4. Tırlama Titreşiminin Kontrolü

Tırlamanın sönümlenmesi/kontrolü, talaşlı imalat proseslerinde üzerinde çok çalışılması gereken bir problemdir. Tırlamanın sönümlenmesi ve kontrolüne ait daha iyi teknikler geliştirilmesi için olan ihtiyaç, üretim endüstrisindeki yüksek üretkenlik, yüksek doğruluk, daha düşük red oranları ve daha düşük üretim maliyetleri için olan baskıdan dolayı hiç olmadığı kadar fazladır. Tırlama sönümlenme/kontrol teknikleri, pasif ve aktif method olmak üzere 2 sınıfa ayrılır.

-Pasif Method ile Tırlama Titreşiminin Kontrolü

Pasif methodda amaç, sistemin davranışını değiştirerek tırlamayı sönmülemektir. Sistem davranışı ya tezgah tasarımını iyileştirerek yada rejeneratif etkiyi bozan yada ekstra enerjiyi absorbe eden ek araçlar kullanılarak değiştirilebilir yada modifiye edilebilir. Bu ek araçlar genellikle daha düşük rijitliğe sahiptirler ve tırlamayı sönmüleme, azaltma ve kontrol etme özelliğine sahiptirler. Titreşim sönmüleyici, sürtünme tamponları, kütle tamponları ve ayarlanmış tamponlar en çok kullanılan araçların bazılarıdır.

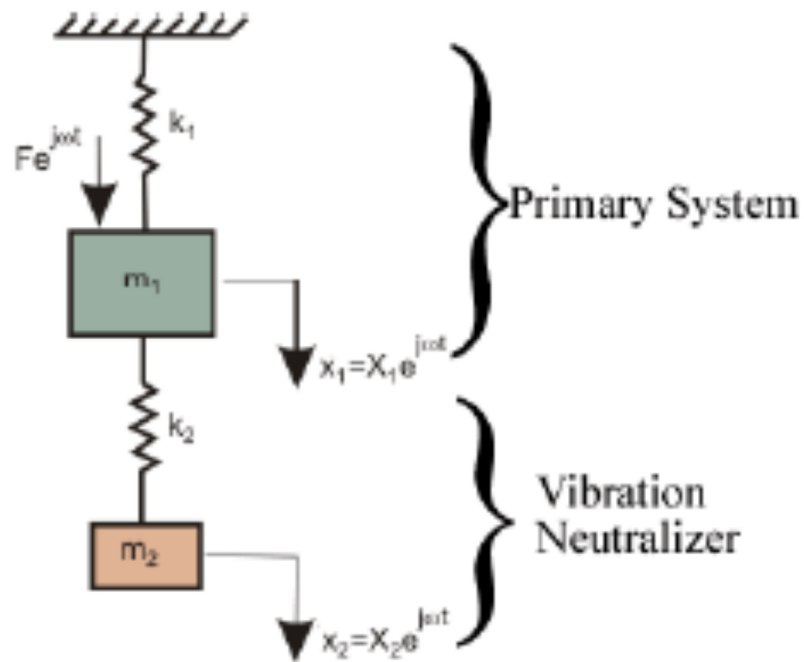
Xiao(2002), titreşim kesme uygulayarak tırlama titreşimini sönmüleyen bir method sunmuştur. Buna göre, titreşim kesme, konvansiyonel kesmeye göre, rejeneratif etkiyi bozarak tırlama titreşimini sönmülediği için daha stabildir. Kesme operasyonunda oluşan enerji, aynı zamanda kesme koşullarını değiştirerek azaltılabildiği için titreşim sönmülenebilir.



Şekil 2. 26. Titreşim Kesme Test Düzeneği

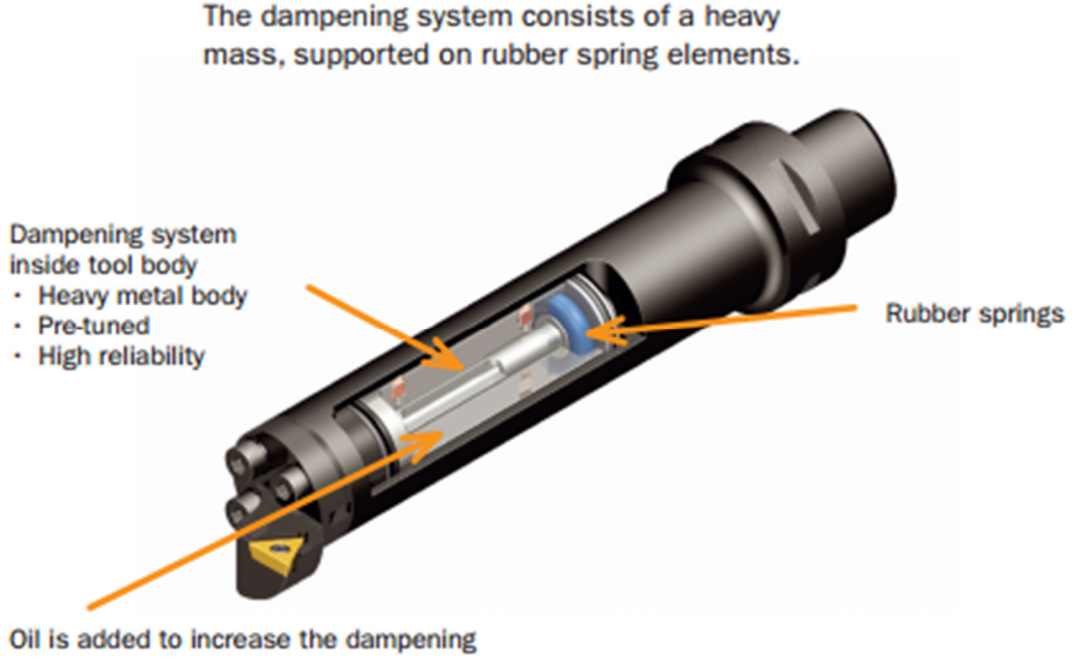
Çoğu pasif sönümleme teknikleri arasında, dinamik titreşim sönümleyiciler (DTS) yada ayarlanmış kütle tamponları (AKT) pratik uygulamalarda sıklıkla kullanılmıştır. (Den Hartog 1985).

Dinamik titreşim sönümleyiciler, titreşim yapan ana sisteme (kütleye), ikinci bir kütle ekleyerek ve bu kütlelerin var olan titreşim enerjisini dağıtarak, ana sistemin titreşim genliğini azaltması konseptiyle çalışır.



Şekil 2. 27. DTS Çalışma Prensibi

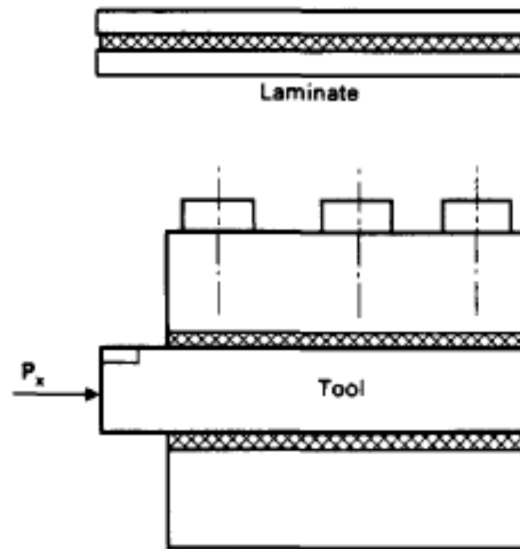
Endüstride, DTS prensibi ile çalışan ve tormalama, frezeleme ve delik delme proseslerinde oluşan tırlamayı proses devam ederken sönümleyen özel sönümlemeli takımlar kullanılmaktadır. Şekil 2. 28.'de gösterilen ürünün çalışma prensibi şu şekildedir. Sitemde tırlama oluştuğu anda, titreşim enerjisi, takımın içyapısında bulunan DTS'ye elastomer malzemeler ile taşınır. Burada, elastomer malzemelerin yaptığı harmonik hareketler sistemin enerjisi sönümlenir. İç yapıda bulunan silikon yağ ise, enerjinin bir kısmının sürtünme enerjisi ile kaybolmasına neden olur.



Şekil 2. 28. Sönümlenmeli Özel Takımlar (Sandvik - Silent Tool)

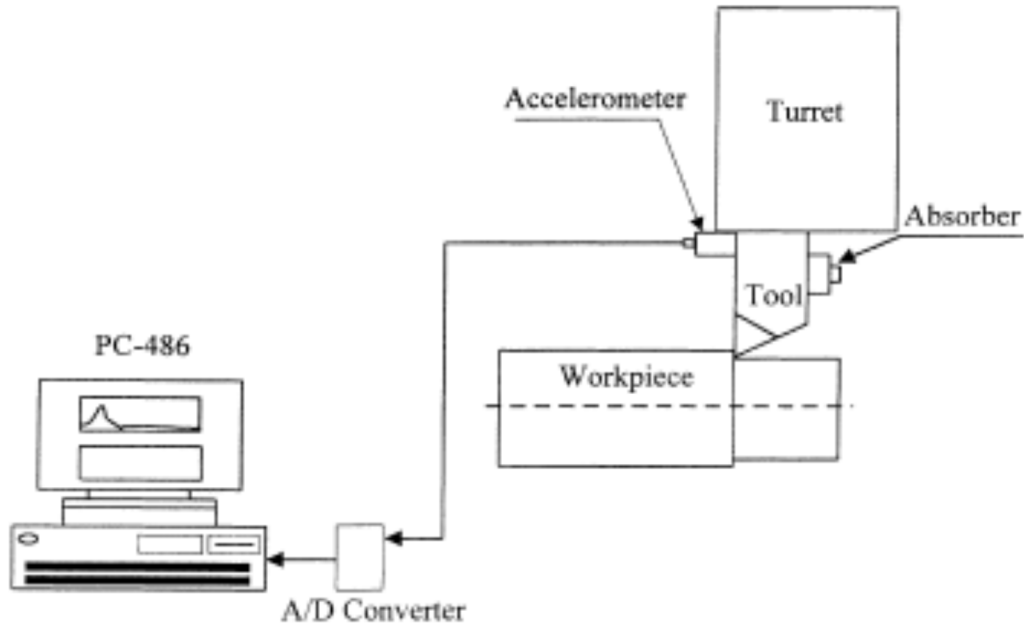
Tobias(1959), tırlamayı sönümlenmek ve prosesin kararlılığını iyileştirmek için, takım tezgahının bazı elementlerine titreşim sönümleyici eklenmiştir.

Rivin ve Kang(1989), şekil 2.29.'da görüleceği üzere titreşim sönümlenmek için kesici takıma lamine edilmiş klempleme araçları (çelik plakalar ve viskoelastik malzemelerden oluşan) takmışlardır.



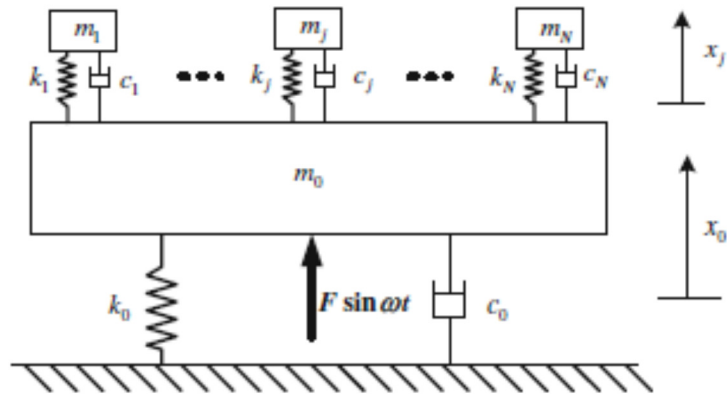
Şekil 2. 29. Takım tutucuya yüksek sönümlenmeli lamineler ile takılan takım

Tarnq (2000) ve Lee (2001), tornalamada titreşimi sönmölemek için ayarlanmış titreşim sönmöleyici gibi çalışan ve sistemin davranışını değiştiren piezoelektrik bir atalet aktüatörü kullanmışlardır. Sistemin doğal frekansını, atalet aktüatörün kütesini değiştirerek sistemin doğal frekansına adapte etmişler ve titreşimi sönmölemişlerdir.



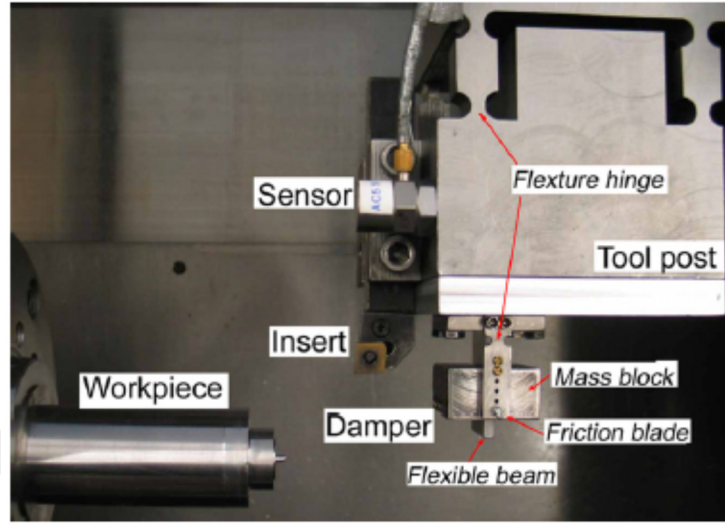
Şekil 2. 30. Deney düzeneği (2000,2001)

Yang (2010), tezgah yapısına çoklu pasif kütle tamponu ekleyerek, takım-iş parçası arayüzündeki FTF'nun negatif gerçek parçasını optimize etmiştir, böylece tornalama operasyonunun tırlama kararlılığını artırmıştır.



Şekil 2. 31. Çoklu pasif kütle tamponlarının ana sisteme yerleştirilmesi (2010)

Wang (2010), 0, 01 kütle oranına sahip nonlinear bir ayarlanmış kütle tamponu ile sönümlenmemiş sisteme nazaran % 150-180 'lik artırılmış talaş derinliği sağlamıştır.



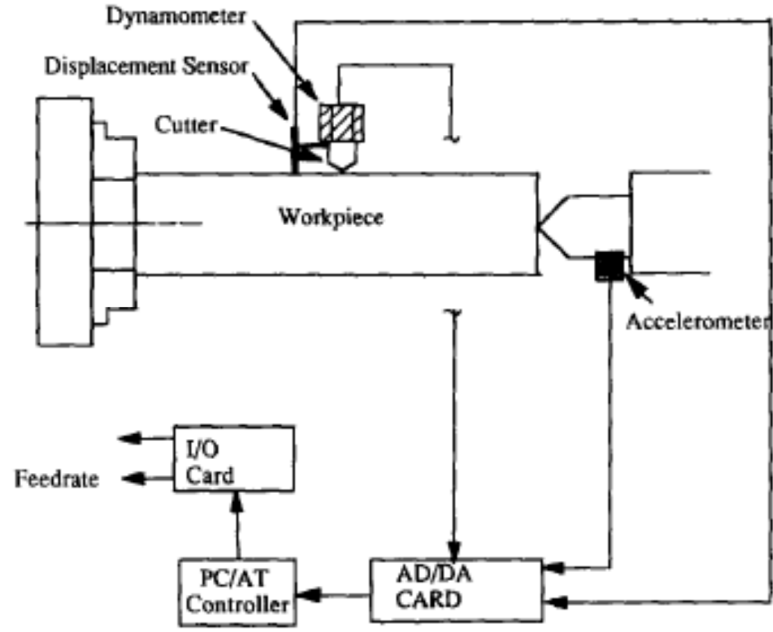
Şekil 2. 32. Nonlinear ayarlanmış kütle tamponu bağlı tornalama prosesi (2010)

Pasif titreşim sönümlenme teknikleri, kolay uygulama, düşük maliyet ve ekstra bir güç kaynağına gerek duymadığı için ciddi avantajlara sahiptir. Fakat iyi bir performans için çok doğru bir ayarlama (tuning) gerekir ki buda tezgah-takım yapısındaki ve işleme prosesindeki kesin olmayan olaylardan dolayı zordur.

-Aktif Method ile Tırlama Titreşiminin Kontrolü

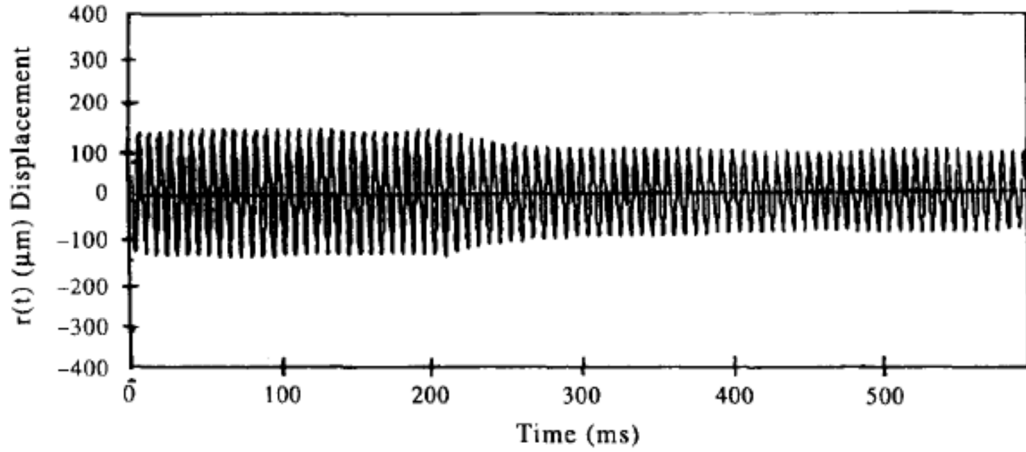
Aktif methodda ismindende anlaşılacağı gibi, tırlama titreşimleri, sürekli izleme ve operasyonun diyagnozu ile proste gerekli değişikliği hemen yapma ile aktif olarak elimine edilir. Bazı araştırmacılar, rejeneratif etkiyi, aktif olarak proses parametreleri olan hız, ilerleme ve talaş derinliğini değiştirerek bozmuşlardır.

Lin ve Hu(1992), ilerleme oranı ve fener mili hızını değiştirerek tırlamayı proses esnasında elimine etmişlerdir.

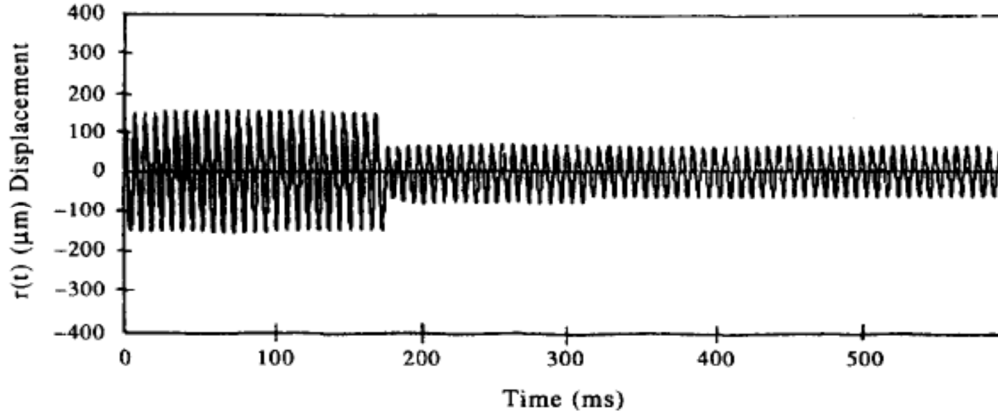


Şekil 2. 33. Aktif Method Test Düzeneği (1992)

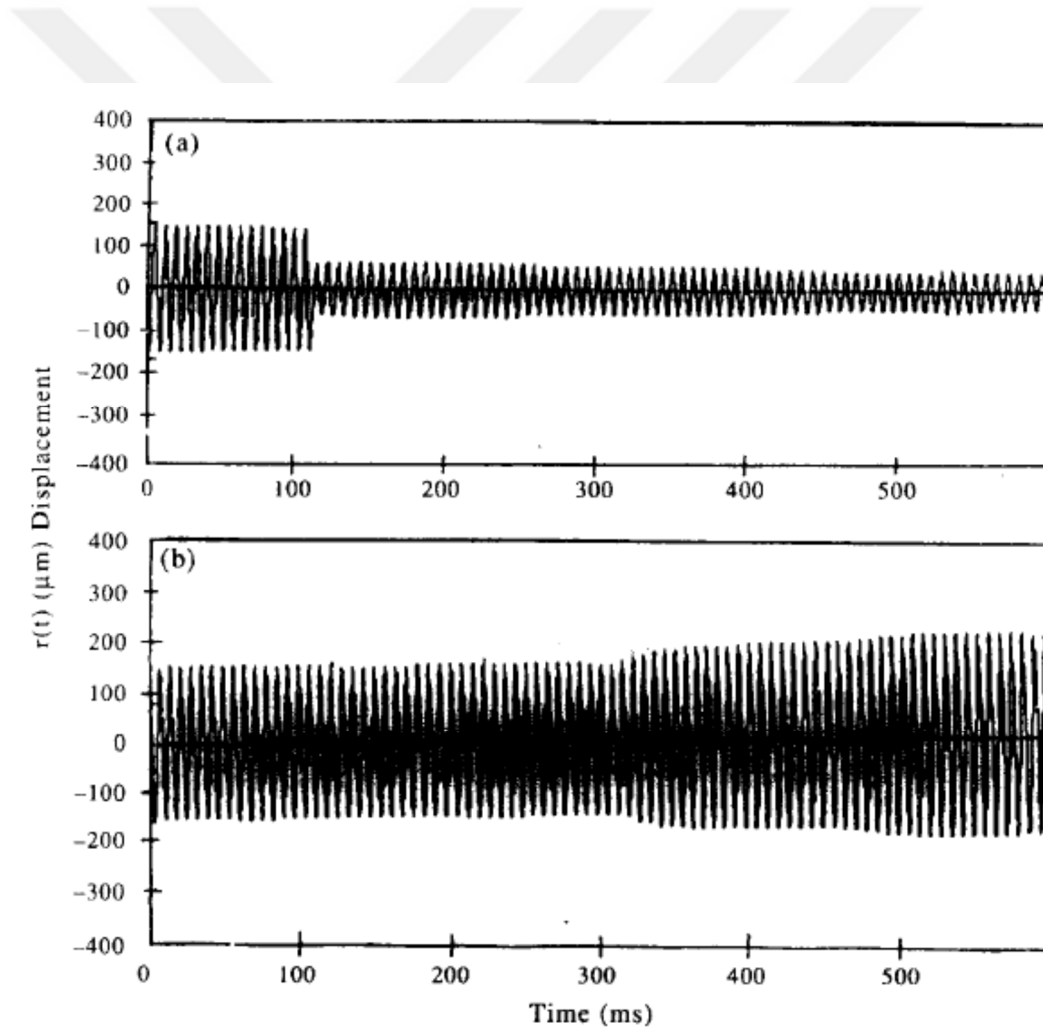
Mei(1994), eğim ve boşluk açılarını değiştirerek tırlama kararlılığını sağlamışlardır. Bu açıların takımda meydana gelen saptmaya etkileri aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.



