

Tornalama İşleminde Kesici Uç Malzemesinin Tırlama Titreşimlerine Etkisinin Analizi

Fatih Gök

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık 2015

The Analysis of the Effect of Cutting Tools Material to Chatter Vibrations in Turning Operations

Fatih Gök

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Mechanical Engineering

December 2015

Tornalama İşleminde Kesici Uç Malzemesinin Tırlama Titreşimlerine Etkisinin Analizi

Fatih Gök

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Konstrüksiyon-İmalat Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır

Danışman : Yrd.Doç.Dr. Sezan ORAK

Aralık 2015

ONAY

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Fatih GÖK'ün YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “**Tornalama İşleminde Kesici Uç Malzemesinin Tırlama Titreşimlerine Etkisinin Analizi**” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oy birliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Sezan ORAK

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Doç.Dr. Melih Cemal KUŞHAN

Üye : Yrd.Doç.Dr. Ümit ER

Üye : Yrd.Doç.Dr.R. Aykut ARAPOĞLU

Üye : Yrd.Doç.Dr. Yađız UZUNONAT

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Yrd. Doç. Dr. Sezan ORAK danışmanlığında hazırlamış olduğum “Tornalama İşleminde Kesici Uç Malzemesinin Tırlama Titreşimlerine Etkisinin Analizi” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı, tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 07/12/2015

Fatih GÖK

ÖZET

Bu çalışmada, torna tezgâhında farklı çalışma şartları ve malzemeler kullanılarak tırlamasız kararlı kesme derinlikleri araştırılmıştır. Deneilerde farklı devir sayıları, iş parçaları (Ç-1010, Ç-1050, Al-7075) ve takım sarkma boyları kullanılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen kararlı kesme derinlikleri daha önce TiC kesici uçlarla elde edilen kararlı kesme derinlikleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca seramik kesici uç ile yapılan deneysel çalışma şartları için istatistiksel optimizasyon çalışması yapılmıştır. Devir sayısının, iş parçasının akma mukavemetinin ve takım sarkma boyunun düşmesiyle kararlı kesme derinliklerinin arttığı görülmüştür. Seramik kesici uçlarda kararlı kesme derinlikleri TiC kesici uçlara göre daha yüksek olmuş ve tırlama titreşimleri önlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tırlama Titreşimi, Alüminyum Oksit (Alümina), Kararlı Kesme Derinlikleri, İstatistiksel Optimizasyon.

SUMMARY

In this study, the stable cutting depths, without chatter vibrations, have been investigated at different conditions on turning machine using various materials. First of all in the experiments, various materials (Exp: AISI-1010, AISI-1050, Al-7075) have been used on several revolutions and several tool overhang lengths. Ceramic inserts have been used during the experiments. The stable cutting depths that had been obtained after the experiments have been compared with the stable cutting depths with using TiC inserts that had been obtained before. After, statistical optimization study has been also performed for the experiments conditions using ceramic inserts. At the end of the experiments, it has been shown to increase the stable cutting depth in spite of decreasing of revolutions, material yield strength and tool overhang length. As a result, the stable cutting depths with ceramic inserts are higher than the depths with TiC inserts and, chatter vibration has been prevented.

Keywords: Chatter Vibration, Aluminum Oxide (Alumina), Chatter Stability limits, Statistical optimization

TEŞEKKÜR

Derslerimde ve tez alıőmalarımnda bana büyük bir sabırla danıőmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danıőmanım Yrd. Do. Dr. Sezan Orak'a teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Tırlama Titreşimleri	3
2.2. Talaşlı İmalat.....	7
2.2.1. İşlenebilirlik	8
2.2.2. Talaşlı imalat mekaniği ve talaş oluşumu.....	9
2.2.3. Talaşlı imalat işleminde kesme kuvvetleri.....	10
2.2.4. Talaşlı imalat işleminde ısı ve sıcaklık	11
2.3. Seramik Malzemeler ve Kesici Uçlar.....	12
2.3.1. Seramik malzemeler.....	12
2.3.2. Seramik kesici uçlar	13
3. ÇALIŞMADA KULLANILAN KESİCİ UÇLARIN KARŞILAŞTIRMASI.....	17
3.1. TİC ve Seramik Uçların Tornalama Şartlarının Karşılaştırılması.....	17
3.1.1. Takım aşınması ve takım ömrünün tırlama titreşimlerine etkisi	17
3.1.2. İlerleme hızı ve kesici uç köşe radyüsünün tırlama titreşimlerine etkisi	18
3.1.3. Takım (kater) geometrisinin tırlama titreşimlerine etkisi	19
3.1.3.1. <u>Talaş açısının etkisi (γ)</u>	20
3.1.3.2. <u>Yaklaşma (ayar) açısının etkisi</u>	22
3.1.3.3. <u>Esas kesme kenarı boşluk ve yardımcı kesme kenarı ön boşluk açılarının etkisi (α ve α_n)</u>	22

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.1.3.4.	<u>Kalemlığın iş parçası ekseninden kaçıklığının etkisi</u>	22
3.1.4.	Değerlendirme.....	23
4.	ÇALIŞMADA KULLANILAN İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER	24
4.1.	Regresyon Analizi	24
4.1.1.	Tek değişkenli regresyon analizi	25
4.1.2.	Çok değişkenli regresyon analizi	26
4.2.	Hipotez testi.....	26
4.2.1.	Hipotez Testinin Adımları	26
4.3.	“t Testi”	28
4.3.1.	Tek gruplu "t"-Testi	29
4.3.2.	Birbirinden bağımsız iki grubun farkına yönelik “t”- testi	29
4.3.3.	Eşleştirilmiş (t) Test İstatistiği	29
5.	MATERYAL VE YÖNTEM	31
5.1.	Deneysel Çalışmalarla İlgili Genel Bilgiler	31
5.2.	Kullanılan materyaller ve özellikleri	32
5.3.	Tornalama operasyonlarındaki deneysel çalışmalar.....	33
6.	BULGULAR VE TARTIŞMA	39
7.	İSTATİSTİKSEL ANALİZ	49
7.1.	Doğrusal- Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi ve Optimizasyon Modeli	49
7.2.	Eşleştirilmiş “t Testi”	55
8.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	56
8.1.	Deney Sonuçlarının İrdelenmesi	56
8.2.	Değerlendirme ve Öneriler	57
	KAYNAKLAR DİZİNİ	60
	EK AÇIKLAMALAR-A	64

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Torna tezgâhı ve tornalama işleminin şematik olarak gösterimi	8
2.2. Dik kesme modeli	9
2.3. Gerçek talaş oluşumu	10
2.4. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri.....	10
2.5. Kesme bölgesinde ısı oluşumu	12
3.1. Kesme kuvvetlerinin kesici takım sertliğine etkisi.....	18
3.2. Takım geometrisi	19
3.3. Katerde kullanılan kenar ve yüzeyler.....	19
3.4. Takım geometrisine göre işlenebilecek malzemeler.....	20
3.5. Kesici takım uç açısı.....	21
4.1. Saçılım Grafiği.....	25
4.2. Regresyon denklemi grafik ve formüsel gösterimi.....	26
4.3. İki yönlü testlerde ret bölgeleri.....	27
4.4. Tek yönlü üst kuyruk testi.....	27
4.5. Tek yönlü alt kuyruk testi.....	27
5.1. Deneysel çalışmaların yapıldığı torna tezgâhı.....	31
5.2. Çekiç testi.....	34
5.3. Tornalama prosesinde kullanılan kater.....	35
5.4. Cut-PRO 8.0.....	35
5.5. İşlenecek malzemenin tezgâha bağlanması.....	36
5.6. Takım boyunun ayarlanması.....	36
5.7. Kesme işlemi ve mikrofon ses testi.....	37
5.8. LabVIEW 7.1	37
5.9. %99,7 alümina esaslı seramik kesici uç	38
6.1. L= 80 mm kesme sisteminin TF' sinin reel ve imajiner grafikleri.....	39
6.2. L= 80 mm kesme sisteminin FRF grafiği ve yapısal sabitlerin elde edilmesi.....	40
6.3. AISI 1050 malzeme, L=70 mm kater sarkma boyu için mikrofon testi.....	42
6.4. L=70 mm sarkma boyu ve AISI 1010 malzeme için kararlı kesme derinliklerinin karşılaştırması.....	43
6.5. L=80 ve AISI 1010 malzeme için kararlı kesme derinliklerinin karşılaştırması.....	43
6.6. L=90 ve AISI 1010 malzeme için kararlı kesme derinliklerinin karşılaştırması.....	44
6.7. L=70 ve AISI 1050 malzeme için kararlı kesme derinliklerinin karşılaştırması.....	45