Şekil 2. 34. Eğim açısı değişiminin takım saptasındaki etkisi ($N = 700$ rev/min, $s_o = 0,08$ mm/rev, $a_p = 0,5$ mm, $\gamma_o = 12^\circ$, $\alpha_o = 8^\circ$, $\gamma_o' = 18^\circ$, $\alpha_o' = 8^\circ$)



Şekil 2. 35. Boşluk açısı değişiminin takım sapmasındaki etkisi ($N = 700$ rev/min, $s_0 = 0,08$ mm/rev, $a_p = 0,5$ mm, $\gamma_0 = 12^\circ$, $\alpha_0 = 8^\circ$, $\gamma_0' = 12^\circ$, $\alpha_0' = 2^\circ$)

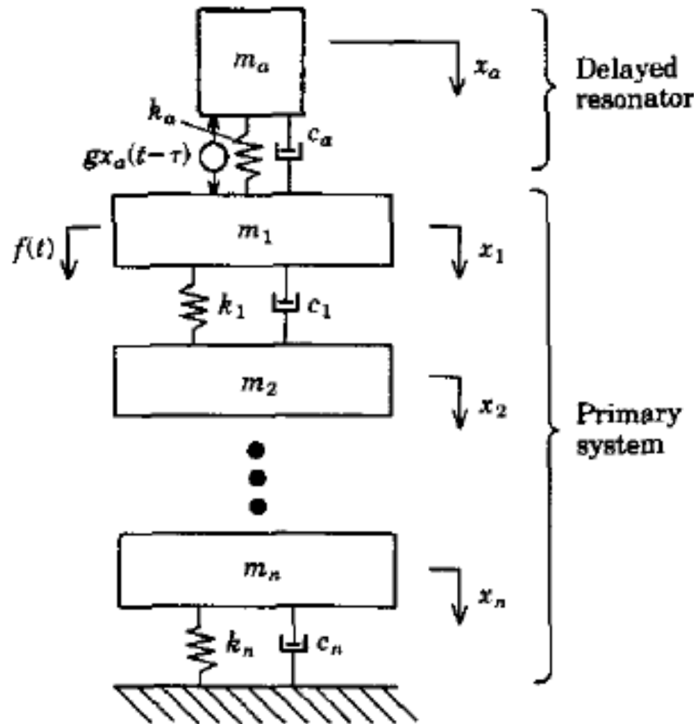


Şekil 2. 36. Eğim açısı ve boşluk açısının anlık değişiminin takım sapmasındaki etkisi a) $N = 700$ rev/min, $s_0 = 0,08$ mm/rev, $a_p = 0,5$ mm, $\gamma_0 = 12^\circ$, $\alpha_0 = 8^\circ$, $\gamma_0' = 18^\circ$, $\alpha_0' = 2^\circ$ b) $N = 700$ rev/min, $s_0 = 0,08$ mm/rev, $a_p = 0,5$ mm, $\gamma_0 = 12^\circ$, $\alpha_0 = 8^\circ$, $\gamma_0' = 12^\circ$, $\alpha_0' = 2^\circ$

Frumusana(2012), tornalama operasyonu için kararlılık akıllı kontrol tekniği sunmuştur. Teknik, kesme kuvveti sinyalinin online olarak izlenmesini içermektedir. Frekans domainindeki bu sinyalin ortalama değeri, istenen bir özellik olarak çıkartılmıştır.

Titreşimi aktif olarak sönümlenme için kullanılan bir başka teknik ise, geciktirilmiş geribesleme kontrol titreşim sönümleyicilerin kullanılmasıdır. Zaman gecikmesi genellikle sistem dinamiğinin doğasından dolayıdır. Bir gecikme, kaotik hareketten düzenli harekete geçiş yada tam tersi olan bir sistemin kontrol hareketlerinin kullanılması için verimli bir şekilde kullanılabilir.

Holm-Hansen (1994), dinamik yapılara geciktirilmiş pozisyon geribesleme kontrolü sağlamak için bir geciktirilmiş rezonatör kullanmıştır. Bu teknik, gerçek zamanlı ayarlama, geniş frekans aralığı, mükemmel sönümlenme ve basitliğinden dolayı büyük avantaj sağlar.

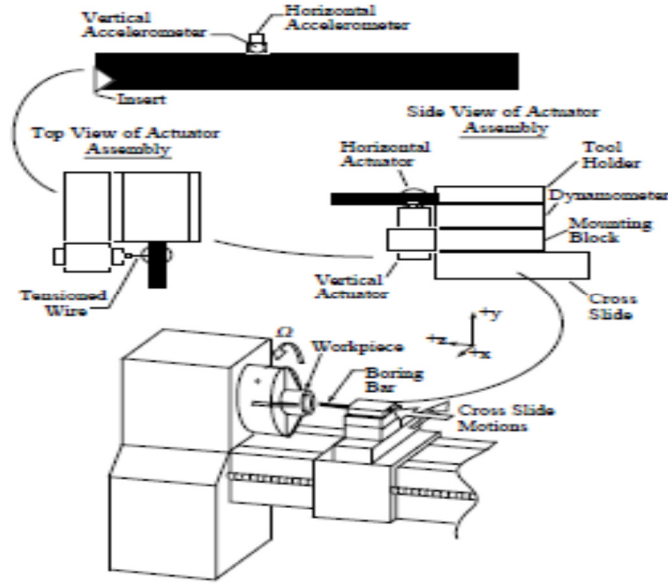


Şekil 2. 37. Ana sisteme bağlanan geciktirilmiş rezonatör ile aktif method tekniği ile sönümlenme (1994)

Titreşimi aktif olarak sönümlenme için kullanılan bir başka teknik ise, fener mili hızındaki sürekli değişim, rejeneratif etkiyi bozduğu için fener mili hızı değişimidir. Bu teknik, titreşim sönümlenmedeki basitliği ve verimliliğinden dolayı oldukça dikkat çekmektedir. Tezgah-takım sisteminin kararlılığı, sabit fener mili hızının doğru seçimi ile artırılabilir ve kararlılık bu teknik ile daha da artırılabilir. Weck (1975), alın frezeleme operasyonunda kararlılık diyagramının kararlılık bölgesine fener mili hızını değiştirerek tırlamayı elimine etmiştir.

Fener mili hızının değiştirilmesi ile titreşimin sönümlenmesi tekniği kolay uygulanabilir olmasına rağmen, buradaki başarı, tırlamanın oluşmasına müsaade etmeyecek kadar kısa süren operasyonlardan dolayı kısıtlanmıştır. Bununla birlikte bu tekniğin endüstride kullanılması ile ilgili büyük engeller mevcuttur. Rejeneratif etkiyi bozmak için, fener mili hızının değişimi çok hızlı yapılmalıdır ancak bu, sistemdeki yüksek momentumdan dolayı mümkün olmayabilir. Aynı zamanda, fener mili hızını artırmak ve azaltmak için yüksek enerji tüketimi gerektiği için çok verimli değildir. Özellikle yüksek hızlı işlemlerde, fener mili hızındaki ufak değişiklik bile sistemde dengesizliğe ve buda sonuç olarak tezgah-takım ekipmanlarının hasarına yol açabilir. Bu teknik aynı zamanda operasyonun maliyetini de artırabilir. Bu dezavantajlardan dolayı bu teknik endüstride kendine çok yer bulamamıştır.

Aktif olarak titreşimi sönümlenmede kullanılan bir diğer teknik ise, akıllı malzemeler denilen ve mekanik kuvvet ve hareketi diğer enerji türlerine çeviren ve böylece sönümlenmenin yapıldığı tekniklerdir. Bunlar; piezoelektrik etki, magnetostriktive etki gösterirler ve MR, ER akışkan, iyonik akışkan malzemelerdir. Genellikle tezgah-takım yapısına entegre edilirler ve rejeneratif tırlamayı sönümlerler.



Şekil 2. 38. Delik İşleme Barası Kontrol Sistemi Düzenegi (Smart Tool – J. R. Pratt)

Aktif method ile sönümlenmenin avantajları şunlardır: Sistemin herhangi bir modeline ihtiyaç duymazlar. Kullanılan ekipmanların gücü, frezeleme ve tornalamada ortaya çıkan enerjilere karşı koyabilecek kadar güçlüdür. Bunun yanında, dezavantajları da mevcuttur. Sisteme ikincil bir enerji kaynağı eklendiği için, sistemin toplam titreşim dalgalarını artırırılar. Bu yüzden düşük fener mili hızları ile sınırlandırılır. Aynı zamanda çok karışık yazılım ve donanım ihtiyacı olduğu için hem pahalıdır, hem de alışagelmış çalışma sisteminin dışına çıkarlar.

Aktif methodların avantajı çok olmasına rağmen, pasif method sönümlenme teknikleri daha az maliyete sahip olduğu ve daha kolay uygulanabilir olduğu için, endüstride ve uygulamalarda daha çok tercih edilirler.

Sonuç olarak talaşlı imalat operasyonları 3 boyutlu konfigürasyona sahip olmalarına rağmen, tek veya iki serbestlik dereceli tırlama kararlılık modelleride iyi sonuçlar verebilmektedir. Kararlılık diyagramları, kolay elde edilebilirliği, tahmin açıklığı ve popülaritesinden dolayı proses dışı tırlama tahmini methodlarının en kullanışlı olanıdır. Tırlama daha oluşmadan, rejeneratif etkiyi bozarak uzak durmak çok daha iyidir. Uzak durmak mümkün değil ise, pasif method sönümlenme teknikleri ile sistemi modifiye ederek yada aktif method sönümlenme teknikleri ile sisteme ekstra bir güç uygulayarak sönümlenmek gerekmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde piyasada bulunan standart kater ile tarafımca üretilen anti-vibrasyon kater ile yapılan talaşlı imalat işlenebilirlik deneylerinde kullanılan materyaller ve yöntemler yer almaktadır. Yine bu bölümde anti-vibrasyon katere ait tasarım, analiz ve üretim çalışmaları da yer almaktadır.

3. 1. İşlenebilirlik Deneyleri

3. 1. 1. Deney Numuneleri

Yapılan tüm deneylerde Ø70xØ40x48 ölçülerine sahip borular kullanılmıştır. Bu boruların malzeme kalitesi sıcak çekilmiş St52 yapı çeliğidir. Bu malzemeye ait özellikler aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3. 1. St52 malzemenin kimyasal ve mekanik özellikleri (DIN 17100)

C %	Si %	Mn %	P %	V %	S %	Nb %	Ti %	Al %
≤0, 20	≤0, 55	1-1, 6	≤0, 04	0, 02- 0, 15	≤0, 05	0, 015- 0, 06	0, 02- 0, 2	≥0, 015

Akma Dayanımı (Mpa)	Kopma Dayanımı (Mpa)	Darbe Dayanımı (J)	Uzama %
≥345	470-630	≥34	≥21

3. 1. 2. Deneylerde kullanılan cihaz ve donanımlar

İşlenebilirlik deneyleri Accuway UT300 marka CNC torna tezgahında yapılmıştır. Tezgaha ait resim aşağıda yer almaktadır.

Tezgah X ve Z eksenlerine sahip olup, maksimum işleme çapı 500 mm, kesme boyu ise 700 mm'dir.

İşleme sonrası yapılan yüzey pürüzlülük ölçümlerinde ise Yamer PST200 marka yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ile Ra , Rz , Rt , $Rmax$ gibi farklı yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri ISO, DIN standartlarına göre ölçüm yapılabilmektedir.



Şekil 3. 1. Yamer PST200 marka yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı (Yamer Endüstri)

Talaşlı imalat esnasında ortaya çıkan sesin ölçülmesinde ise standart bir mikrofon kullanılmıştır. Delik içi kater işleme gövdesine bağlanan mikrofon, akıllı telefona bağlanarak sesler kaydedilmiş ve anlık olarak Advanced Spectrum Analyzer Pro yazılımı ile ölçülen seslerin frekansı ve db cinsinden genliği alınmıştır.

Üretilen anti vibrasyon takımının deneysel modal analizinde ise NI-9234 veri toplama kartı kullanılmıştır. 4 kanallı olan bu kart, ses ve titreşim sinyallerinin ölçümünde kullanılmaktadır. Her kanalda bulunan anti-aliasing filtre sayesinde istenilen sinyal oranına adapte olabilir.

Bu karta PCB 356B21 marka 3 eksenli ivmeölçer bağlanmıştır. 10 mV/g hassasiyeti, ± 500 g ölçüm aralığı, 10000 Hz'e kadar frekans aralığı bu cihaz ile ivmelenme ölçülebilmektedir.

Kartın bir kanalına bağlanan PCB 086C03 marka modal çekiç ise 2, 25 Mv/N hassasiyete, ± 2224 N ölçüm aralığına sahiptir ve çekiç kütlesi 0, 16 kg gelmektedir.

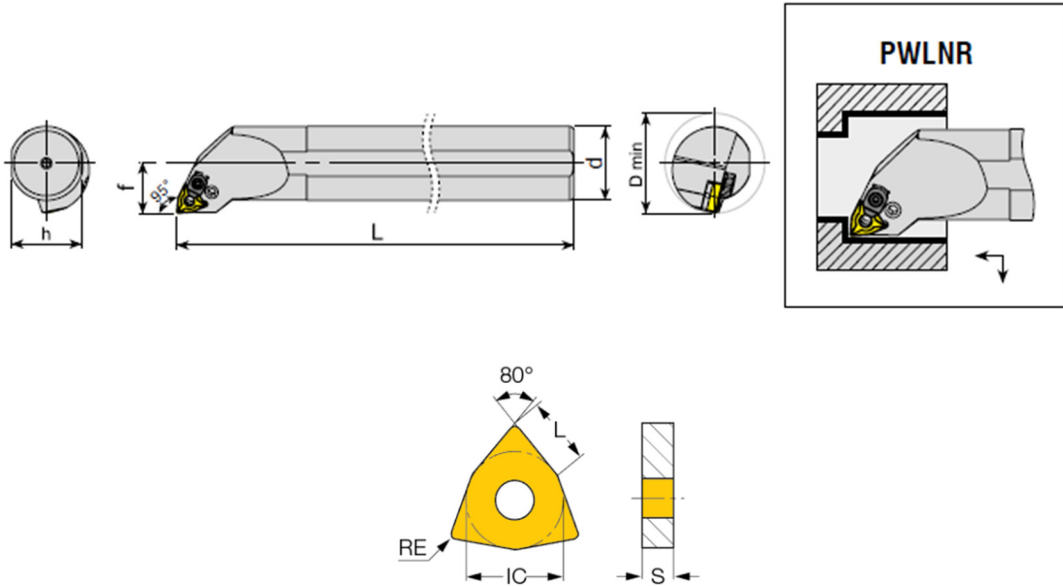


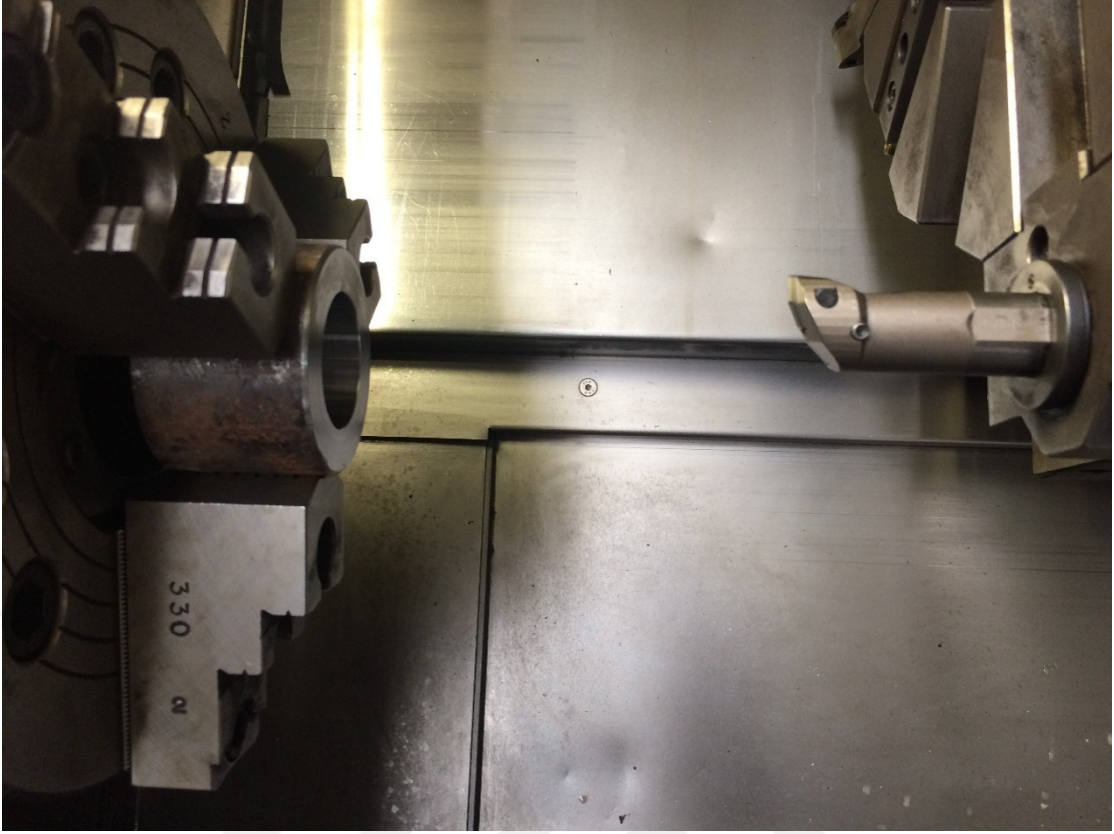
Şekil 3. 2. Soldan Sağa Sırasıyla Veri Toplama Kartı, İvmeölçer ve Modal Çekiç (NI ve PCB Corp.)

3. 1. 3. Deneylerde kullanılan kesici takımlar

Deneylerde standart olarak üretilen iki ayrı kesici kullanılmıştır. Bunlardan birincisi S25 PWLNR delik içi işleme kateridir. Çelik malzemeden yapılan bu ürünler ile sarkma oranı (L/D) 4'e kadar işleme yapılabilir. Bu oran aşıldığı takdirde tırlama oluşması beklenen bir sonuçtur.

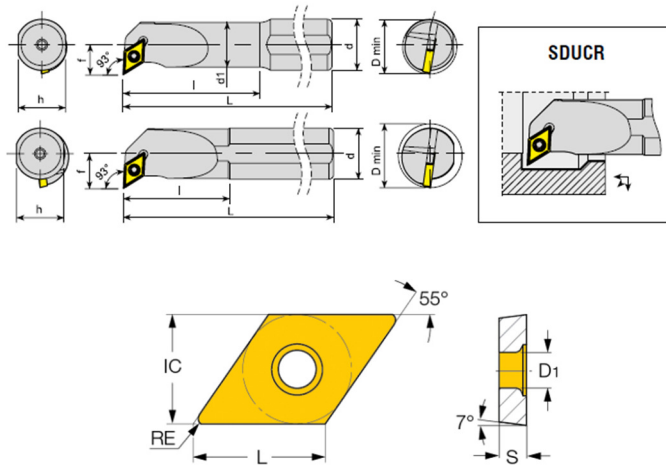
25 mm çapında olan delik işleme katerinde WNMG 080408 elmas kullanılmıştır. Negatif bir uç olan bu elmas ile kaba ve finiş operasyonları yüksek girdi parametrelerinde rahatlıkla yapılabilir.





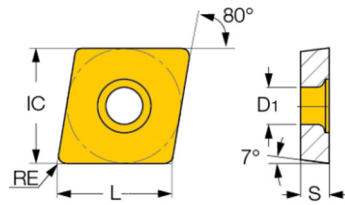
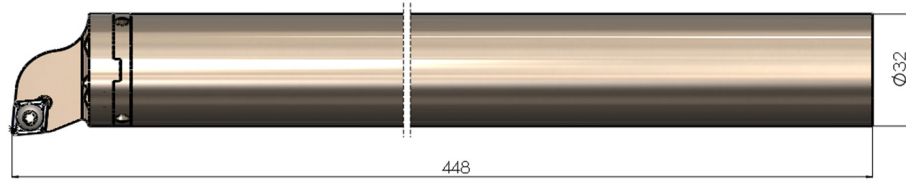
Şekil 3. 3. S25 PWLNR Delik İçi İşleme Kateri ve WNMG 080408 Kesici Uç

Diğer standard takım ise S25 SDUCR delik içi işleme kateridir. Yine çelik malzeme kullanılan bu ürünlerde ise DCMT 11T304 kesici uç kullanılmıştır. Pozitif olan bu uçlarda kaba işlem yapılabilir de girdi parametrelerinden özellikle talaş derinliği yüksek seviyelerde verilememektedir. Bu yüzden deneylerde finiş operasyonlarında kullanılmıştır.