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**Sekil****Sayfa**

6.8. L=90 ve AISI 1050 malzeme için kararlı kesme derinliklerinin karşılaştırması.....	45
6.9. L=110 ve AISI 1050 malzeme için kararlı kesme derinliklerinin karşılaştırması.....	46
6.10. L=90 ve Al 7075 malzeme için kararlı kesme derinliklerinin karşılaştırması.	47
6.11. AISI 1010 Malzeme için Devir Sayısına Göre Kararlı Kesme Derinliğindeki Değişim.....	47
6.12. AISI 1050 Malzeme için Devir Sayısına Göre Kararlı Kesme Derinliğindeki Değişim.....	48
6.13. Al 7075 Malzeme için Devir Sayısına Göre Kararlı Kesme Derinliğindeki Değişim.	48
7.1. Oluşturulan doğrusal regresyon denklemi için varyans analizi.....	50
7.2. Oluşturulan doğrusal olmayan regresyon denklemi için katsayı tutarlılık analizi.	52
7.3. Sarkma uzunluğu ve devir sayısına göre kararlı kesme derinliğinin değişimi.	52
7.4. Sarkma uzunluğu ve akma mukavemetine göre kararlı kesme derinliğinin değişimi.	53
7.5. Düzeylere göre maksimum kararlı kesme derinliği.	54
7.6. Yapılan 29 deneye ait sonuçlar.	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Kesici uç karakteristikleri.....	17
3.2. Kesici açıları ve alabilecekleri değerler.	20
5.1. Malzemelerin teknik özellikleri ve kullanım alanları.....	31
5.2. Çalışma şartlarına ait parametreler.....	32
5.3. Kullanılan cihazlarla ilgili bazı özellikler.	33
6.1. Takım boyuna göre doğal ve tırlama frekansları.....	39
6.2. AISI 1010 Malzeme ve 20x20 kater için Çekiçleme ve Ses Testi Değerleri.	41
6.3. AISI 1050 Malzeme ve 25x25 kater için Çekiçleme ve Ses Testi Değerleri.	41
6.4. Al 7075 Malzeme ve 20x20 kater için Çekiçleme ve Ses Testi Değerleri.....	41
6.5. AISI 1010 malzeme için tornalama işlemi sonucunda elde edilen kararlı kesme derinlikleri (a_{lim} (mm)).....	42
6.6. AISI 1050 malzeme için tornalama işlemi sonucunda elde edilen kararlı kesme derinlikleri (alim (mm)).	44
6.7. Al 7075 malzeme için tornalama işlemi sonucunda elde edilen kararlı kesme derinlikleri (alim (mm)).....	46
7.1. En iyi alt kümeler yöntemiyle oluşturulan farklı denklemlerin sonuçları.....	50
7.2. Oluşturulan doğrusal regresyon denklemi için katsayı tutarlılık analizi.	50
7.3. Oluşturulan doğrusal olmayan regresyon denklemi için varyans analizi.	51
7.5. Doğrusal olmayan regresyon analizi belirlilik katsayıları ve standart hata.....	51
7.7. Oluşturulan optimizasyon modelinin sonuçları.....	54
7.8. Oluşturulan modelin ve doğrulama deneyinin karşılaştırılması.....	54
7.9. Seramik ve metal uçlar için t testi sonuçları.....	55

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
μm	Mikrometre
V	Kesme Hızı
F	İlerleme hızı
A	Talaş Derinliği
F_c	Esas Kesme Kuvveti
t_o	Deforme olmamış talaş kalınlığı
t_c	Deforme olmuş talaş kalınlığı
W	İş parçası genişliği
ϕ	Kayma düzlemi açısı
A	Kesici takım talaş açısı
F_f	İlerleme kuvveti
F_r	Radyal kuvvet
A	Kayma düzlemi
B	Takım-talaş ara yüzey temas bölgesi
C	Takım yan yüzeyi
Al_2O_3	Alüminyum oksit
SiC	Silisyum karbür
Si_2N_4	Silisyum nitrür
ZrO_2	Zirkonya
R_t	Yüzey pürüzlülüğü değeri
X	Ayar açısı
A	Esas kesme kenarı
α_n	Yardımcı kesme kenarı
ϵ	Kama açısı (Uç Açısı)
γ	Talaş açısı
χ_n	Yardımcı Kesme Kenarı (YKK) ayar açısı
R	Burun radyüsü
Z, s	Sönümleme oranı
ω_n	Sistemin ilerleme yönündeki frekansı
K	Yay sabiti
ω_t	Doğal frekans
Z	Sönümleme oranı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**Simgeler**