Şekil 3. 4. S25 SDUCR Delik İçi İşleme Kateri ve DCMT 11T304 Kesici Uç

Deneylerde kullanılan anti-vibrasyon katerlerin sarkma boyu $\varnothing 32$ olarak üretimiştir. Bu ürünlerin kesme kafaları CCMT 09T308 kesici uca uygun olarak üretilmiş ve deneylerde bu uçlar kullanılmıştır. Üretilen bu takım, piyasada bulunan standart bir takım ile karşılaştırmak mümkün değil çünkü üretilen standart takımların boyu kısa olduğu için $\varnothing 32$ sarkma boyunda bağlamak mümkün değil. Bu yüzden, aynı ölçülerde bir takım, içinde sönümleme sistemi olmadan üretilmiştir.



Şekil 3. 5. S32 448 Anti Vibrasyon Delik İçi İşleme Kateri ve CCMT09T308 Kesici Uç

3. 1. 4. Deney parametreleri ve İşleme Stratejisi

Yapılan deneylerde kullanılan işleme parametreleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir. Deney parametrelerinin seçiminde taguchi 3 seviye deney tasarımı kullanılmıştır.

Çizelge 3. 2. Taguchi L₉ Orthogonal Deney Tasarımı

A	B	C
1	1	1
1	2	2
1	3	3
2	1	2
2	2	3
2	3	1
3	1	3
3	2	1
3	3	2

Standard katerler ile yapılan işlemlerde sarkma boyu çapın 3 katı boyda olup, kaba ve finiş operasyon yapılmıştır.

Çizelge 3. 3. S25 PWLNR WNMG 080408 ile Yapılan Kaba İşleme Parametreleri – Deney 1

Test No	ap(mm)	Vc(m/dk)	fn(mm/dev)
1	1,5	120	0,2
2	1,5	140	0,24
3	1,5	160	0,28
4	2	120	0,24
5	2	140	0,28
6	2	160	0,2
7	2,5	120	0,28
8	2,5	140	0,2
9	2,5	160	0,24

Yukarıda verilen işleme parametreleri, WNMG kesici uç üreticisinin kataloglarında verdiği tavsiye niteliğindeki değerlerdir.

Çizelge 3. 4. S25 SDUCR DCMT 11T304 ile Yapılan Finiş İşleme Parametreleri – Deney 2

Test No	ap(mm)	Vc(m/dk)	fn(mm/dev)
10	0,5	200	0,05
11	0,5	225	0,075
12	0,5	250	0,1
13	0,75	200	0,075
14	0,75	225	0,1
15	0,75	250	0,05
16	1	200	0,1
17	1	225	0,05
18	1	250	0,075

Yapılan deneylerde 9 ayrı test yapılmasının sebebi Taguchi yöntemini sağlıklı bir şekilde uygulayabilmek için gerekli olan minimum deney sayısını sağlayabilmektir.

Çizelge 3. 5. Sönümleme sistemi olmayan 448 mm boyundaki Takım ile Yapılan İşleme Parametreleri-
Deney 3

Test No	Takım	L/D	Kesici Uç	Opr.Türü	ap(mm)	Vc(m/dk)	fn(mm/dev)
19	S32 448	10	CCMT 09T304	Finiş	0,5	200	0,05

Normalde bu takım ile de 9 test yapılması planlanmıştı ancak oluşan tırlama sebebi ile işleme mümkün olmadığı için diğer deneyler yapılamamıştır. Tırlamanın oluşma sebebi ise yukarıdaki tablodan da anlaşılacağı gibi sarkma oranı L/D'nin 10 olmasıdır. Bu durumda oluşan dinamik kesme kuvveti, takımın rijitliği yeterli olmadığı ve takımın sönümleme yer almadığı için tırlamaya sebebiyet vermektedir.

Çizelge 3. 6. 32 mm çapında, 448 mm boyundaki Anti-Vibrasyon takım, CCMT 09T304 kesici uç ile L/D=10 oranında yapılan finiş işleme parametreleri –Deney 4

Test No	ap(mm)	Vc(m/dk)	fn(mm/dev)
20	0,5	200	0,05
21	0,5	225	0,075
22	0,5	250	0,1
23	0,75	200	0,075
24	0,75	225	0,1
25	0,75	250	0,05
26	1	200	0,1
27	1	225	0,05
28	1	250	0,075

Görüldüğü üzere aynı boyda üretilen takımın dönme sistemi yer aldığı için tüm deneyler yapılabilmektedir. Bu takım ile kaba işleme de yapılmıştır ancak sonuçları burada verilmeyecektir çünkü yüzey pürüzlülük değerlerini asıl etkileyen kısım finiş operasyonlarıdır.

Yukarıdaki tablolarda verilen deney parametreleri ile delik içi tornalama operasyonu gerçekleştirilmiştir. Deney 1 ve 2’de kesme sıvısı olmadan kuru tornalama yapılmıştır, diğer testlerde ise kesme sıvısı kullanılmıştır. Özellikle anti-vibrasyon katerinde kesme sıvısı olmadan kullanım mümkün değildir çünkü takımın boyu uzun olduğu için ortaya çıkan ısı takım içinde bulunan dönme sistemini etkilemekte ve buda takımın verimli çalışmasını engellemektedir.

3. 2. Anti-Vibrasyon Delik İçi İşleme Kateri

Deneyin ikinci aşamasındaki testlerde kullanılan anti-vibrasyon katerin tasarımı, analizi ve üretimi ile ilgili çalışmalar bu bölümde verilmiştir.

3. 2. 1. Anti-Vibrasyon Delik İçi İşleme Kateri Tasarımı ve Analizleri

Delik için tornalama operasyonunda kullanılan takımın sarkma boyu arttıkça tırlamanın nasıl arttığı yukarıda anlatılmıştı. Bu tırlamayı minimize etmek için takımın rijitliğini azaltmadan, dönme sistemini artırmak gerekmektedir. Artan sarkma boyundan dolayı azalan statik rijitliğin negatif etkisini, sisteme eklenecek dönme ile ortadan kaldırmak gerekmektedir. Bu yüzden delik içi işleme katerinin iç yapısına dönme

eklenmiştir. Sönümlenme yapabilmek için 2 method vardır, birincisi pasif method diğeri ise aktif methoddur. Pasif methodda, ana sisteme dışarıdan ekstra bir güç uygulamadan, tamamen kullanılan sönümlenme elemanların sönümlenme kabiliyetlerinin kullanılması ile gerçekleşir. Aktif methodda ise tırlamayı oluşturan kesme kuvvetine karşı dışarıdan ekstra bir güç/kuvvet uygulamak suretiyle sönümlenme gerçekleştirilir. Aktif methodda kullanılan yazılım, donanım vs. gibi araçlardan dolayı bunu uygulamak pahalıdır ve operatörün çalışma alışkanlıkları değiştirebileceği için çok pratik değildir. Pasif methodda ise, sönümlenme tamamen takımın iç yapısında gerçekleştirildiği için standart takımlardan farkı yoktur, bunu dezavantajı ise sönümlenmeyi belli bir band aralığında gerçekleştirebilmesidir. Tüm bu sebeplerden dolayı titreşim sönümlenmede pasif method kullanılmıştır.

Pasif method ile titreşim sönümlenmede çeşitli yollar mevcuttur. Bunlardan dinamik titreşim sönümleyici üretilen katere uygulanmıştır. Şekil 2. 41’de dinamik titreşim sönümleyicinin sisteme nasıl eklendiği gösterilmiştir.

Kesici takım sisteminin dinamik parametreleri kütle (m), rijitlik (k) ve sönümlenmedir (c). Bu sisteme dinamik bir kesme kuvveti ($f \sin \omega t$) uygulandığı zaman tırlama genliği ($x(t)$) ortaya çıkmaktadır. Bu sisteme belirli bir kütlesi (m_a), rijitliği (k_a) ve sönümlenmesi (c_a) olan dinamik titreşim sönümleyici eklendiği zaman ortaya çıkan sönümlenme kuvveti ve genliği ($x_a(t)$) kesme kuvveti yönüne ters yönde kuvvet uygulayarak sönümlenme yapmaktadır. Dinamik titreşim sönümleyicisi dar bir band aralığında çalışmaktadır, o yüzden efektif bir çalışma için m_a , k_a ve c_a parametrelerinin doğru seçimi çok önemlidir.

Sims(2007), yaptığı çalışmada ana sistemin gerçek kısım cevabının genliği azaltacak sönümlenme sisteminin parametrelerini ortaya koymuştur. Buna göre;

$$\text{Kütle oranı} \quad \mu = \frac{m_a}{m}$$

$$\text{Statik Deplasman} \quad \delta = \frac{F_0}{k_m}$$

$$\text{Sönümleyici Doğal Frekansı} \quad \omega_a = \sqrt{\frac{k_a}{m_a}}$$

$$\text{Ana Sistem Doğal Frekansı} \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Frekans Oranı $f = \frac{\omega_a}{\omega}$

$$f = \sqrt{\frac{\mu + 2 + \sqrt{2\mu + \mu^2}}{2(1 + \mu)^2}}$$

$$\zeta = \sqrt{\frac{3\mu}{8(1 + \mu)^3}}$$

Bu formüller kullanılarak ayarlanmış (tuned) frekansı f bulunabilir. Bu formülleri kullanabilmek için ana sistemin doğal frekansı ve sönümleme oranı bilinmelidir. Bu da 3 yolla yapılabilir. Birincisi; sınır şartlarına bağlı olarak

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

formülü kullanılarak, ikincisi sonlu elemanlar analizi ile ve üçüncüsü deneysel modal analiz yöntemi ile. İlk iki method ile bulunan sonuçların doğruluğunun kontrol edilmesi için, deneysel modal analiz yine yapılmalıdır. Deneysel modal analizin bir diğer avantajı ise ana sistemin sönümleme oranının bulunabilmesidir.

-Deneysel Modal Analiz

Modal parametrelerin (doğal frekans, sönümleme oranı ve mod şekli) belirlenmesi ve deneysel-matematiksel model ilişkisinin oluşturulması işlemidir.

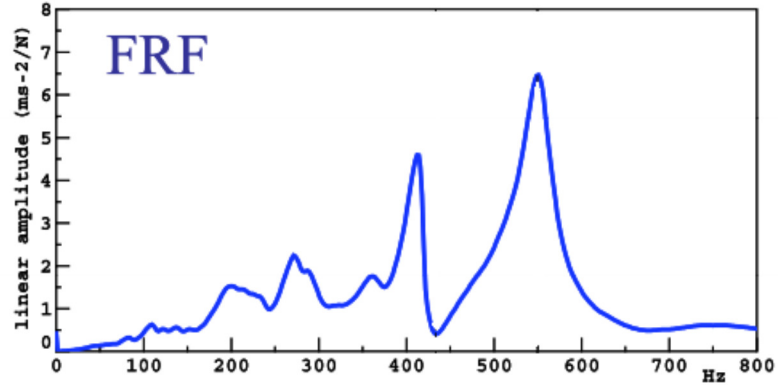
Elde edilen titreşim modları yapının dinamik özelliklerini vermektedir.

Sayısal yöntemlerden bulunan modal parametreler ile deneysel yöntemlerden bulunanlarla uyum halinde olmaz ise sayısal model düzeltilir ve deneysel modele uyumlu hale getirilir. Sayısal modelin deneysel modelle kalibrasyonu yapıldıktan sonra model üzerinde yapılan modifikasyonlar daha gerçekçi sonuçlar vermektedir.

Deneysel modal analizle ilgili bazı terimlerin bilinmesi gerekmektedir.

Frekans cevap fonksiyonu (FRF), genellikle ivmeölçerler tarafından ölçülen tepki sinyallerinin kuvvet algılayıcılar (modal çekiç, shaker) tarafından ölçülen tahrik sinyallerine oranıdır ve $H(\omega)$ ile gösterilir.

$$H(\omega) = \frac{x(\omega)}{f(\omega)}$$



Şekil 3. 6. FRF Diyagramı

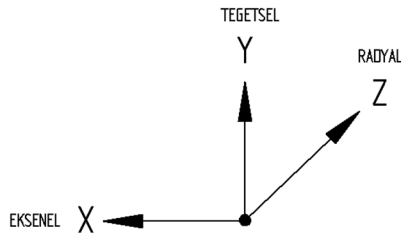
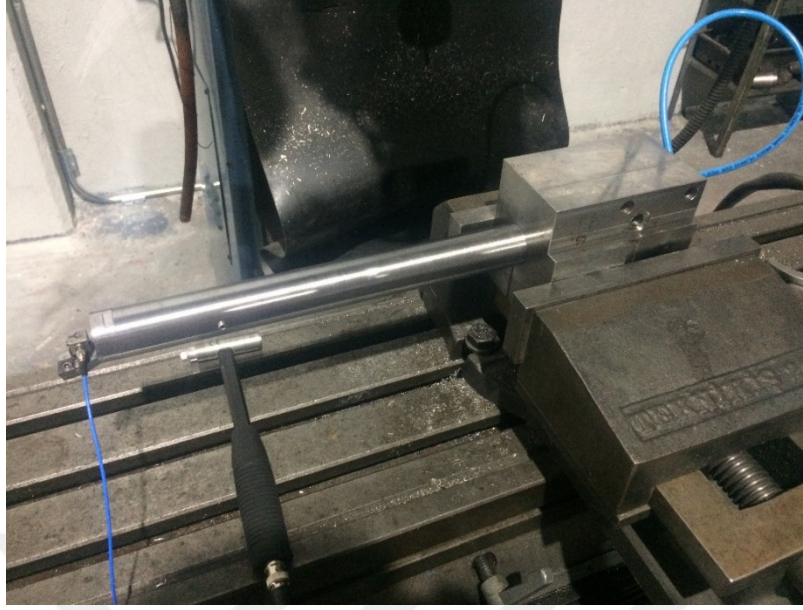
Doğal Frekans, frekans cevap fonksiyonlarındaki tepe noktalarına karşılık gelen Hz cinsinden frekans değerleridir. Yapının bu frekanslarda (modlarda) tahriki diğer frekanslara göre daha yüksek tepkilere neden olmaktadır.

Modal Sönümlenme Oranı, doğal frekans değerlerinde tahrik edilen yapıların tepki miktarlarını belirleyen parametredir.

Mod Şekli, yapının doğal frekans değerinde tahrik edildiğinde gösterdiği deformasyon şeklidir.

Üretilen 32 mm çapında, 448 mm boyunda delik içi işleme katerine ait modal analiz test düzeneği aşağıda verilmiştir. Radyal z yönünde modal çekiç ile tahrik edilen kater üzerinde oluşan etki kuvvetlerinin tepkileri 3 eksenli ivmeölçer ile elde edilebilmektedir. Daha sonrasında yapılan FRF ile sonuçlar elde edilmiştir.





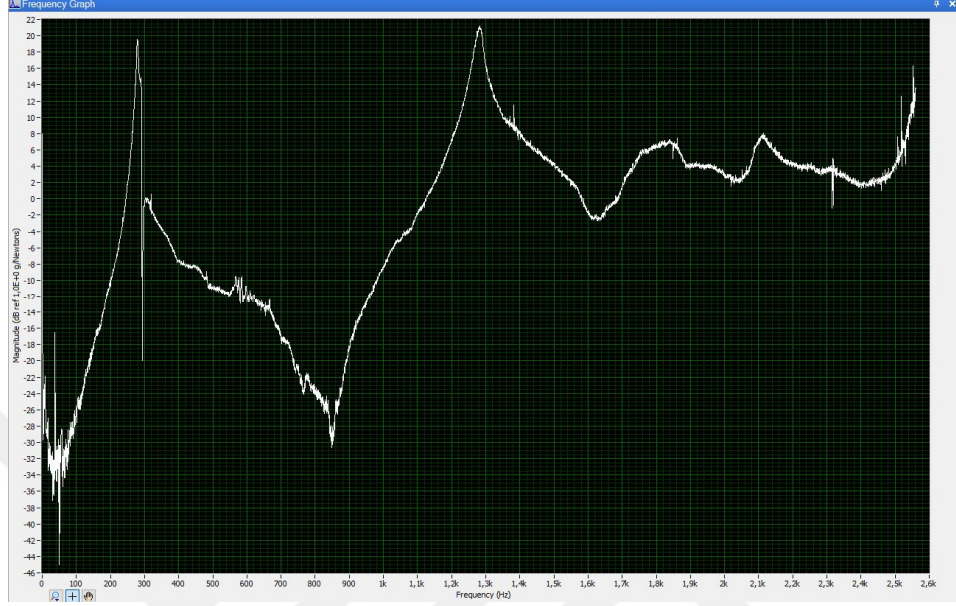
Şekil 3. 7. Deneysel Modal Analiz (Çekiç Testi) Düzenegi

Üretilen anti vibrasyon katerin deneysel modal analiz sonuçları aşağıda verilmiştir. FTF sonuçlarına göre 2 frekansta tepe noktası oluşmuştur, bunlar 291 Hz ve 1260 Hz. Tırlama titreşimi, en düşük frekansta (291 Hz) oluşacağı için temel frekans olarak bu modu almamız ve tasarımları buna göre yapmamız gerekmektedir.

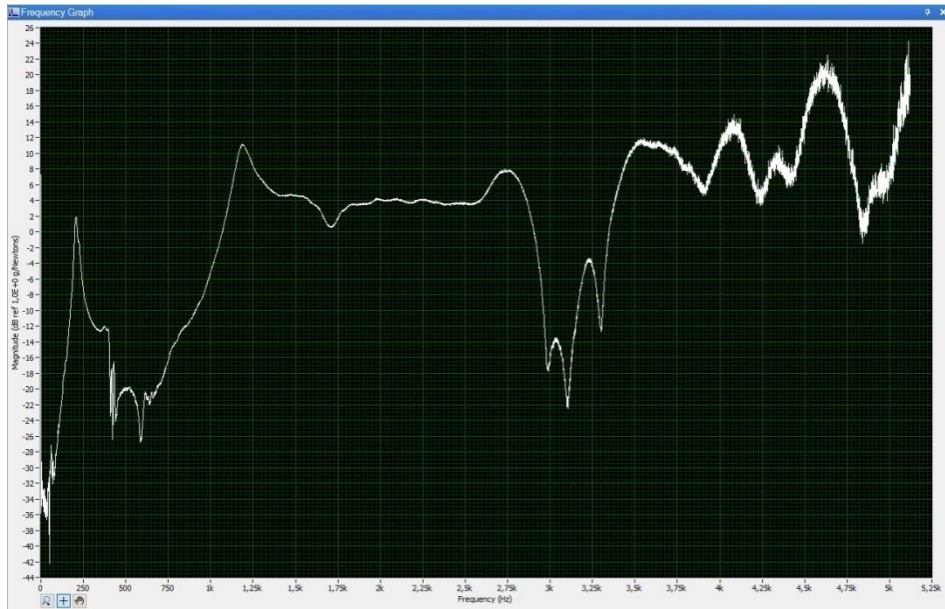
Şekil 3.8. ve Şekil 3.9.'da yer alan FTF sonuçlarından görüldüğü üzere sönümlenme sistemi olan katerin titreşim genliğinde ciddi bir düşüş yaşanmıştır. Tırlamanın z yönünde talaş kalınlığındaki değişime bağlı olarak oluştuğunu göz önüne aldığımız zaman, z yönündeki düşüşün tırlamayı azaltacağı sonucuna rahatlıkla varabiliriz.

Şekil 3. 10. ve Şekil 3.11.'de yer alan frekans tepki fonksiyonu gerçek kısmına baktığımız zaman genlikteki ciddi azalmayı görebiliriz. Yukarıdaki bölümlerde anlatıldığı üzere, gerçek kısmın genliği tırlamanın tespitinde çok önemli bir yere sahiptir. Tırlamayı azaltmak yada tırlama olmadan işlenebilecek maksimum talaş

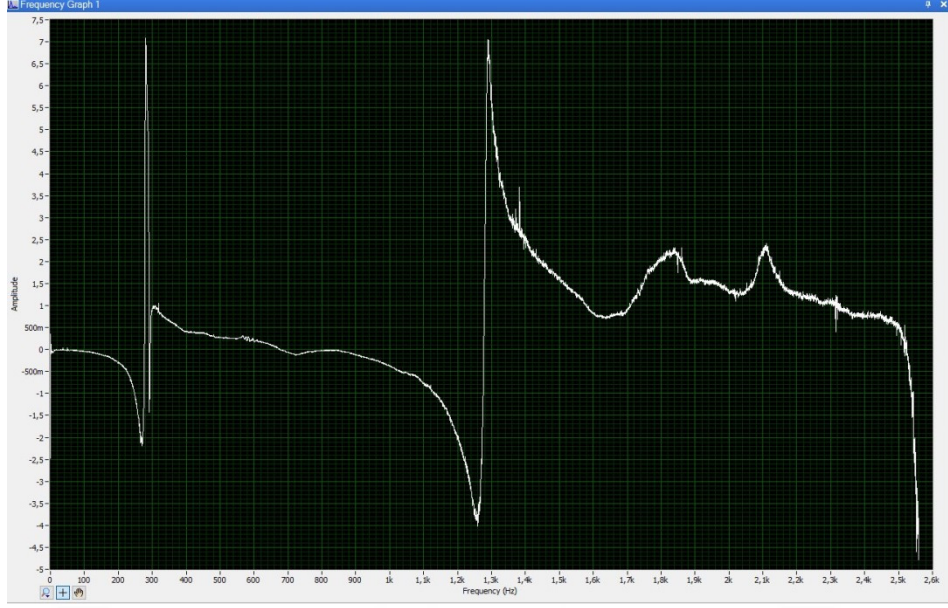
kalınlığını artırmanın 2 yolu vardır. Ya pozitif gerçek kısmın genliği azaltılacak yada negatif gerçek kısmın genliği artırılacak. Şekil 3. 11’de görüleceği üzere pozitif gerçek kısmın genliği azaltılmıştır.



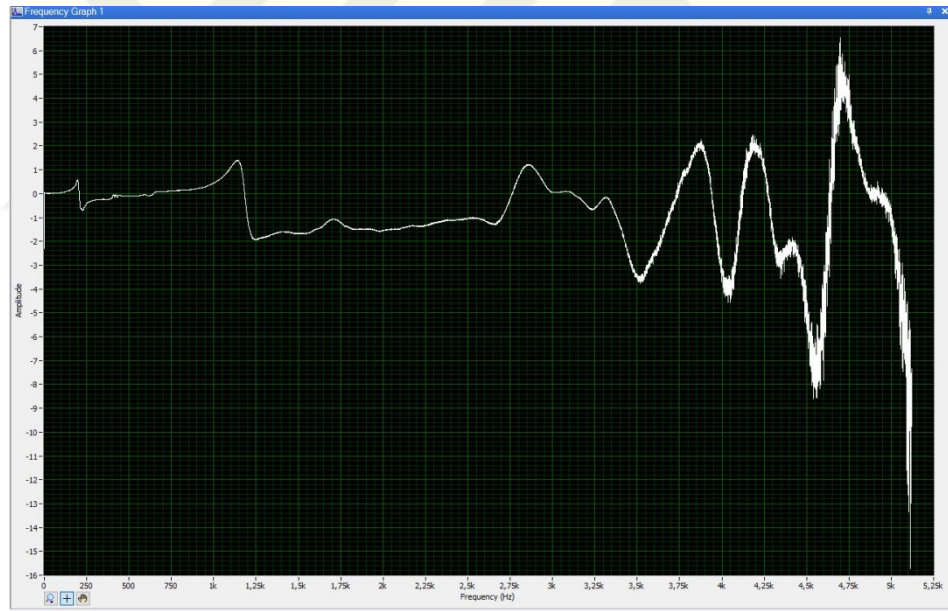
Şekil 3. 8. Sönümlenme sistemi olmayan katerin z yönündeki Frekans Tepki Fonksiyonu



Şekil 3. 9. Anti-Vibrasyon katerin z yönündeki Frekans Tepki Fonksiyonu

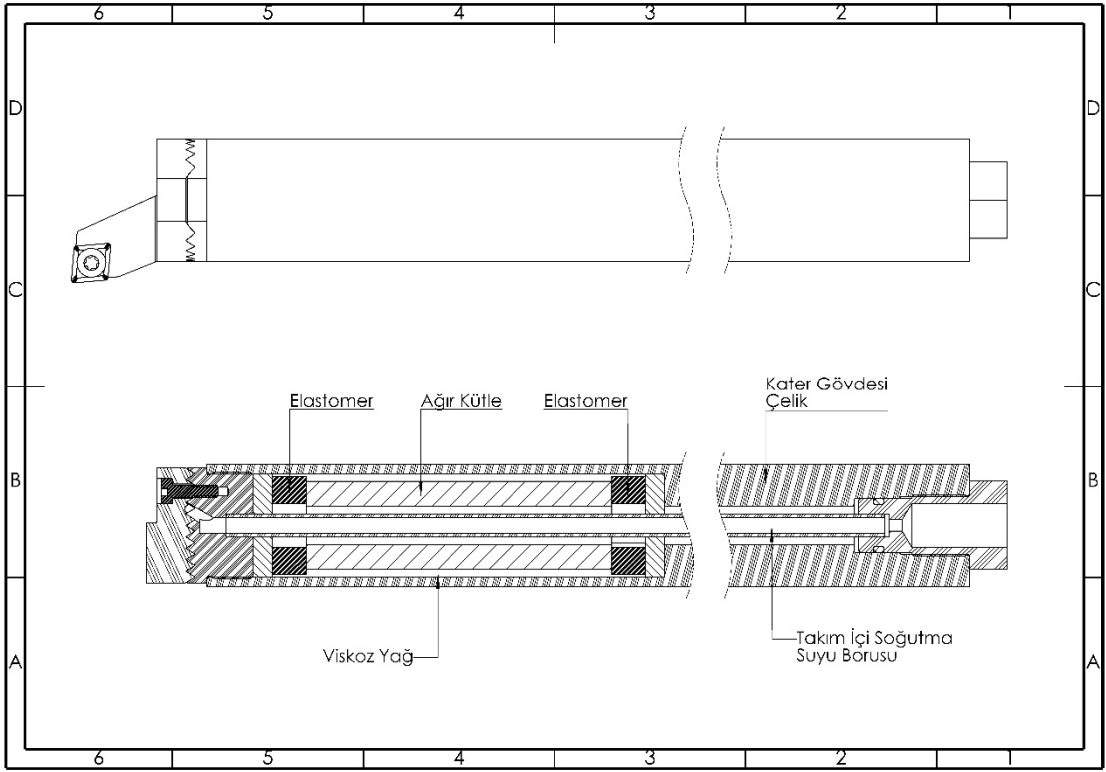


Şekil 3. 10. Sönümlenme sistemi olmayan katerin z yönündeki Frekans Tepki Fonksiyonu – Gerçek Kısım



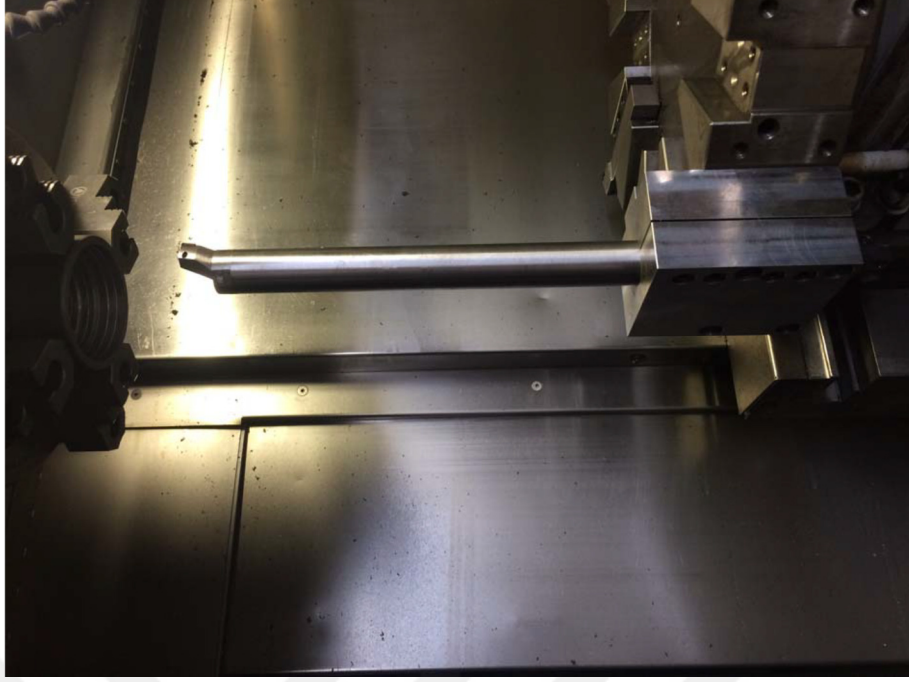
Şekil 3. 11. Anti-Vibrasyon katerin z yönündeki Frekans Tepki Fonksiyonu – Gerçek Kısım

Yapılan tasarım ve analiz çalışmalarının sonucunda üretilen katerin resimleri aşağıda verilmiştir. Şekil 3.12’de yer alan katerin kesit görünümünde yapılan analitik ve deneysel çalışmalar sonucu belirlenen elastomer malzeme ve yardımcı ağır kütle görünmektedir.

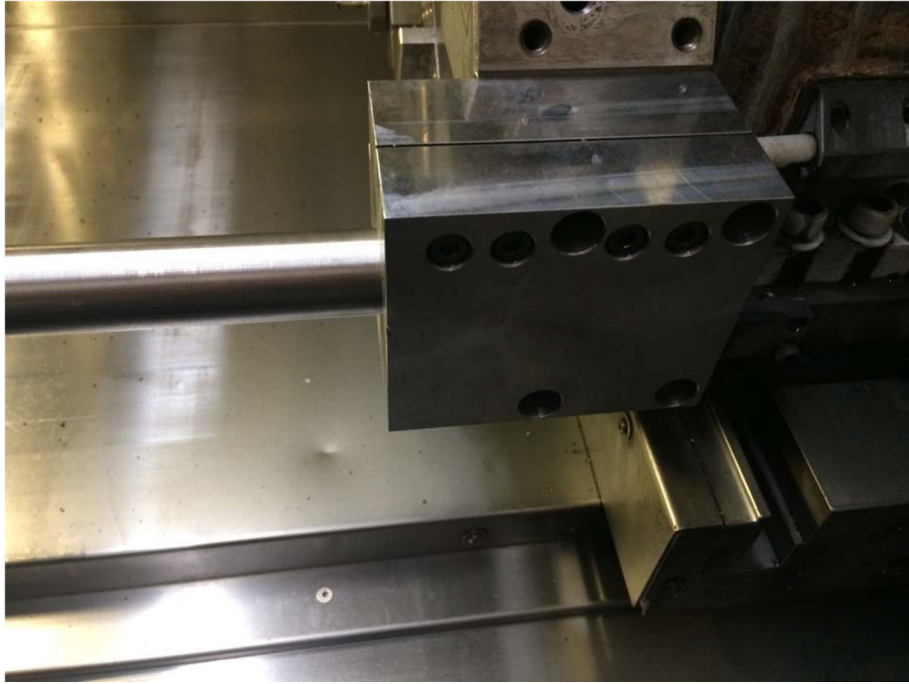


Şekil 3. 12. Anti-Vibrasyon katerin kesit görünümü

Şekil 3.13.'de anti vibrasyon katerin cnc torna tezgahına nasıl bağlandığı gösterilmiştir. Şekil 3.14'de ise özel olarak üretilen takım tutucu gösterilmektedir. Bu tutucu, kateri 360° klemleme kuvveti ile sıkacak şekilde tasarlanmış ve üretilmiştir.



Şekil 3. 13. Anti-Vibrasyon Katerin CNC Torna tezgahına bağlanması



Şekil 3.14. CNC Taret Ölçülerine Göre Yapılmış ve İçten Su verme Özelliğine Sahip Takım Tutucu



Şekil 3.15. Kater Kesme Kafası, Kesici uç ve İş parçası

Şekil 3. 15’de ise, modüler bir yapısı olan ve kesici ucu taşıyan kesme kafası (kesici uç tutucu) bulunmaktadır. Kater gövdesine tırtıklı bir yüzey vasıtasıyla bağlanarak rijit bir bağlantı sağlanmıştır. Farklı kesici uçlar taşıyan kesme kafaları aynı gövdeye bağlanabilmektedir.

Uzun boyda işleme yapıldığında talaş tahliyesi kritik bir öneme sahip olmaktadır, bu yüzden katerler içten su verme özelliğine sahiptir ve kesme sıvısı kesme köşesine tam isabet edecek şekilde tasarlanmıştır.

Kater gövdesinin ve kesme kafasının malzeme kalitesi alaşımli 42CrMo4+QT çeliğidir. 415 MPa akma dayanımına ve 30 HRC sertliğe sahip bu malzeme, kater gövdesinin rijitliğini sağlamaktadır. Daha rijit bir yapı sağlanabilmesi için tungsten karbür malzemeler kullanılabilir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4 ayrı kesici takım ile yapılan delik içi tornalama operasyonunun sonucunda ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri aşağıda verilmiştir.

Tornalanan iç yüzeyler takım ilerlemesi yani aksel doğrultu yönünde yüzey pürüzlülük ölçümü yapılmıştır. Yüzey pürüzlülük parametresi olarak DIN EN ISO 4287 standartında Ra Ortalama yüzey pürüzlülük, Rz Maksimum Pürüzlülük Derinliği, Rz ve Rq Kuadratik Ortalama Pürüzlülük değerleri kullanılmış istatistiksel analizlerde sadece Ra ve Rz değerlerine yer verilmiştir.

Çizelge 4. 1. Deney 1 Yüzey Pürüzlülük Sonuçları

Test No	ap(mm)	Vc(m/dk)	fn(mm/dev)	Rz (µm)	Ra(µm)
1	1,5	120	0,2	5,9	1,9
2	1,5	140	0,24	7,8	2,5
3	1,5	160	0,28	8,75	2,8
4	2	120	0,24	6,75	2,2
5	2	140	0,28	7,9	2,55
6	2	160	0,2	4,7	1,5
7	2,5	120	0,28	7,5	2,5
8	2,5	140	0,2	4,65	1,5
9	2,5	160	0,24	6	1,95

Çizelge 4. 2. Deney 2 Yüzey Pürüzlülük Sonuçları

Test No	ap(mm)	Vc(m/dk)	fn(mm/dev)	Rz (µm)	Ra(µm)
10	0,5	200	0,05	1,3	0,42
11	0,5	225	0,075	2,65	0,86
12	0,5	250	0,1	3,87	1,25
13	0,75	200	0,075	2,77	0,9
14	0,75	225	0,1	3,93	1,27
15	0,75	250	0,05	1,62	0,52
16	1	200	0,1	4,3	1,39
17	1	225	0,05	1,77	0,57
18	1	250	0,075	2,88	0,94

Çizelge 4. 3. Deney 3 Yüzey Pürüzlülük Sonuçları

Test No	Takım	L/D	Kesici Uç	Opr.Türü	ap(mm)	Vc(m/dk)	fn(mm/dev)
19	S32 448	10	CCMT 09T304	Finiş	0,5	200	0,05
YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜMÜ YAPILAMADI							

Çizelge 4. 4. Deney 4 Yüzey Pürüzlülük Sonuçları

Test No	ap(mm)	Vc(m/dk)	fn(mm/dev)	Rz (µm)	Ra(µm)
20	0,5	200	0,05	9,69	1,99
21	0,5	225	0,075	9,25	2,12
22	0,5	250	0,1	11,47	2,21
23	0,75	200	0,075	6,08	1,28
24	0,75	225	0,1	13,72	2,52
25	0,75	250	0,05	13,5	3,24
26	1	200	0,1	6,75	1,3
27	1	225	0,05	15,59	3,72
28	1	250	0,075	5,89	1,12

Yukarıda verilen sonuçlar üzerinden yapılan yüzey pürüzlülük analiz çalışması aşağıda verilmiştir.

-Yüzey Pürüzlülük Analizi

Deneylerde elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri Taguchi ve Varyans analiz yöntemleri ile analiz edilmiş ve ara değerlerin hesaplanabilmesi ve yapılmayan deneylerin tahmini için regresyon analizi yapılmıştır. Taguchi yönteminde cevap tablosu ve grafiğinin elde edilmesi için aşağıdaki “ en küçük en iyi” formülü kullanılmıştır.

$$\frac{S}{N} = -10 \log \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (4.1)$$

Aşağıda ilk deneyin sonuçlarından görüleceği üzere varyans analizi $\alpha=0.95$ yani % 95 güven aralığında yapılmıştır. Varyans analizinde her bir bağımsız değişkenin yani talaş derinliği, kesme hızı ve ilerleme değerinin sonuca ne kadar etki ettiği (%katkı) olarak belirlenmiştir.

F değeri ne kadar büyükse, grup araçları arasındaki nispi varyans da o kadar büyük olur. P değeri bir karşılaştırmada “istatistiksel anlamlı fark vardır” kararı vereceğimiz zaman yapacağımız olası hata miktarını gösterir. Ünlü bir istatistikçi olan Fisher tarafından bu hatanın maksimum kabul edilebilir düzeyi 0,05 olarak önerilmiş ve kabul görmüştür. Bir test sonucunda bulunan P değeri 0,05'in altında bir değer ise karşılaştırma sonucunda anlamlı farklılık bulunduğu anlamına gelir (www. p005. net). Yapılan bu çalışmada bir hipotezden ziyade sayısal girdilerin sonuç üzerine etkisi incelendiğinden p değerinin üzerinde çok durulmamıştır. P değerinin 0,05 den küçük çıkması o parametrenin sonuç üzerinde ciddi etkisinin olduğu kaçınılmaz bir gerçektir.

-Deney 1 Rz Sonuçları Yüzey Pürüzlülük Analizi

Çizelge 4. 5. Deney 1 Rz için Varyans Analizi

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P	% Katkı
ap	2	3,28	1,64	159,68	0,00	19,52
Vc	2	0,15	0,07	7,24	0,12	0,88
fn	2	13,36	6,68	650,05	0,00	79,47
Residual Error	2	0,02	0,01			
Total	8	16,81		$R^2 = \% 99,87$		

Çizelge 4. 5 incelendiğinde Rz yüzey pürüzlülük parametresi üzerinde en önemli parametrenin fn ilerleme olduğu görülmektedir. Yaklaşık %79,47 ile sonuç üzerinde etkili olan parametredir. Talaş derinliğinin etkisi %19,5 iken kesme hızının sonuç üzerinde neredeyse hiç etki yoktur. Sonuçların doğruluğu R^2 ise %99,87 şeklindedir.

Bu takım için yapılan taguchi analizine ait S/N tablosu ve ortalama tablosu aşağıda Çizelge 4.6. ve 4.7'de verilmiştir. Aynı tabloların grafiksel gösterimi ise şekil 4. 3. a-b'de verilmiştir.

Çizelge 4. 6. Deney 1 Rz için S/N Tablosu

Seviye	ap	Vc	fn
1	-17,37	-16,50	-14,07*
2	-15,99	-16,38	-16,66
3	-15,47*	-15,95*	-18,10
Delta	1,90	0,55	4,03
Rank	2	3	1
Level 331 için Tahminen Hesaplanan Rz: 4,43			

Çizelge 4. 7. Deney 1 Rz için Ortalama Tablosu

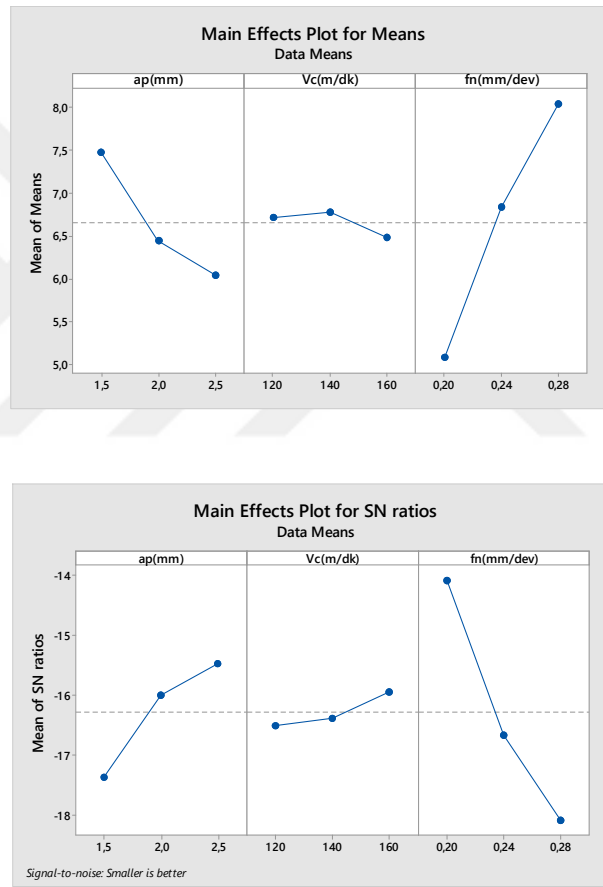
Seviye	ap	Vc	fn
1	7,48	6,71	5,08
2	6,45	6,78	6,85
3	6,05	6,48	8,05
Delta	1,43	0,30	2,97
Rank	2	3	1

S/N tablosunda en büyük değerlerin olduğu seviyeler deney sonuçlarını minimize eden seviyeler olarak karşımıza çıkmaktadır. Tabloda belirtilen Rank değeri ise sonuç üzerindeki etki sıralamasını göstermektedir. Buna göre; tabloda * ile belirtilen, talaş derinliği ap'nin 3. Seviyesi, kesme hızının 3. Seviyesi ve ilerleme hızı fn'nin 1. Seviyesi, yani 331 seviyeli deney sonucun minimum olarak beklendiği deney seviyesini ifade etmektedir. Rank sırası ise parameterlerin önem sırasını fn, ap ve Vc olduğunu göstermektedir. Taguchi deney tasarımına bakıldığında 331 deneyinin tasarlanan deneyler arasında olmadığı ve dolayısı ile yapılmadığını görmekteyiz. Burada yapılması gereken doğrulama deneyi ile de seviyenin gerçekten en düşük sonucu verip vermeyeceğinin doğrulanmasıdır. Taguchi formülasyonundaki (Formül 4. 1.) tersden hesaplanarak S/N gürültü değerinden yapılmayan bu deney sonucu tahmin edilebilir. Bu hesaplama işlemi için Formül 4. 1.'in tersten yürütülmesi için gürültü (n_{opt}) değerinin bulunması gerekmekte olup, (n_{opt}) değeri aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$\eta_{opt} = \eta_m + \sum_{j=1}^k (\eta_j - \eta_m) \quad (4.2)$$

Bu formülle elde edilen gürültü değeri Formül 4. 1. 'de yerine konularak sinyal değeri elde edilebilir. Hesaplamalar neticesinde 331 seviyesinde hesaplanan yüzey pürüzlülük değeri 4,43 μm olarak hesaplanmıştır. Daha sonra bu seviyedeki doğrulama deneyi yapılarak elde edilen deneysel R_z değeri ise 4,34 olarak ölçülmüştür.

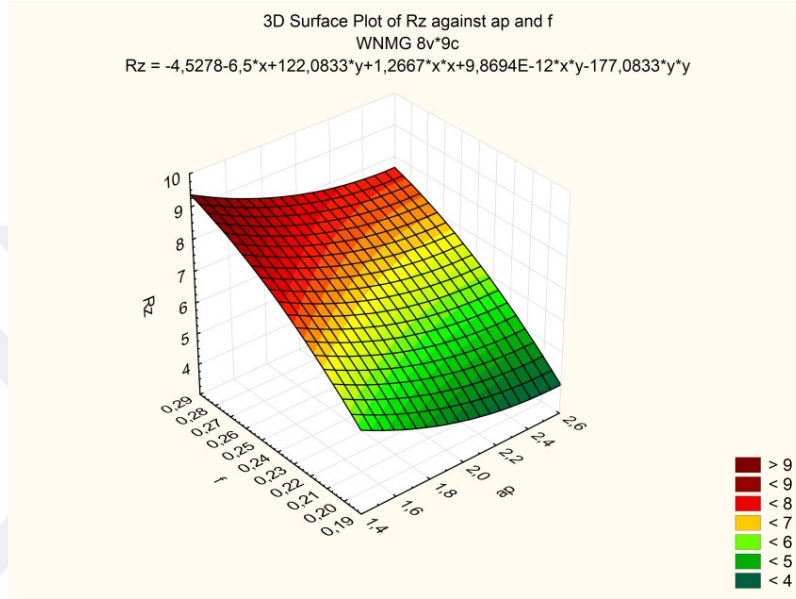
Şekil 4. 1'deki grafikler incelendiğinde ortalama çizgisine göre daha dik konumda olan fn ve ap 'nin sonuç üzerinde daha etkili olduğunu görmekteyiz. Ortalama çizgisine göre daha yatay olan Vc parametresinin sonucu çok fazla etkilemediği sonucuna ulaşabilmekteyiz.