L	Kater boyu
N	Devir sayısı
R ²	Belirlilik katsayıları

Açıklama**Kısaltmalar**

DF	Serbestlik derecesi
KKD	Kararlı kesme derinliği
KO	Kareler ortalaması
Komb.	Kombinasyonlar
OSH	Ortalamaların standart hatası
SH	Standart hata
SS	Standart Sapma

Açıklama

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Talaşlı imalat usullerinde, seçilen imalat şekline göre kesici ağızlara sahip bir takımın iş parçasına belli bir kuvvetle bastırılması sonucu iş parçasından talaş kaldırılması ve bunun sonucunda iş parçasının şekillendirilmesi söz konusudur.

Talaşlı imalat en genel ve yaygın imalat yöntemidir. Bu nedenle diğer imalat metotları ile karşılaştırıldığında önemli bir yere sahip olduğu görülmektedir. Bir parçanın imali için kullanılan tüm yöntemlerden beklenen iki önemli husus, ürünün ölçü ve geometrik toleranslarının beklentileri karşılması ve tatminkâr bir yüzey pürüzlülük kalitesidir. Talaşlı imalatta bu iki önemli durum kesme koşulları ile doğrudan ilgilidir. Yani iş parçası ile takım arasındaki açılar, takım geometrisinin vs. değişiminden doğrudan etkilenir (Sarı, 2008).

Tornalama da bir talaşlı imalat türü olarak tek ağızlı bir takımın şekillendirilecek olan iş parçasına belli bir kuvvetle bastırılmasıyla talaş kaldırılan bir imal usulüdür. Talaş kaldırma işlemi sırasında meydana gelen sürtünme ve kesme kuvvetleri, yukarıda belirtilen koşullar ile kesici uç malzemesi yüzey kalitesini etkileyen başlıca etmenlerdir.

Teknolojideki gelişmeler, daha önce geniş toleranslarla çalışılabilirken bu tolerans aralığının giderek kapanmasına doğal olarak üretim proseslerinden beklentilerin de artmasına neden olmuştur. 1960'lara kadar yüzey kalitesi için ortalama pürüzlük değeri olarak 100 µm yeterli görülürken, 2000'li yıllarda, istenilen yüzey kalitesi 10 µm'ye kadar düşmüştür. Bu artan beklentileri karşılama zorunluluğu da üretim yöntemleri üzerinde farklı araştırmalar yapılmasını zorunlu kılmıştır. (Güllü, 1995).

Yüzey kalitesinin iyiliği yani pürüzlülüğün mümkün olduğunca az olması istenen, ancak bunun yanında iş parçasının mümkün olduğunca hızlı bir şekilde işlenmesi de ekonomik olarak beklenen bir durumdur. Bu nedenle tornalama işleminde mümkün olduğunca fazla oranda bir talaş derinliği ve kesme hızı, yüzey kalitesini bozmamak kaydıyla büyük önem arz etmektedir.

Bu nedenle takım tezgâhlarındaki proseslerin kaliteden ödün vermeden (yüzey pürüzlülüğü, ölçü ve biçimsel tamlık) hızlandırılması konusunda yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etken olan tırlama titreşimleri de çalışma yapılan bu alanlardan bir tanesidir.

Bu çalışmanın amacı; alümina esaslı seramik kesici uçlar ile TiC kesici uçların benzer kesme koşulları altında, talaş derinliği ve kesme hızına göre tırlama titreşimlerinin ve kararlı kesme derinliğinin analizini yaparak karşılaştırmak ve en iyi çalışma parametrelerini belirleyerek tırlama titreşiminin önlenmesidir.

Özellikle havacılık sektöründe kullanılan malzemeler mukavemeti yüksek, kullanım yeri ve koşullarından dolayı yüksek yüzey ve geometrik düzgünlüğe sahip olması gereken parçaların üretimi için kullanılmaktadır. Malzemelerin sertlik ve mukavemetleri arttıkça, şekillendirmek için gereken kuvvet artacak, istenen kalitede pürüzlülük ve geometriye sahip parça üretmek daha uzun süre alacaktır. Çünkü malzemelerin mekanik özellikleri arttıkça, işleme kalitesini doğrudan etkileyen tırlama titreşimlerinin meydana geleceği kararlı kesme derinliği azalacaktır.