Şekil 4. 1. Deney 1 R_z için a) Ortalamalara ve b) S/N Ait Taguchi Etki Grafiği

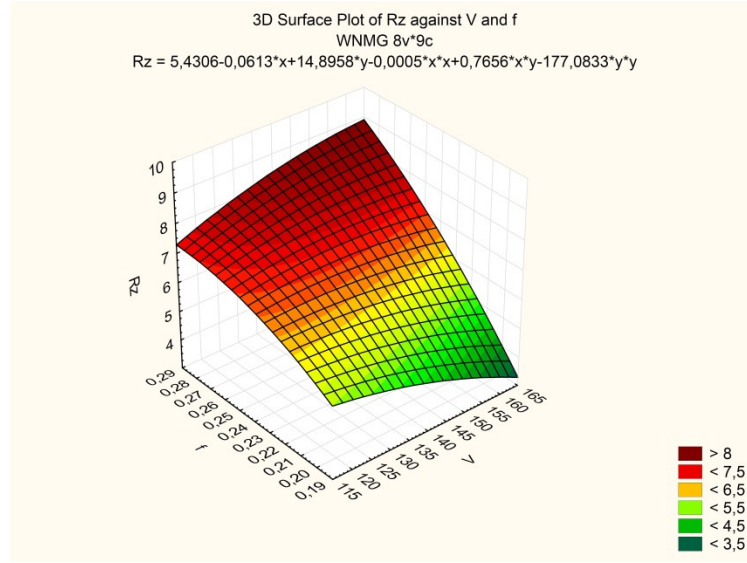
Aşağıda deney 1'de kullanılan takıma ait iki adet yüzey grafiği verilmiştir. Bu grafiklerde değişkenlerin birlikte sonucu nasıl etkilediği gösterilmeye çalışılmaktadır. Örneğin; ilerleme hızı değiştiğinde, talaş derinliğinin artırılıp azaltılması yada, ilerleme hızı değişince kesme hızının değiştirilmesi sonucu nasıl değiştirmektedir gibi sorulara bu grafiklerle yanıt bulunabilmektedir.

Şekil 4. 2’de yüzey grafiği incelendiğinde ilerleme hızının azaltılması sonucu Rz değerinin çok hızlı bir şekilde azalmakta iken talaş derinliğinin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün azalması daha yavaş gerçekleşmektedir. Yine grafiğe göre en düşük yüzey pürüzlülüğünün en düşük ilerleme ve en yüksek talaş derinliğinde ortaya çıkacağını görülmektedir.



Şekil 4. 2. Deney 1 Rz parametresinin ap ve f ile değişimi

Şekil 4.3. incelendiğinde ilerleme artışının yine sonucu çok hızlı etkilediği ve yüksek kesme hızlarında bu etkinin daha da çok arttığı söylenebilir. En düşük Rz değerlerinin düşük ilerleme ve yüksek kesme hızlarında elde edildiğini görmekteyiz. Yüksek ilerleme değerlerinde kesme hızının artışıyla Rz değerlerinin arttığını görmekteyiz. Bunun sebebi yüksek ilerleme ve kesme hızıyla artan titreşimlere bağlanmıştır.

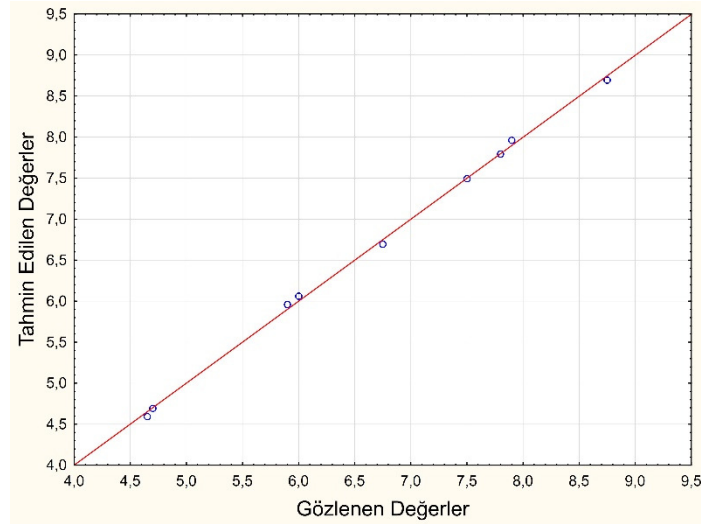


Şekil 4. 3. Deney 1 Rz parametresinin V ve f ile değişimi

Sonuçlar üzerinde yapılan regresyon analizi ile yapılmayan deney sonuçları veya ara değerler için sonuçlar hesaplanabilmektedir. Bu amaçla 3. Dereceden polinom modeli uygulanması düşünülmüştü. 3. Derece modellerde 3. Dereceden katsayılar sıfır çıkmıştır. Bu sebeple 2. Derece modelin bu modeli rahatlıkla karşıladığı görülerek modeller 2. Dereceden oluşturulmuştur. Aşağıda denklem 4.1.'de bu takıma ait regresyon modeli görülmektedir.

$$Rz = -12,572222 - 6,5000000 * ap + 1,26666667 * ap^2 + 0,122500000 * V - 0,458333E-3 * V^2 + 122,083333 * f - 177,08333 * f^2 \quad (R^2: 0,998) \quad (4.1)$$

Yukarıdaki denklem kullanılarak daha önce taguchide hesaplanan 331 deneyinin tahmini değeri 4,29 µm olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç yine deneyde bulunan 4,34 µm değerine oldukça yakın bir değerdir. Hesaplanan değerler ile deneysel sonuçların karşılaştırılması aşağıda tahmin edilen “değerler-gözlenen değerler” tablosunda verilmiştir. Her iki değer üst üste tam çizgi üzerine yakın olması kurulan regresyon modelinin son derece doğru sonuçlar verdiğini ifade etmektedir.



Şekil 4. 4. Deney 1 Rz için Regresyon Analizi

-Deney 1 Ra Sonuçları Yüzey Pürüzlülük Analizi

Aynı deney parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü Ra üzerine etkisi incelendiğinde benzer sonuçlar elde edilmiştir. S/N tabloları ve taguchi grafikleri incelendiğinde Rz 'de belirtilen benzer etkilerin görüldüğü anlaşılmaktadır. Varyans analizine bakıldığında ise sonuç üzerinde en etkili parametrenin %82,55 ile fn olduğu daha sonra ise %15,95 ile talaş derinliğinin geldiği görülmektedir.

Çizelge 4. 8. Deney 1 Ra için Varyans Analizi

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P	% Katkı
ap	2	0,28	0,14	127,75	0,00	15,95
Vc	2	0,02	0,01	10,75	0,08	1,34
fn	2	1,46	0,73	660,25	0,00	82,55
Residual Error	2	0,00	0,00			
Total	8	1,77		$R^2 = \% 99,87$		

Yine sonuç üzerine etki rank sıralamasının fn , ap ve Vc şeklinde olduğu, en düşük Ra değerini verecek deney seviyesinin yine 331 olduğu görülmüştür. Bu doğrulama deneyi ile elde edilen Ra yüzey pürüzlülük değerinin $1,39 \mu m$ olduğu ve bu

değerin formül 1 ve formül 2 ile tersten hesaplanması ile elde edilen sonucun $1,43 \mu\text{m}$ olduğu görülmüştür. Buna bağlı olarak taguchi deney tasarımı ve analizinin deney sayılarını ciddi şekilde azalttığını ve hesaplanan Ra değeri ile doğrulama deneyinden elde edilen sonucun birbirine oldukça yakın olduğunu görmekteyiz.

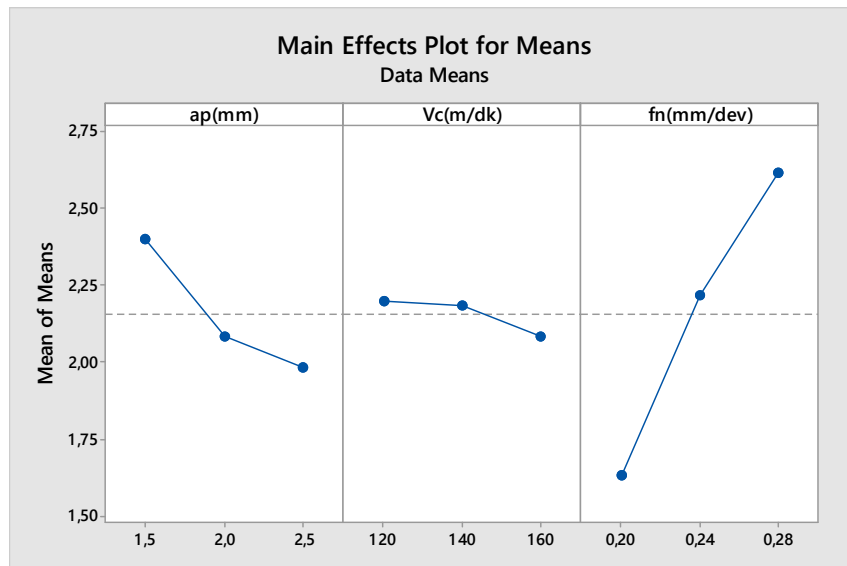
Çizelge 4.9. Deney 1 Ra için S/N Tablosu

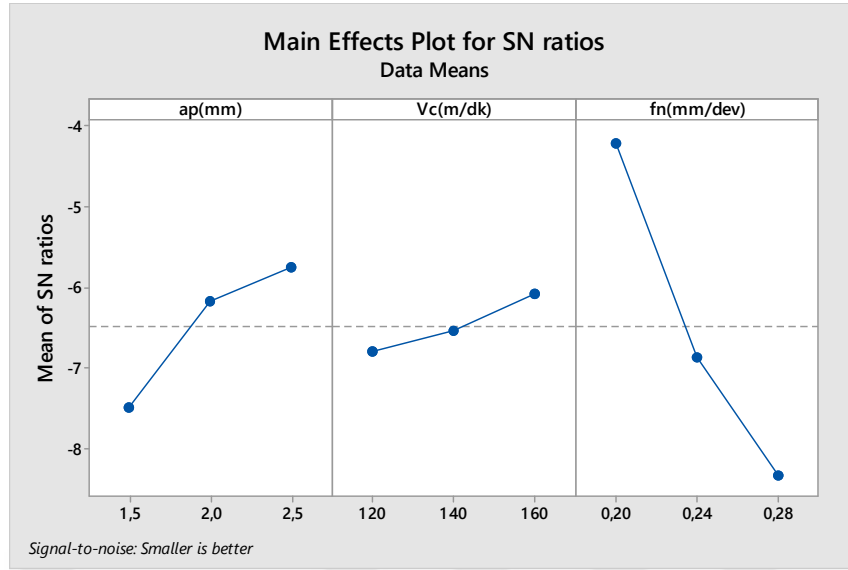
Seviye	ap	Vc	fn
1	-7,49	-6,79	-4,21*
2	-6,17	-6,54	-6,87
3	-5,76*	-6,09*	-8,34
Delta	1,73	0,71	4,14
Rank	2	3	1
Level 331 için Tahminen Hesaplanan Ra : 1,43			

Çizelge 4. 10. Deney1 Ra için Ortalama Tablosu

Seviye	ap	Vc	fn
1	2,40	2,20	1,63
2	2,08	2,18	2,22
3	1,98	2,08	2,62
Delta	0,42	0,12	0,98
Rank	2	3	1

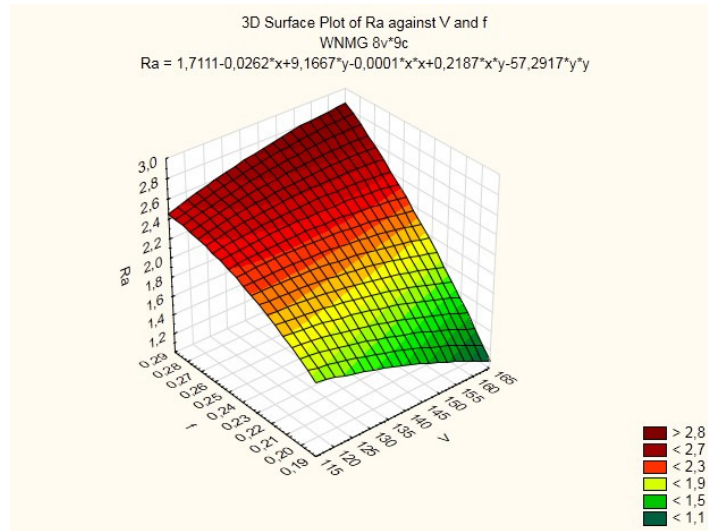
Aşağıda verilen Taguchi grafik eğimlerinden yine sonuca etki eden en önemli değişkenin ortalama çizgisine en dik olan fn , ilerleme olduğunu görmekteyiz.

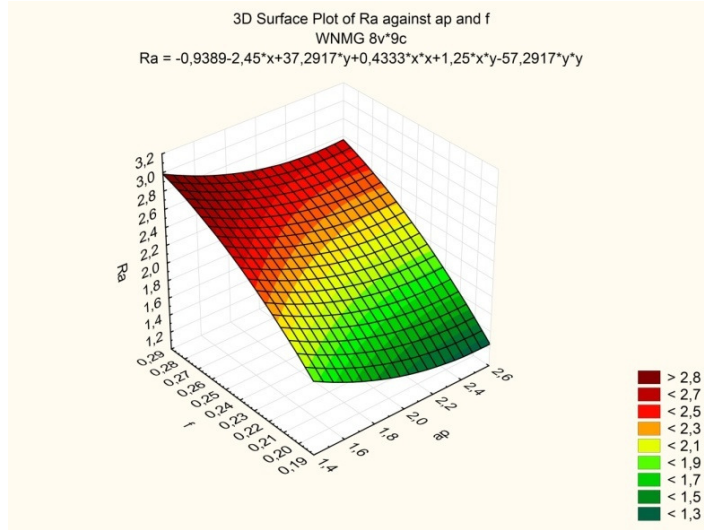




Şekil 4. 5. Deney 1 Ra için a) Ortalamalara ve b) S/N Ait Taguchi Etki Grafiği

3 boyutlu yüzey grafiklerine baktığımız zaman düşük ilerleme ve yüksek kesme hızının Ra değerini düşürdüğünü ve yine düşük ilerleme ve yüksek talaş derinliğinin Ra değerini düşürdüğünü görmekteyiz.



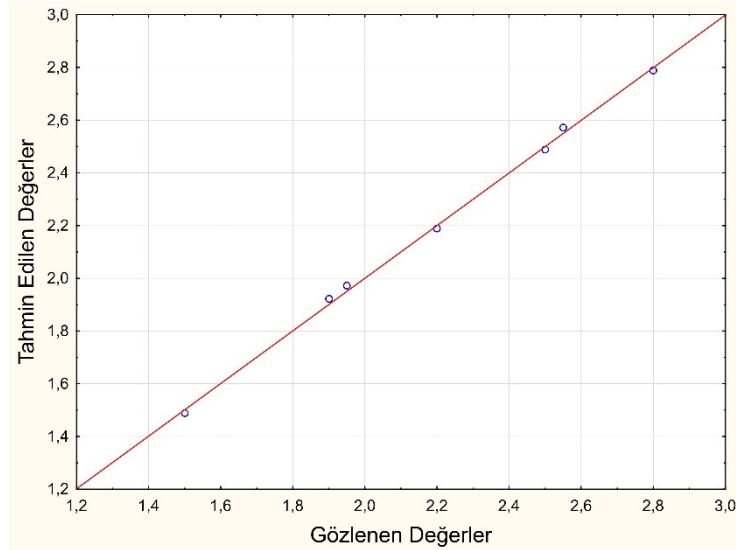


Şekil 4. 6. Deney 1 Ra parametresinin a) f_n ve V_c b) f_n ve a_p ile değişimi

2. derece Regresyon modeli bu yüzey pürüzlülük değerine uygulandığında aşağıdaki model elde edilmiştir.

$$Ra = -3,1444444 - 2,1500000 \cdot a_p + 4,3333333 \cdot a_p^2 - 0,26250000 \cdot V_c - 10,417E-3 \cdot V_c^2 + 39,7916667 \cdot f_n - 57,291667 \cdot f_n^2 \quad (R^2 = 0,99) \quad (4.2.)$$

Matematiksel modelin doğruluğunu gösteren gözlenen ve hesaplanan değerler grafiği ise aşağıda şekil 4.7.'de verilmiştir. R_z değerinde olduğu gibi R_a değerinde de kurulan matematiksel modelin oldukça sağlıklı sonuç verdiğini görmekteyiz.



Şekil 4. 7. Deney 1 R_a için Regresyon Analizi

-Deney 2 R_z Sonuçları Yüzey Pürüzlülük Analizi

Yukarıda sonuçları verilen 1. deneyde 9 ayrı test yapılmış ve bu testlerde kaba operasyon yapılmıştır. Aşağıda sonuçları verilecek 2. deneyde ise S25 SDUCR kesici takım ve DCMT 11T304 kesici uç ile 9 test yapılmış ve bu testlerde finiş operasyon yapılmıştır.

Bu takım ile yapılan işlemenin yüzey pürüzlülüğü analizinde R_z parametrelerine Çizelge 4.11.'de baktığımız zaman yine en etkili sonucun % 97,33 ile ilerleme f_n olduğu görülmektedir. Burada talaş derinliği a_p 'nin etkisi 2,27 iken kesme hızının etkisinin hiç olmadığı görülmektedir. Yapılan bu deneyin doğruluk oranı ise %99,61'dir.

Çizelge 4. 11. Deney 2 R_z için Varyans Analizi

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P	% Katkı
a_p	2	0,21	0,11	5,88	0,15	2,27
V_c	2	0,00	0,00	0,00	0,1	0,00
f_n	2	9,15	4,58	251,77	0,01	97,33
Residual Error	2	0,04	0,02			
Total	8	9,40		$R^2 = \% 99,61$		

Taguchi analizine baktığımız zaman sonuç üzerinde en etkili parametrenin rank seviyesine bakarak 1. parametre olan ilerleme fn olduğu görülmektedir. Yine bu tabloya bakarak * ile belirtilen değerlerde tüm girdi parametreleri 1. seviyede sırasıyla -7,5, -7,93 ve -3, 81 değerlerini vermektedir ve Level 111 deneyi en küçük sonucu vermiştir. Taguchi tablosundan görüleceği üzere, bu deney seviyesinde test yapılmıştır ve ekstra doğrulamaya gerek yoktur.

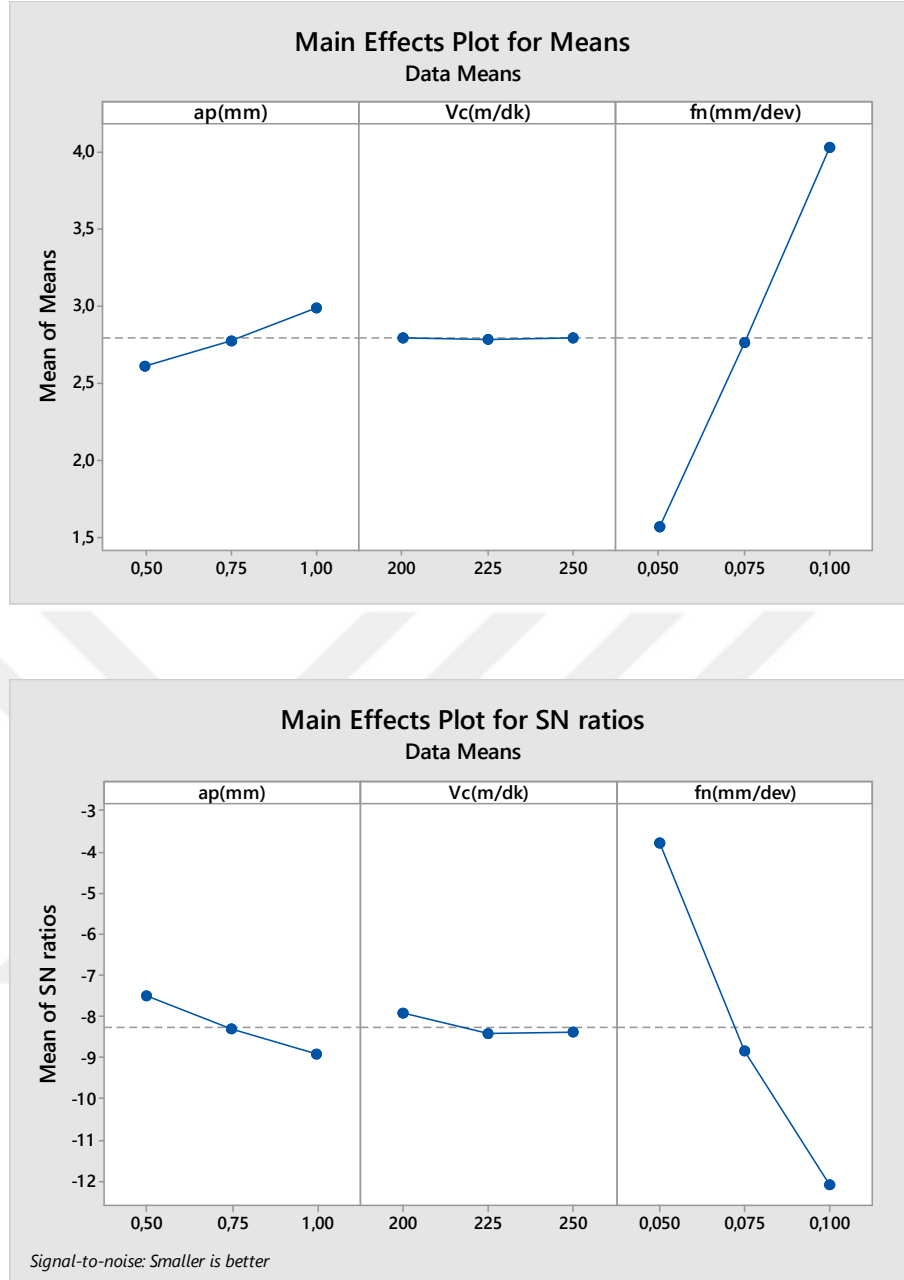
Çizelge 4. 12. Deney 2 Rz için S/N Tablosu

Seviye	ap	Vc	fn
1	-7,5*	-7,94*	-3,81*
2	-8,31	-8,44	-8,83
3	-8,94	-8,38	-12,10
Delta	1,44	0,51	8,3
Rank	2	3	1
Level 111 deneyi yapıldığı için, doğrulamaya gerek yoktur			

Çizelge 4. 13. Deney 2 Rz için Ortalama Tablosu

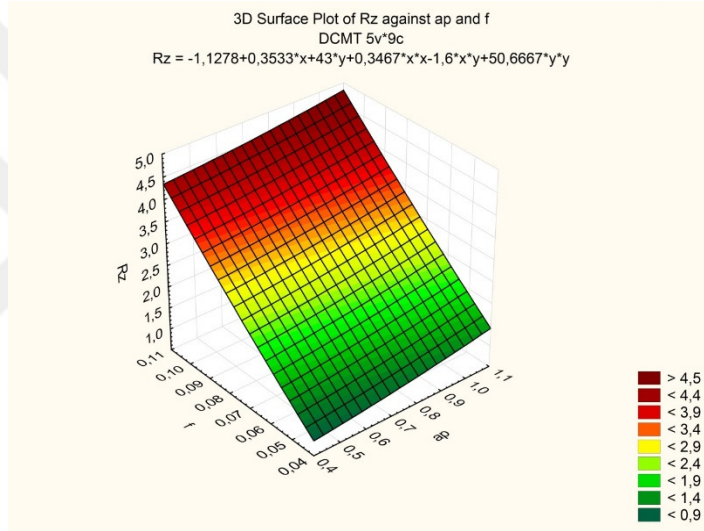
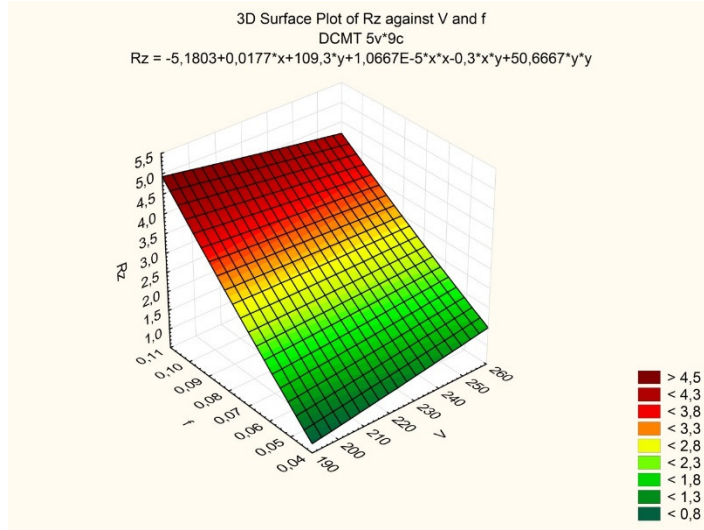
Seviye	ap	Vc	fn
1	2,40	2,20	1,63
2	2,08	2,18	2,22
3	1,98	2,08	2,62
Delta	0,42	0,12	0,98
Rank	2	3	1

Aşağıda yer alan etki grafiklerine baktığımız zaman kesme hızı Vc parametresinin Rz yüzey pürüzlülüğü üzerinde hiçbir etkisi olmadığını düz çizgi ile görebilmekteyiz. Aynı şekilde Rz parametresinin değeri, ap değeri değiştikçe çok az değişirken, fn değeri değiştikçe ciddi bir şekilde değiştiği görülebilmektedir.



Şekil 4. 8. Deney 2 Rz için a) Ortalamalara ve b) S/N Ait Taguchi Etki Grafiği

Şekil 4. 9.'da yer alan 3 boyutlu yüzey grafiklerine baktığımız zaman, ilerleme azaldıkça Rz parametresinin azaldığı görülmektedir. Talaş derinliği ile Rz değişimi lineer bir etki gösterirken, değişim ciddi seviyelerde değildir. Vc ile Rz arasında görüldüğü üzere gözle görülen bir bağlantı yoktur.

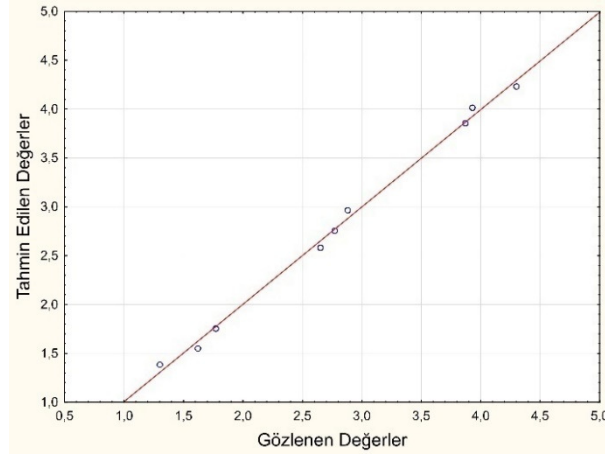


Şekil 4. 9. Deney 2 Rz parametresinin a) fn ve Vc b) fn ve ap ile Değişimi

2. derece Regresyon modeli bu yüzey pürüzlülük değerine uygulandığında aşağıdaki model elde edilmiştir.

$$Rz = -5,022222 + 0,23333333*ap + 0,34666667*ap^2 - 0,00480000*V + 1,06667E-4 *V^2 + 41,800000*f + 50,666667*f^2 \quad (R^2=0,99) \quad (4.3.)$$

Matematiksel modelin doğruluğunu gösteren gözlenen ve hesaplanan değerler grafiği ise aşağıda şekil 4.10.'da verilmiştir. Deney 1'de olduğu gibi bu deneyde de Rz değeri için kurulan matematiksel modelin oldukça sağlıklı sonuç verdiğini görmekteyiz.



Şekil 4.10. Deney 2 Rz için Regresyon Analizi

-Deney 2 Ra Sonuçları Yüzey Pürüzlülük Analizi

Aynı takım ile yapılan deneyin Ra parametrelerinde en etkili sonuç yine ilerleme fn'dir. Yapılan bu deneyin doğruluk oranı ise %99,65 oranındadır.

Çizelge 4. 14. Deney 2 Ra için Varyans Analizi

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P	% Katkı
ap	2	0,02	0,01	6,84	0,13	2,32
Vc	2	0,00	0,00	0,01	0,1	0
fn	2	0,96	0,48	286,10	0	97,33
Residual Error	2	0,00	0,00			
Total	8	0,99		R ² = % 99,65		

Taguchi analizine baktığımız zaman sonuç üzerinde en etkili parametrenin rank seviyesine bakarak 1. parametre olan ilerleme fn olduğu görülmektedir. Yine bu tabloya bakarak * ile belirtilen değerlerde tüm girdi parametreleri 1. seviyede sırasıyla 2,30, 1,86 ve 6,03 değerlerini vermektedir ve Level 111 deneyi en küçük sonucu vermiştir. Taguchi tablosundan görüleceği üzere, bu deney seviyesinde test yapılmıştır ve ekstra doğrulamaya gerek yoktur.

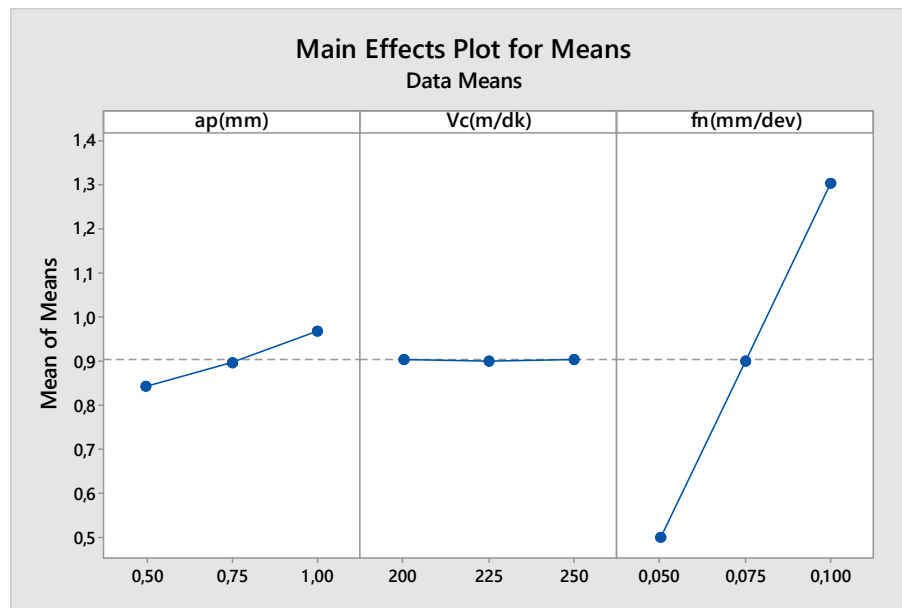
Çizelge 4. 15. Deneysel 2 Ra için S/N Tablosu

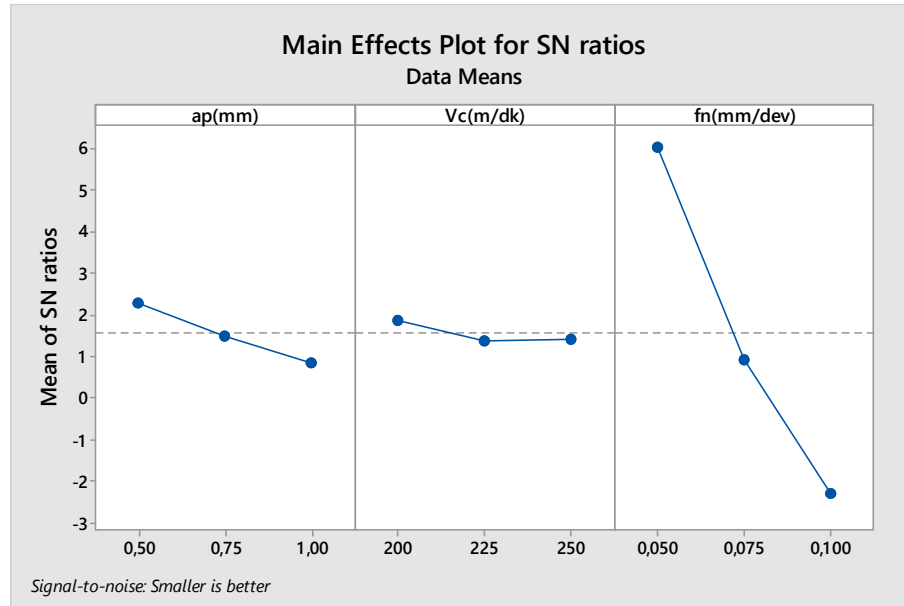
Seviye	ap	Vc	fn
1	2,30*	1,86*	6,03*
2	1,50	1,37	0,92
3	0,85	1,42	-2,29
Delta	1,45	0,49	8,32
Rank	2	3	1
Level 111 deneyi yapıldığı için, doğrulamaya gerek yoktur			

Çizelge 4. 16. Deneysel 2 Ra için Ortalama Tablosu

Seviye	ap	Vc	fn
1	0,84	0,90	0,50
2	0,90	0,90	0,90
3	0,97	0,90	1,30
Delta	0,12	0	0,80
Rank	2	3	1

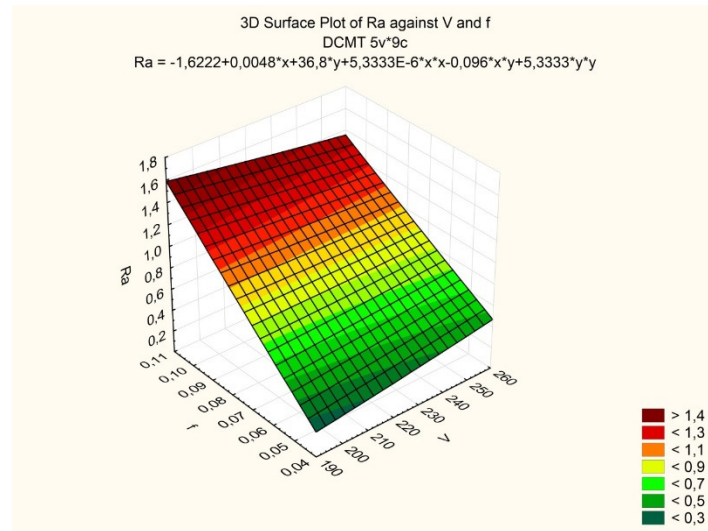
Aşağıda yer alan etki grafiklerine baktığımız zaman kesme hızı Vc parametresinin Ra yüzey pürüzlülüğü üzerinde hiçbir etkisi olmadığını düz çizgi ile görebilmekteyiz. Aynı şekilde Rz parametresinin değeri, ap değeri değiştiğinde çok az değişirken, fn değeri değiştiğinde ciddi bir şekilde değiştiği görülebilmektedir.

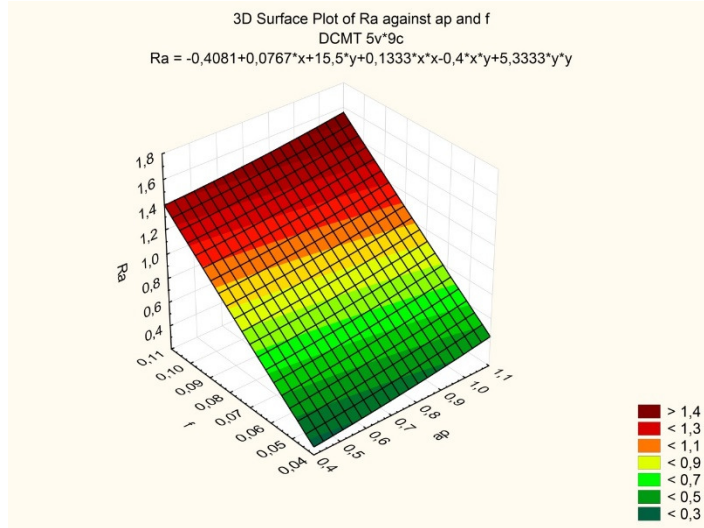




Şekil 4. 11. Deney 2 Ra için a) Ortalamalara ve b) S/N Ait Taguchi Etki Grafiği

Şekil 4. 12.'de yer alan 3 boyutlu yüzey grafiklerine baktığımız zaman, ilerleme azaldıkça Ra parametresinin azaldığı görülmektedir. Talaş derinliği ile Ra değişimi linear bir etki gösterirken, değişim ciddi seviyelerde değildir. Vc ile Ra arasında görüldüğü üzere gözle görülen bir bağlantı yoktur.



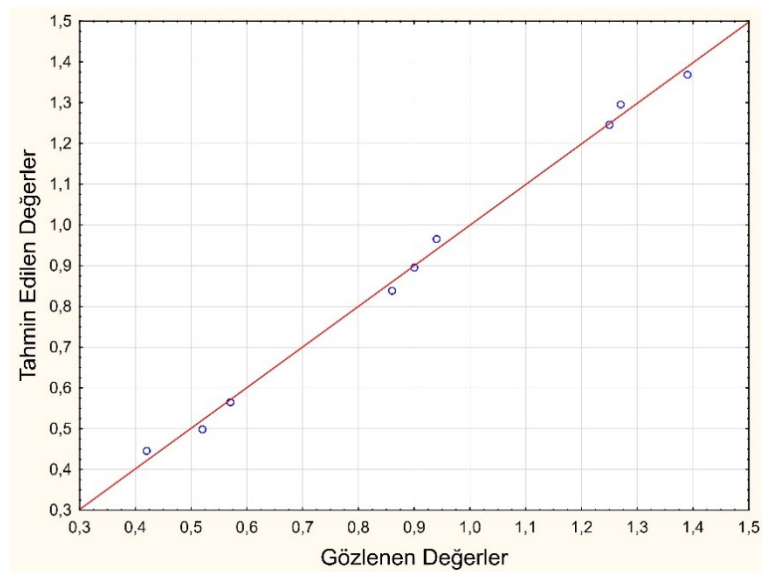


Şekil 4. 12. Deneş 2 Finaş Operasyonu Ra parametresinin a) fn ve Vc b) fn ve ap ile Değişimi

2. derece Regresyon modeli bu yzsey pürzlülük değerine uygulandığında aşağıdaki model elde edilmiştir.

$$Ra = -0,11777778 + 0,04666667 \cdot ap + 0,13333333 \cdot ap^2 - 0,00240000 \cdot V + 5,333333E-5 \cdot V^2 + 15,2000000 \cdot f + 5,33333333 \cdot f^2 \quad (R^2 = 0,99) \quad (4.4.)$$

Matematiksel modelin doğruluğunu gözlenen ve hesaplanan değerler grafiği ise aşağıda Şekil 4. 13.'de verilmiştir. Kurulan modelin doğruluğu açıkca görülmektedir.

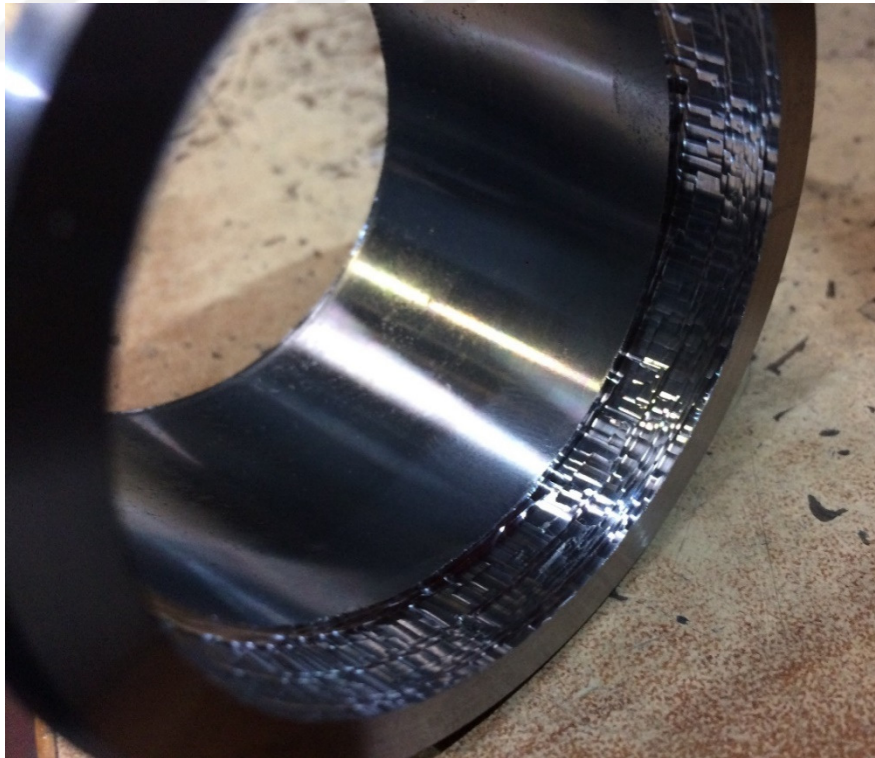


Şekil 4. 13. Deneş 2 Ra için Regresyon Analizi

-Deney 3 Sonuçları Yüzey Pürüzlülük Analizi

Yukarıda piyasada standart olarak satılan delik içi işleme katerleri ile yapılan deney sonuçları verilmiştir. Bu kısımda ise sarkma boyu olan 320 mm olan 32 mm çapında içerisinde sönümlenme sistemi olmayan kater ile içerisinde sönümlenme sistemi yer alan anti-vibrasyon katerin deney sonuçlarından elde edilen yüzey pürüzlülük analizleri verilecektir.

Deney 3 girdi parametrelerinde 32 mm çapında, 448 mm boyunda olan ve 320 mm sarkma boyunda bağlanan delik içi işleme kateri ile işleme yapılmıştır. Oluşan yüksek tırlamanın bir sonucu olarak sadece 15 mm boyda işleme yapılabilmiştir, çünkü artan tırlamanın ile katerin kırılma riski olacağı için işleme sonlandırılmıştır ve diğer girdi parametrelerinde işleme yapılmamıştır. Aşağıda bu takım ile işlenen iş parçası resmi yer almaktadır. Görüleceği üzere yüzeydeki bozukluklar oluşan tırlamanın bir sonucu olarak oldukça bozuk bir haldedir.



Şekil 4. 14. 32 mm çapında sönümlenme sistemi olmayan delik içi işleme kateri ile yapılan işlemenin sonucunda iş parçasında ortaya çıkan tırlama yüzeyi

-Deney 4 Rz Sonuçları Yüzey Pürüzlülük Analizi

Aynı ölçülerde ancak içinde sönümleme sistemi yer alan anti-vibrasyon delik içi işleme kateri ile yapılan deney sonuçlarının yüzey pürüzlülüğü Rz parametresinin varyans analizi Çizelge 4. 17.'de yer almaktadır.

Sonuçları incelediğimizde en etkili parametrelerin sırasıyla ilerleme, kesme hızı ve talaş derinliği olduğunu görüyoruz. Yapılan analizin doğruluk oranı ise %97'dir.