Çalışmanın ikinci bölümünde konuyla ilgili literatür araştırması yapılmıştır. Üçüncü bölümde, kullanılan kesici uçların karşılaştırılması yapılmıştır. Dördüncü bölümde, tez çalışmasında kullanılan istatistiksel yöntemle ilgili teorik bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde, kullanılan materyal ve yönteme ilişkin açıklamalar sunulmuştur. Altıncı bölümde, yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular verilmiştir. Yedinci bölümde, deneysel çalışmalarla elde edilen verilerin istatistiksel yöntemle analiz edilerek istatistiksel optimizasyon ve hipotez testi çalışması gerçekleştirilmiştir. Sekizinci bölümde ise yapılan deneysel ve istatistiksel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar değerlendirilerek belli çıkartımlar yapılmıştır. Son olarak, bu sonuçlar ışığında öneriler sunulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Tırlama Titreşimleri

Bir cismin, kendi içindeki denge halinden periyodik olarak saparak yaptığı harekete mekanik titreşim denir. İmalat proseslerinde genel olarak titreşim, istenmeyen ve lüzumsuz ve hem takım tezgâhına hem de iş parçasına zarar veren gereksiz bir enerji halidir (Neşeli, 2006).

Takım tezgâhlarında bu mekanik titreşimler tırlama titreşimi olarak adlandırılmakta olup iş parçası ile kesici takım arasındaki etkileşimden dolayı oluşan, kesme prosesi boyunca, kesme dinamiği değişmedikçe, kendini yenileyen titreşimdir. Bu titreşimin sonucunda;

- a. İşlenen parçanın tolerans aralıklarında olmaması,
- b. Kalitesiz yüzey oluşumu,
- c. Kesici takımın çabuk aşınması ve kırılması,
- d. Tezgahın zarar görmesi gibi üretimi olumsuz etkileyen etkenler ortaya çıkar (Türkeş, 2011).

Titreşimler birkaç tipte sınıflandırılabilir. Bunlar genel olarak serbest titreşimler, zorlanmış titreşimler, kendi kendini uyarayan titreşimler, yenilenebilen titreşimler, termo mekanik titreşimler ve mod çiftlemesi olarak adlandırılır. Bu sınıflamanın dışında titreşimler, doğrusal ve doğrusal olmayan titreşimler, sönümlü ve sönümsüz titreşimler, belirli ve rastgele titreşimler olmak üzere de sınıflandırılabilirler.

İşlenen yüzeyin kalitesi tüm imalat camiasında büyük önem taşımakla birlikte özellikle yüksek yüzey pürüzlülüğü konusunda çok hassas olan askeri havacılık, uzay, sivil havacılık ve kalıpcılık sanayinde çok daha fazla önem arz etmektedir. Bu nedenle tırlama titreşimleri özellikle yukarıda belirtilen sektörler olmak üzere tüm sektörlerdeki talaşlı imalat prosesleri için önlem alınması gereken en büyük sorunlardan bir tanesidir. Çünkü bu titreşimler sonucu oluşan aşırı dinamik kuvvetler, kabul edilemez düzeyde yüzey

pürüzlülüğüne neden olmakta, bunun yanında oluşan bu dinamik kuvvetler takım tezgâhına ve kesici takımlara da ciddi zararlar vermektedir. (Budak vd. 2013)

Talaşlı imalat proseslerindeki kararsızlık mekanizmasını ilk olarak Tlusty ortaya koymuştur. Tlusty, talaş kaldırma işlemi sırasında oluşan dinamik kuvvetlerin kararlı kesme derinliğinin dinamik olarak değiştirmesine ve bu değişimin kesme işlemi süresince kendisini yenilemesin de kesme kararsızlıklarını oluşturduğunu görmüştür. Ardından yaptığı çalışmalarla bu zararlı dinamik kuvvetlerin dolayısı ile tırlamanın, belli bir paso derinliğinde sönmüldüğünü ve bu paso miktarının artmasıyla yeniden ortaya çıktığını, paso miktarının artmaya devam etmesiyle de, tırlama titreşimlerinin de arttığını ispatlamıştır. (Polacek ve Tlusty, 1963)

Tırlama titreşimleri konusundaki deneysel ve teorik çalışmalara ilişkin gelişmeler 1950'lerde başlamış ve konuyla ilgili iki önemli kitap 1965 ile 1970'li yıllar arasında yayınlanmıştır. Bununla birlikte literatürde hala geniş kapsamlı bir veri birikimi söz konusu değildir (Tobias, 1965).