Çizelge 4. 17. Deney 4 Rz için Varyans Analizi

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P	% Katkı
ap	2	4,13	2,16	1,38	0,42	4,2
Vc	2	42,90	21,45	13,77	0,07	41,83
fn	2	52,23	26,11	16,77	0,06	50,92
Residual Error	2	3,12	1,56			
Total	8	102,56		R ² = % 97		

Taguchi analizine baktığımız zaman sonuç üzerinde en etkili parametrenin rank seviyesine bakarak 1. parametre olan ilerleme fn olduğu görülmektedir. * ile gösterilen değerler en küçük değerleri göstermektedir ve bu Level 312 deneyine denk gelmektedir. Bu deneyin girdi parametreleri ise talaş derinliği 1 mm, kesme hızı 200 m/dk ve ilerleme 0,075 mm/dev'dir. Dolayısıyla bu girdi parametrelerinde doğrulama testi yapılmış ve Rz değeri 4,55 olarak bulunmuştur.

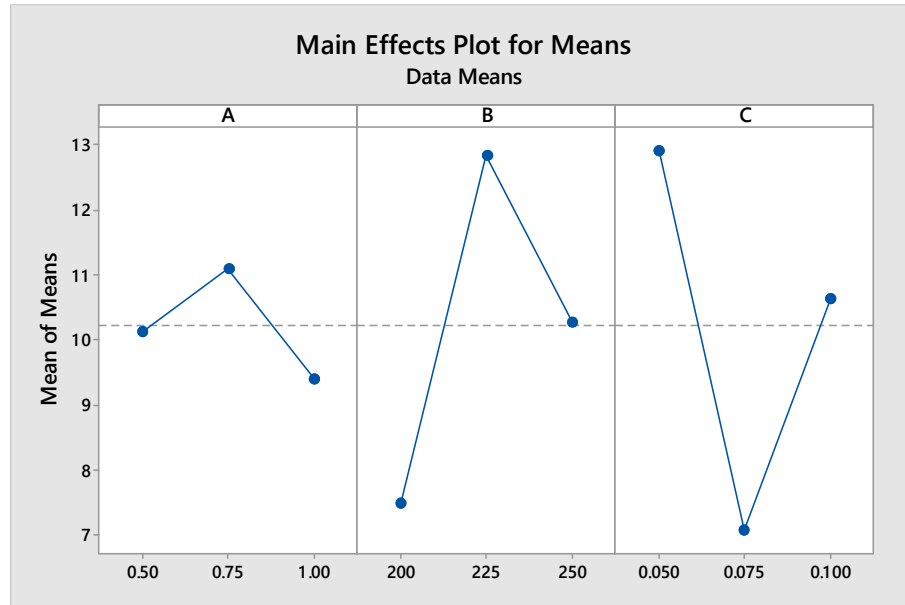
Çizelge 4. 18. Deney 4 Rz için S/N Tablosu

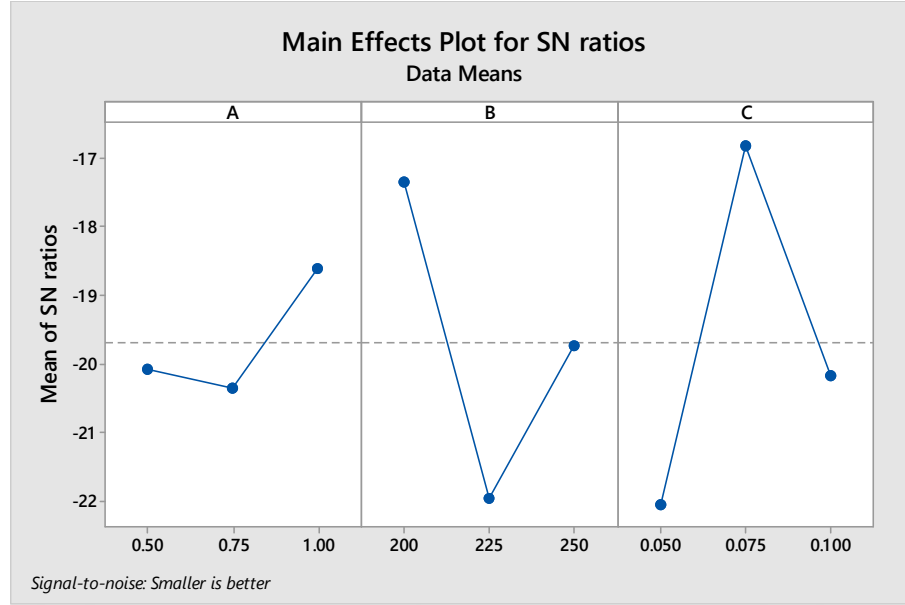
Seviye	ap	Vc	fn
1	-20,08	-17,33*	-22,06
2	-20,34	-21,98	-16,80*
3	-18,62*	-19,73	-20,17
Delta	1,73	4,65	5,26
Rank	3	2	1
Level 312 için Tahminen Hesaplanan Rz: 4,67			

Çizelge 4. 19. Deney 4 Rz için Ortalama Tablosu

Seviye	ap	Vc	fn
1	10,14	7,51	12,93
2	11,10	12,85	7,07
3	9,41	10,29	10,65
Delta	1,7	5,35	5,85
Rank	3	2	1

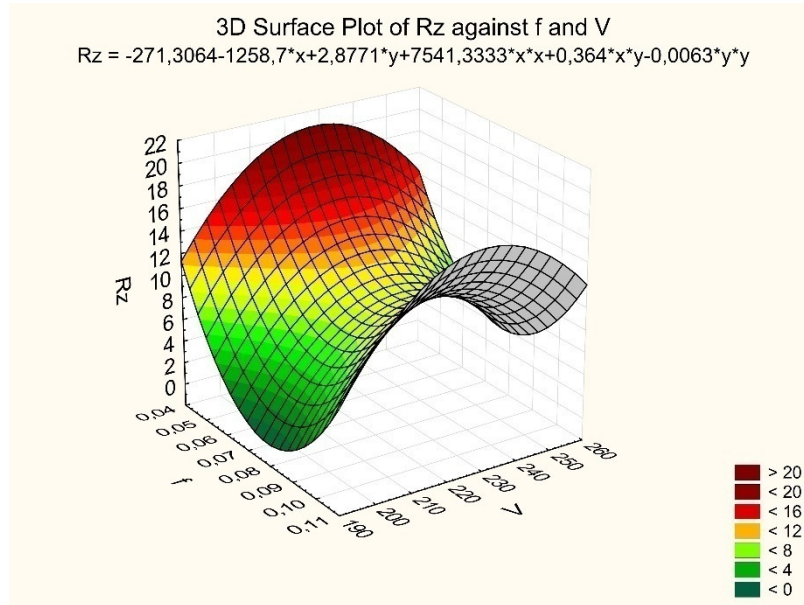
Aşağıda yer alan etki grafiklerine baktığımız zaman en etkili parametrenin C ile gösterilen ilerleme olduğu, sonrasında B ile gösterilen kesme hızı olduğu görülmektedir.

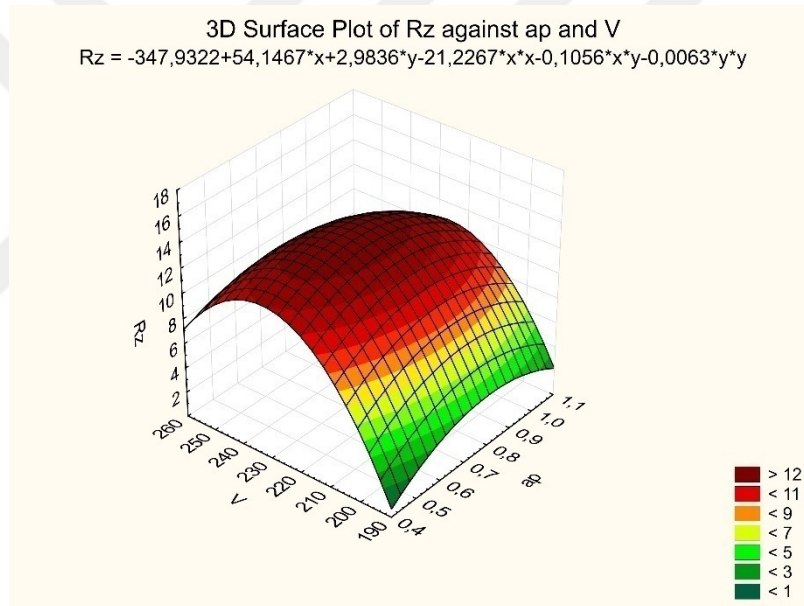
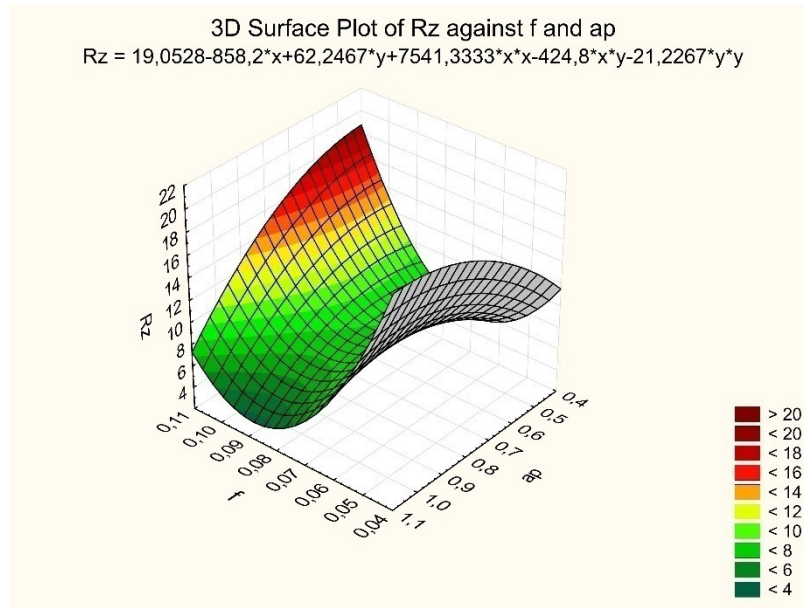




Şekil 4. 15. Deney 4 Rz için a) Ortalamalara ve b) S/N Ait Taguchi Etki Grafiği

Şekil 4. 16.'da yer alan 3 boyutlu yüzey grafiklerine baktığımız zaman, Rz ile girdi parametreleri arasında lineer bir ilişki olmadığı anlaşılmaktadır ancak en etkili parametrenin ilerleme olduğu görülmektedir.



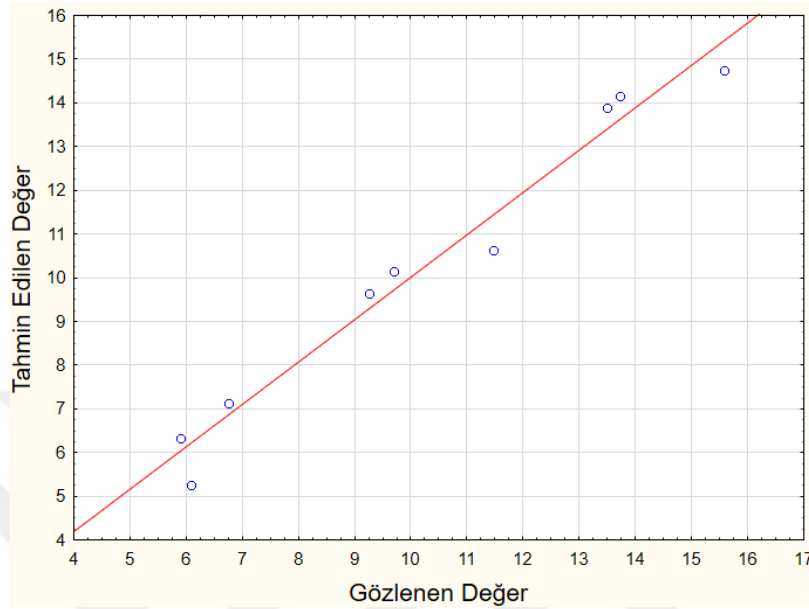


Şekil 4. 16. Deney 4 Rz parametresinin a) fn ve Vc b) fn ve ap c) ap ve Vc ile Değişimi

2. derece Regresyon modeli bu yüzey pürüzlülük değerine uygulandığında aşağıdaki model elde edilmiştir.

$$Rz = -287,41444 + 30,386667*ap - 21,226667*ap^2 + 2,90440000*V - 0,00633067*V^2 - 1176,8000*f + 7541,33333*f^2 \quad (4.5.)$$

Matematiksel modelin doğruluğunu gösteren gözlenen ve hesaplanan değerler grafiği ise aşağıda şekil 4. 17.'de verilmiştir. Kurulan model bazı noktalarda iyi sonuçlar verse de, bazı yerlerde doğruluk oranı düşmüştür.



Şekil 4. 17. Deney 4 Rz parametresi için Regresyon Analizi

-Deney 4 Ra Sonuçları Yüzey Pürüzlülük Analizi

Anti-vibrasyon ile yapılan deneylerin yüzey pürüzlülüğü analizinde Ra parametresine baktığımızda en etkili parametrelerin sırasıyla ilerleme, kesme hızı ve talaş derinliği olduğunu görüyoruz. Yapılan analizin doğruluk oranı ise %93,3'dür.

Çizelge 4. 20. Deney 4 Ra için Varyans Analizi

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P	% Katkı
ap	2	0,15	0,08	0,35	0,74	2,37
Vc	2	2,40	1,20	5,59	0,15	37,69
fn	2	3,38	1,69	7,88	0,11	53,18
Residual Error	2	0,43	0,22			
Total	8	6,36		R ² = % 93,3		

Taguchi analizine baktığımız zaman sonuç üzerinde en etkili parametrenin rank seviyesine bakarak 1. parametre olan ilerleme f_n olduğu görülmektedir. * ile gösterilen değerler en küçük değerleri göstermektedir ve bu Level 312 deneyine denk gelmektedir. Bu deneyin girdi parametreleri ise talaş derinliği 1 mm, kesme hızı 200 m/dk ve ilerleme 0,075 mm/dev'dir. Dolayısıyla bu girdi parametrelerinde doğrulama testi yapılmış ve Ra değeri 0,96 olarak bulunmuştur.

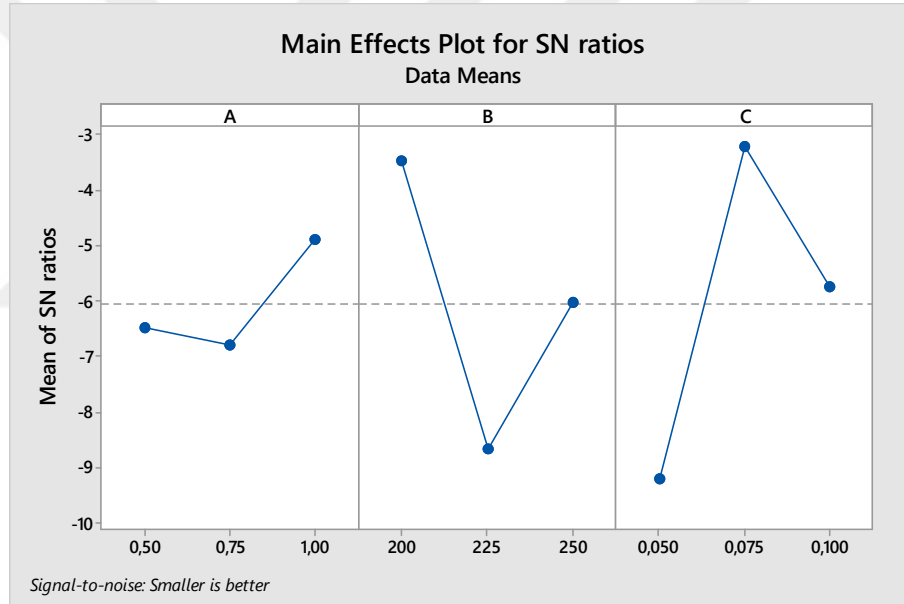
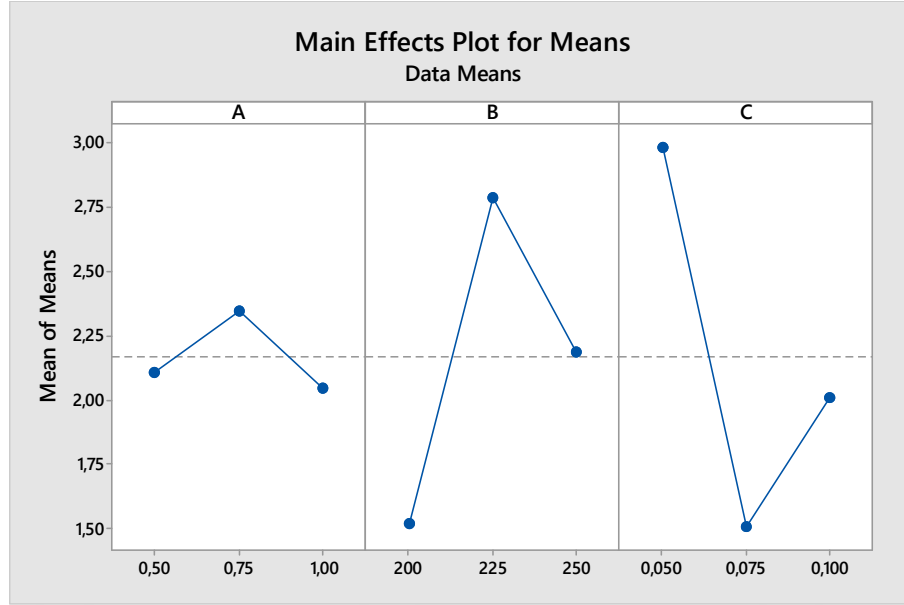
Çizelge 4. 21. Deney 4 Ra için S/N Tablosu

Seviye	ap	Vc	fn
1	-6,46	-3,47*	-9,20
2	-6,8	-8,66	-3,22*
3	-4,9*	-6,03	-5,73
Delta	1,9	5,19	5,98
Rank	3	2	1
Level 312 için Tahminen Hesaplanan Ra: 0,942			

Çizelge 4. 22. Deney 4 Ra için Ortalama Tablosu

Seviye	ap	Vc	fn (mm/dev)
1	2,11	1,52	2,98
2	2,35	2,79	1,51
3	2,05	2,2	2,01
Delta	0,30	1,26	1,48
Rank	3	2	1

Aşağıda yer alan etki grafiklerine baktığımız zaman en etkili parametrenin C ile gösterilen ilerleme olduğu, sonrasında B ile gösterilen kesme hızı olduğu görülmektedir.

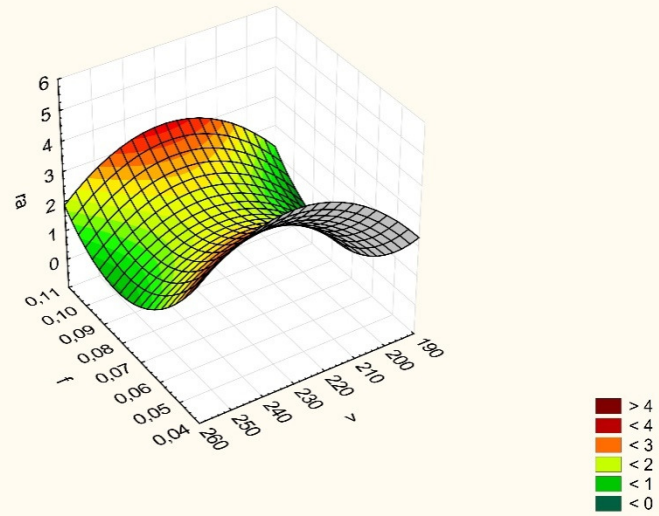


Şekil 4. 18. Deney 4 Ra için a) Ortalamalara ve b) S/N Ait Taguchi Etki Grafiği

Şekil 4. 19.'da yer alan 3 boyutlu yüzey grafiklerine baktığımız zaman, Ra ile girdi parametreleri arasında lineer bir ilişki olmadığı anlaşılmaktadır.

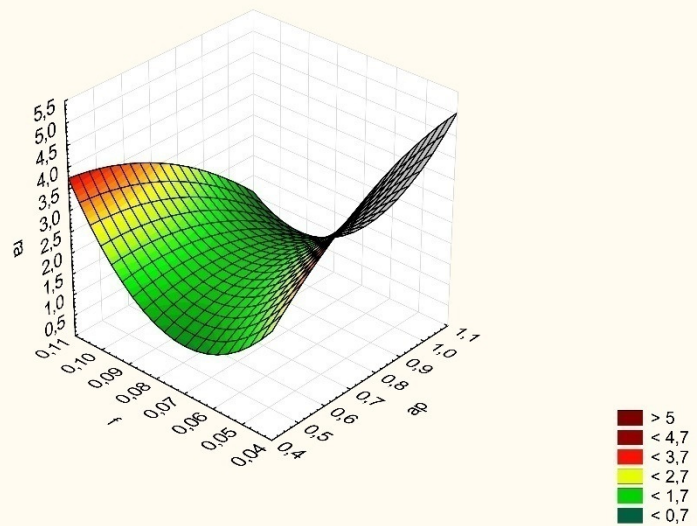
3D Surface Plot of ra against f and v

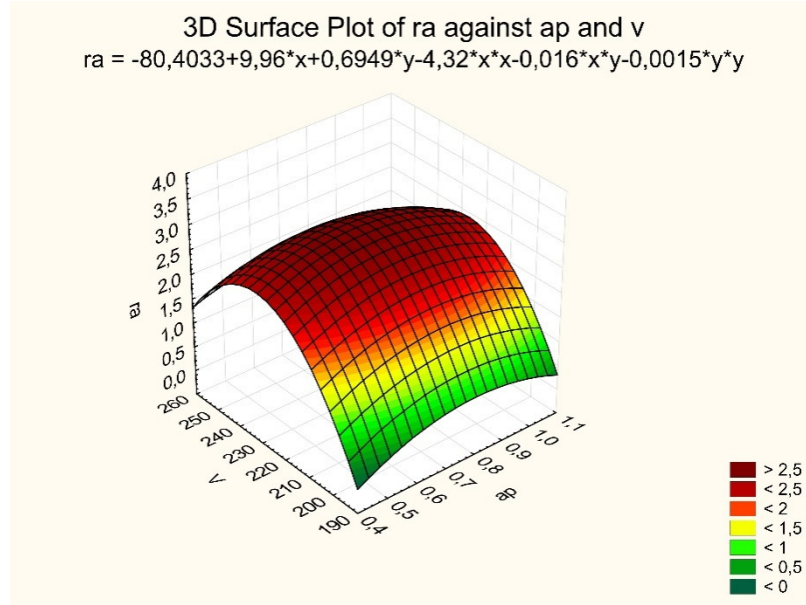
$$ra = -68,1283 - 226,4667 * x + 0,6931 * y + 1584 * x * x - 0,136 * x * y - 0,0015 * y * y$$



3D Surface Plot of ra against ap and f

$$ra = 3,7767 + 14,28 * x - 177,8667 * y - 4,32 * x * x - 105,6 * x * y + 1584 * y * y$$



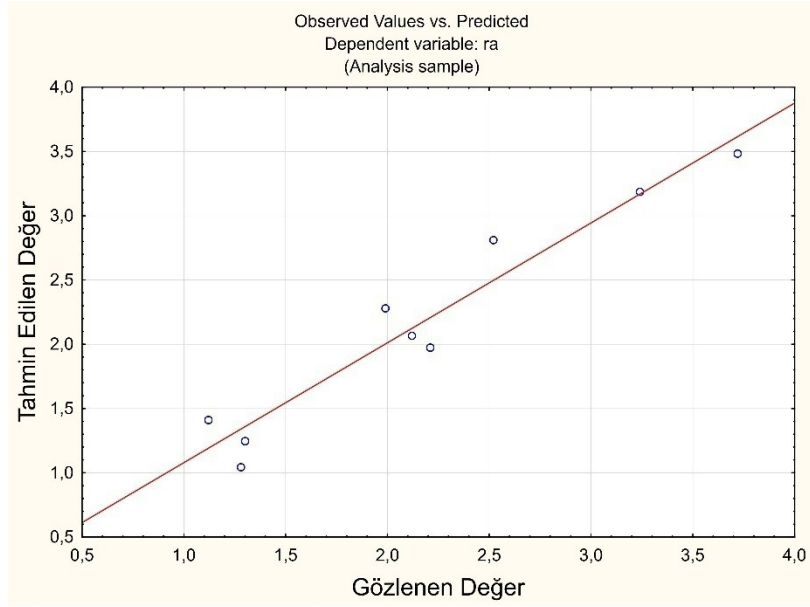


Şekil 4. 19. Deney 4 Ra parametresinin a) fn ve Vc b) fn ve ap c) ap ve Vc ile Değişimi

2. derece Regresyon modeli bu yüzey pürüzlülük değerine uygulandığında aşağıdaki model elde edilmiştir.

$$Ra = -67,993333 + 6,36000000 * ap - 4,32000000 * ap^2 + 0,682933333 * v - 0,00148800 * v^2 - 257,06667 * f + 1584,00000 * f^2 \quad (4.6.)$$

Matematiksel modelin doğruluğunu gösteren gözlenen ve hesaplanan değerler grafiği ise aşağıda şekil 4.20.'de verilmiştir. Kurulan model bazı noktalarda iyi sonuçlar verse de, bazı yerlerde doğruluk oranı düşmüştür.



Şekil 4. 20. Deney 4 Ra parametresi için Regresyon Analizi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada derin delik içi tornalama işlemleri için $L/D=10$ olan pasif metod ile sönülmenmiş bir delik içi kateri tasarlanarak imal edilmiş ve yapılan modal analizlerle doğal frekansı bulunmuştur. İmal edilen bu takım klasik takımlarla deneysel olarak kıyaslanmıştır. Bu bölümde yapılan çalışmanın genel anlamda sonuçları ve çalışmaya katkıda bulunabilecek önerilere yer verilmiştir.

5. 1. Sonuçlar

Standart katerler ile yapılan deneylerdeki test sonuçları üzerinden yapılan yüzey pürüzlülük analizlerine göre daha önce yapılan çalışmalarda olduğu gibi artan ilerleme yüzey pürüzlülüğünü azaltmıştır, bu zaten beklenen bir sonuçtur. Kaba operasyonlarda ilerleme ve talaş derinliğinin yüksek olması gerekmektedir ve çalışmada en iyi sonuç ilerlemenin 0, 2 mm/dev, talaş derinliğinin 2, 5 mm ve kesme hızının 160 m/dk olduğu deney şartında sağlanmıştır.

Finiş operasyonlarda ise yüzey pürüzlülük değerinin düşük olması beklendiği için ilerlemenin düşük olması gerekmektedir. DCMT kesici uç ile yapılan deneylerde, en iyi sonuç girdi parametrelerinin en küçük olduğu, ilerleme, talaş derinliği ve kesme hızının sırasıyla 0,05 mm/dev, 0,5 mm ve 200 m/dk olduğu değerlerde meydana gelmiştir.

Bu deney sonuçlarına göre kesme hızının yüzey pürüzlülük değeri üzerinde çok fazla etkisinin olmadığı anlaşılmıştır.

32 mm çapında, 448 mm boyundaki sönümlemesiz delik içi işleme kateri ile yapılan işlemede artan dinamik rijitsizliğin sonucunda tırlama meydana gelmiştir. İşlenen parçanın yüzeyinden de anlaşılacağı gibi eğer işlenen katerde tırlamaya sönümleyici bir özellik yok ise bu sarkma boylarında işleme yapmak mümkün değildir. Bu yüzden bu tip derin delik içi tornalama sistemlerine sönümleme eklemek gerekmektedir.

İçyapısında sönümleme sistemi bulunan anti vibrasyon kater ile yapılan işleme sonucunda girdi parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde olan etkisi standart katerler ile yapılan etki kadar açık değildir. Bunun çeşitli sebepleri vardır;

- Öncelikle üretilen delik içi işleme katerinin içyapısında bulunan sönümleme sistemi bazı girdi parametrelerinde istenen sönümlemeyi yapamamıştır.
- Burun radyüsünün tırlama üzerinde ki etkisi bilinen bir gerçektir. Dolayısıyla bu etki sonuçları değiştirmiş olabilir.
- Standart katerlerde hiçbir etkisi olmayan kesme hızı bu katerlerde önemli bir etkiye sahiptir, çünkü oluşan tırlamanın frekansını değiştirmektedir. Bu noktada özellikle düşük hızlarda yapılan “proses sönümleme” etkisinin göz önüne alınması gerekmektedir.

Tüm bunlara rağmen bu katerlerin ideal çalışma koşulları üzerinde şöyle bir çıkarım yapmam mümkündür. Finitiş operasyonlarında, ilerleme değeri 0, 05 ile 0, 075 mm/dev, kesme hızının düşük olduğu, örneğin; 200 m/dk ve talaş derinliğinin minimum 1 mm olduğu girdi parametrelerinde istenen sonuçlar rahatlıkla alınabilmektedir.

5. 2. Öneriler

Delik içi işleme operasyonlarında kesici ucun burun radyüsünü etkisi bilinen bir gerçektir. Özellikle kesici takım uzun sarkma boylarında bağlandığı zaman tırlama oluşacağı için burun radyüsünün tırlamaya olan etkisinin incelenmesi ayrı bir çalışma konusu olabilir.

Farklı kesici uç geometrilerinde deneyler yapılarak tırlamaya karşı en iyi sonuç veren kesici ucun belirlenmesi de önerilmektedir.

Anti-vibrasyon delik içi işleme kateri ile işlemede kuru bir test ortamı sağlanarak akustik emisyon testinin yapılması ve her girdi parametresinde sonuçların irdelenmesi gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- 1) Show-Shyan Lin, Ming-Tsan Chuang, “Optimization of 6061T6 CNC Boring Process Using the Taguchi Method and Grey Relational Analysis”, *The Open Industrial and Manufacturing Engineering Journal, & Design*, 28: 1379-1385
- 2) A. Shanker, “An analysis of chatter vibration while turning slender work-pieces between centres”, *Annals of CIRP* 25 (1976) 273–276.
- 3) A. K. M. Nurulamin, “Investigation of the mechanism of chatter formation during metal cutting process”, *Mechanical Engineering Res Bulletin* 6 (1983) 11–18.
- 4) A. V. Dassanayake, C. S. Suh, “On nonlinear cutting response and tool chatter in turning operation”, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 13 (2008) 979–1001.
- 5) Anık S. , Dikicioğlu, A. , Vural, M. 2000. İmal usulleri. *Birsen. İstanbul*
- 6) B. E. Clancy, Y. C. Shin, “A comprehensive chatter prediction model for face turning operation including tool wear effect”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 42 (2002) 1035–1044.
- 7) Bayrak, M. , “Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi ve Uzman Sistemle Karşılaştırılması”, *Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, 1-35 (2002)*
- 8) C. Brecher, F. Klocke, S. Witt, P. Frank, “Methodology for coupling a FEA-based process model with a flexible multi-body simulation of a machine tool”, 2007, p. 28.
- 9) C. K. Chen, Y. M. Tsao, “A stability analysis of regenerative chatter in turning process without using tailstock”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 29 (2006) 648–654.
- 10) C. K. Chen, Y. M. Tsao, “A stability analysis of turning a tailstock supported flexible work-piece”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 46 (2006) 18–25.

- 11) Choudhury, I. A. , El-Baradie, M. A. 1997. “Surface roughness prediction in turning of high-strength steel by factorial design of experiments”. *Journal of Materials Processing Technology*, 67: 55–61
- 12) Çoğun, C. , Özses, B. 2002. “Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, *Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 17, No 1, 59-75, Ankara*
- 13) D. E. Dimla, P. M. Lister, “On-line metal cutting tool condition monitoring. : I: Force and vibration analyses”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture 40 (2000) 739–768*.
- 14) Davim J. P. 2003. “A note on the determination of optimal cutting conditions for surface finish obtained in turning using design of experiments”. *Journal of Materials Processing Technology*, 116:305-308
- 15) Davim, J. P. , Figueira, L. 2006. “Machinability evaluation in hard turning of coldwork tool steel (D2) with ceramic tools using statistical techniques”. *Journal of Materials Processing Technology*, 1186–1191
- 16) Demir, K. , “Yüzey Pürüzlülüğü ve Pürüzlülüğün Ölçülmesi”, *Mezuniyet Tezi, Gazi Üniversitesi , 26:40-44 (2002)*.
- 17) Diei, E. ve Dornfeld, D. , 1987b, “Acoustic emission sensing of tool wear in face milling”, *Journal of Engineering for Industry*, 109 (3), 234-240.
- 18) E. Lee, C. Nian, Y. Tarng, “Design of a dynamic vibration absorber against vibrations in turning operations”, *Journal of Materials Processing Technology 108 (2001) 278–285*.
- 19) E. Marui, S. Ema, M. Hashimoto, Y. Wakasawa, “Plate insertion as a means to improve the damping capacity of a cutting tool system”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture 38 (1998) 1209–1220*.
- 20) E. Ozlu, E. Budak, “Comparison of one-dimensional and multi-dimensional models in stability analysis of turning operations”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture 47 (2007) 1875–1883*.
- 21) E. Budak, E. Ozlu, “Analytical modeling of chatter stability in turning and boring operations : a multi-dimensional approach”, *CIRP Annals—Manufacturing Technology 56(2007)401–404*.

- 22) E. I. Rivin, H. Kang, "Improvement of machining conditions for slender parts by tuned dynamic stiffness of tool", *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 29 (1989) 361–376.
- 23) E. J. Armarego, R. H. Brown, "The Machining of Metals", *Prentice Hall, NJ, 1969*.
- 24) E. J. A. Armarego, R. C. Whitfield, "Computer based modelling of popular machining operations for force and power predictions", *Annals of the CIRP* 34 (1985) 65–69.
- 25) Eriksen, E. 1998. "Influence from production parameters on the surface roughness of a machined short fibre reinforced thermoplastic". *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 39: 1611-1618
- 26) F. Taylor, "On the art of cutting metals", *Transactions of ASME* 28 (1907).
- 27) G. R. Frumusanu, I. C. Constantin, V. Marinescu, A. Epureanu, "Development of a stability intelligent control system for turning", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (2012) 1–15.
- 28) H. Vanbrussel, P. Vanherk, *Proceedings of the 11th M. T. D. R. Conference, Birmingham, (1970)*.
- 29) I. Grabec, P. Leskovar, "Acoustic emission of a cutting process", *Ultrasonics* 15 (1977) 17–20.
- 30) I. N. Tansel, A. Wagiman, A. Tzirani, "Recognition of chatter with neural networks", *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 31 (1991) 539–552.
- 31) Inasaki, I. ve Yonetsu, S. , 1981, "In-process detection of cutting tool damage by acoustic emission measurement", *Proc. 22nd Inter. Machine Tool Design and Res. Conf*, 261-268.
- 32) Inasaki, I. , Aida, S. ve Fukuoka, S. , 1987, "Monitoring system for cutting tool failure using an acoustic emission sensor", *JSME international journal*, 30 (261), 523-528.
- 33) İşbilir, F. 2006. "Takım ömrünün sebep-sonuç diyagramları ile açıklanması, yüzeyişlemine etkileri". *Uludağ Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa*

- 34) J. P. Den Hartog, "Mechanical Vibrations", *Dover Pubns*, 1985.
- 35) J. R. Baker, K. E. Rouch, "Use of finite element structural models in analyzing machine tool chatter", *Finite Elements in Analysis and Design* 38 (2002) 1029–1046.
- 36) J. Tlustý, G. C. Andrews, "A critical review of sensors for unmanned machining", *CIRP Annals—Manufacturing Technology* 32(1983)563–572.
- 37) K. Zhu, Y. S. Wong, G. S. Hong, "Wavelet analysis of sensor signals for tool condition monitoring: a review and some new results", *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 49 (2009) 537–553.
- 38) Kartal, M. S. 2000. "Alaşımsız eliklerin CNC torna tezgâhında işlenmesinde yüzeypürüzlülüğü ve takım aşınmasının taguchi yöntemiyle incelenmesi". *Marmara Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*
- 39) Li, X. , 2002, "A brief review: acoustic emission method for tool wear monitoring during turning", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42 (2), 157-165.
- 40) M. Das, S. Tobias, "The relation between the static and the dynamic cutting of metals", *International Journal of Machine Tool Design and Research* 7 (1967) 63–89.
- 41) M. Das, W. Knight, M. Sadek, "A critical assessment of cutting force models in the analysis of machine tool instability", 1970, pp. 105–118.
- 42) M. Kaymakci, Z. M. Kilic, Y. Altintas, "Unified cutting force model for turning, boring, drilling and milling operations", *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 54–55 (2012) 34–45.
- 43) M. Rahman, Y. Ito, "Stability analysis of chatter vibration in turning processes", *Journal of Sound and Vibration* 102 (1985) 515–525.
- 44) M. Thomas, Y. Beauchamp, "Statistical investigation of modal parameters of cutting tools in dry turning", *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 43 (2003) 1093–1106.
- 45) M. Wang, T. Zan, Y. Yang, R. Fei, "Design and implementation of non-linear TMD for chatter suppression: an application in turning processes", *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 50 (2010) 474–479.

- 46) M. Weck, E. Verhaag, M. Gather, “Adaptive control for face-milling operations with strategies for avoiding chatter vibrations and for automatic cut distribution”, *Annals of the CIRP* 24 (1975) 405–409.
- 47) M. Xiao, S. Karube, T. Soutome, K. Sato, “Analysis of chatter suppression in vibration cutting”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 42 (2002) 1677–1685.
- 48) M. A. Siddhpura, A. M. Siddhpura, S. K. Bhave, “Vibration as a parameter for monitoring the health of precision machine tools”, *International Conference on Frontiers in Design and Manufacturing Engineering (ICDM), Coimbatore, India, (2008)*.
- 49) M. M. Nigm, “A method for the analysis of machine tool chatter”, *International Journal of Machine Tool Design and Research* 21 (1981) 251–261.
- 50) M. M. Sadek, S. A. Tobias, *Proceedings of Institute of Mechanical Engineers* 89 (1970).
- 51) Motorcu, A. R. 2006. “Ç1050, Ç4140 ve Ç52100 çeliklerinin işlenebilirliği vemodeler geliştirilmesi”, *Gazi Üniversitesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*
- 52) N. Olgac, B. T. Holm-Hansen, “A novel active vibration absorption technique: delayed resonator”, *Journal of Sound and Vibration* 176 (1994) 93–104.
- 53) N. K. Chandiramani, T. Pothala, “Dynamics of 2-dof regenerative chatter during turning”, *Journal of Sound and Vibration* 290 (2006) 448–464.
- 54) Nalbant, M. , Gökkaya, H. , Sur, G. 2007. “Application of taguchi method in the optimization of cutting parameter for surface roughness in turning”. *Materials & Design*, 28: 1379-1385
- 55) Özçatalbaş, Y. 2000. “Isıl işlemlerin Cr-Mo Esaslı Bir Çeliğin işlenebilirliğine Etkisi”, *10. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı, İstanbul, sf. 759-765*
- 56) Özses, B. 2002. “Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgâhlarında değişik işlemekoşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi”. *Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*

- 57) P. Thangavel, V. Selladurai, R. Shanmugam, "Application of response surface methodology for predicting flank wear in turning operation", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture* 220 (2006) 997–1003.
- 58) P. Wallace, C. Andrew, *Journal of Mechanical Engineering Science* 7 (1965).
- 59) P. S. Heyns, "Tool condition monitoring using vibration measurements—a review, Insight"- *Non Destructive Testing and Condition Monitoring* 49 (2007) 447–450.
- 60) R. Mahdavinejad, "Finite element analysis of machine and workpiece instability in turning", *International Journal of Machine Tools and Manufac- ture* 45 (2005) 753–760.
- 61) R. Y. Chiou, S. Y. Liang, "Analysis of acoustic emission in chatter vibration with tool wear effect in turning", *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 40 (2000) 927–941.
- 62) R. Y. Chiou, S. Y. Liang, "Chatter stability of a slender cutting tool in turning with tool wear effect", *International Journal of Machine Tools and Manu- facture* 38 (1998) 315–327.
- 63) S. Kebdani, A. Sahli, O. Rahmani, D. Boutchicha, A. Belarbi, "Analysis of chatter stability in facing", *Journal of Applied Sciences* 8 (2008) 2050–2058.
- 64) S. Lin, M. Hu, "Low vibration control system in turning", *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 32 (1992) 629–640.
- 65) S. A. Tobias, *Proceedings of Institute of Mechanical Engineers* 173 (1959) 469.
- 66) S. A. Tobias, W. Fishwick, "The chatter of lathe tools under orthogonal cutting conditions", *Transactions of ASME* 80 (1958) 1079–1088.
- 67) S. D. Yu, V. Shah, "Theoretical and experimental studies of chatter in turning for uniform and stepped workpieces", *Journal of Vibration and Acoustics* 130 (2008) 061005–061018.
- 68) S. Liang, D. Dornfeld, "Tool wear detection using time series analysis of acoustic emission", *Journal of Engineering for Industry—Transactions of ASME* 111(1989)199–205.

- 69) Shirvani, A. , "An Investigation into the design for vibration damping of extended length tool holders", *The PHD Thesis, Department of Engineering, University of Warmick, 1995.*
- 70) Sims, ND., "Vibration Absorbers for Chatter Suppression: A New Analytical Tuning Methodology". *Journal of Sound & Vibration 301:592–607 (2007).*
- 71) Şahin, Y. 2003. "İmal Usulleri". *Gazi Kitabevi, Ankara*
- 72) T. Sisson, R. Kegg, "An explanation of low speed chatter effects", *ASME Journal of Engineering for Industry 91 (1969) 951.*
- 73) Teti, R. ve Micheletti, G. , 1989, "Tool wear monitoring through acoustic emission", *CIRP Annals-Manufacturing Technology, 38 (1), 99-102.*
- 74) Teti, R. , Jemielniak, K. , O'Donnell, G. ve Dornfeld, D. , 2010, "Advanced monitoring of machining operations", *CIRP Annals-Manufacturing Technology, 59 (2), 717-739.*
- 75) W. Knight, "Application of the universal machinability chart to the prediction of machine tool stability", *International Journal of Machine Tool Design and Research 8 (1968) 1–14.*
- 76) [www. p005. net](http://www.p005.net)
- 77) Y. Altintas, M. Eynian, H. Onozuka, "Identification of dynamic cutting force coefficients and chatter stability with process damping", *CIRP Annals—Manufacturing Technology 57(2008)371–374.*
- 78) Y. S. Chiou, E. S. Chung, S. Y. Liang, "Analysis of tool wear effect on chatter stability in turning", *International Journal of Mechanical Sciences 37 (1995) 391–404.*
- 79) Y. S. Tarng, J. Y. Kao, E. C. Lee, "Chatter suppression in turning operations with a tuned vibration absorber", *Journal of Materials Processing Technology 105 (2000) 55–60*
- 80) Y. Yang, J. Mun˜oa, Y. Altintas, "Optimization of multiple tuned mass dampers to suppress machine tool chatter", *International Journal of Machine Tools and Manufacture 50 (2010) 834–842.*

- 81) Yang, W. H. , Tarn, Y. S. 1998. "Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method", *Journal of Materials Processing Technology*, 84: 122-129
- 82) Z. Mei, S. Yang, H. Shi, S. Chang, K. F. Ehmann, "Active chatter suppression by online variation of the rake and clearance angles in turning—principles and experimental investigations", *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 34(1994)981–990.
- 83) Zou, Q. , Barber G. , 2005. "Optimization of hollow cantilevered boring bar stiffness". *Machining science and technology*, 9:325-343



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mustafa BANAZ
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri Tarihi : KONYA - 05.07.1988
Telefon : 0542 589 39 28
E-mail : mustafa.banaz@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı	İl	Yılı
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi	KONYA	2006 - 2011
Yüksek Lisans	: Necmettin Erbakan Üniversitesi	KONYA	2015 -