Yapılan araştırmalar kararlı kesme derinliğini etkileyen en önemli etkenin talaş kalınlığı olduğunu göstermiştir. (Kayhan ve Budak, 2004). Talaş kaldırma prosesi talaş kalınlığının az olduğu durumlarda kararlı bir yapıya sahiptir. Tırlama titreşimleri, limit nokta olarak nitelendirebileceğimiz belli bir talaş kalınlığından sonra başlar ve talaş kalınlığının artmasıyla tırlama titreşimleri de yükselir. Kararlı kesme derinliği de denilebilecek tırlama titreşimlerinin başladığı talaş kalınlığının tezgâh, iş parçası, takım geometrisi ve kesme koşulları ile doğrudan bir bağlantısı vardır (Tlusty, 1999).

Tüm çalışmalar tırlamanın tezgâh, takım ve iş parçası etkileşiminde ortaya çıkan titreşim frekansının bu üçlü sistemi oluşturan en zayıf halkanın doğal frekansına çok yaklaşmasıyla ortaya çıktığını göstermiştir.

Sarı'nın (2008) çalışmasında Akün (1956) tarafından yapılan bir araştırmaya değinilmiştir. Araştırmada, tezgâhta oluşan titreşimlerinin önemi ortaya konmuş, bu titreşimlerin bir tek etkene değil birden çok parametreye bağımlı olduğu ve bu titreşimlerin analizi için gereken cihazların bulunduğu belirtilmiştir. Araştırmada iş parçası ve kesici

takım üzerinde oluşan titreşimler her üç boyutta da incelenmiş; talaşın kesiti, kesme parametreleri, takım geometrisinin bu titreşimler üzerine olan etkisi gösterilmiştir. Yapılan çalışmada, takım ve iş parçası üzerinde oluşan titreşimler ayrı ayrı incelenmiş, bu iki nokta üzerinde elde edilen titreşim değerlerinin toplamının yüzey pürüzlülük değerini ortaya koymak için yeterli bir kriter olacağı kabul edilmiş ve sonuçlar da bu kabulün doğru olduğunu göstermiştir. (Sarı, 2008)

Işık ve Çakır (2001), yaptıkları çalışmada, kesme parametrelerinden ilerleme, kesme hızı ve paso miktarına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün tahmin edilebilmesini sağlayan bir model geliştirmişlerdir. Bu model ile belli kesme parametreleri (V, f, a) ile ortaya çıkabilecek yüzey pürüzlülük değerini (R_a), iş parçasının türüne göre önceden tahmin edilmesine imkân sağlanmıştır. Bulunan teorik sonuçlar deneysel sonuçlar ile karşılaştırıldığında aralarında belli bir uygunluk olduğu sonucuna varılmıştır. Deneysel sonuçlarda ilerleme ve paso miktarındaki artışın yüzey pürüzlülüğüne olumsuz, uç radyüsünün büyümesinin ise olumlu etki yaptığı görülmüştür. Deneysel sonuçlarda ilerleme ve paso miktarındaki artışın yüzey pürüzlülüğüne olumsuz, uç radyüsünün büyümesinin ise olumlu etki yaptığı görülmüştür. Deneysel sonuçlarda ilerleme ve paso miktarındaki artışın yüzey pürüzlülüğüne olumsuz, uç radyüsünün büyümesinin ise olumlu etki yaptığı görülmüştür. Deneysel sonuçlarda ilerleme ve paso miktarındaki artışın yüzey pürüzlülüğüne olumsuz, uç radyüsünün büyümesinin ise olumlu etki yaptığı görülmüştür. Deneysel sonuçlarda ilerleme ve paso miktarındaki artışın yüzey pürüzlülüğüne olumsuz, uç radyüsünün büyümesinin ise olumlu etki yaptığı görülmüştür. Deneysel sonuçlarda ilerleme ve paso miktarındaki artışın yüzey pürüzlülüğüne olumsuz, uç radyüsünün büyümesinin ise olumlu etki yaptığı görülmüştür.

Özlu ve Budak (2006), tormalama işlemi için sadece belli parametrelerinden ziyade tüm kesme ve takım geometrisi ile kesici uç yarıçapını kapsayan bir model geliştirmişlerdir. Bu modeli deneysel veriler ile de karşılaştırarak teorik ve deneysel verilerin birbiri ile uyumlu olduğunu görmüş, böylece modelin doğruluğunu da ispatlamışlardır.

Atlar (2007) yaptığı çalışmada, işlenen parçanın esnekliğinin önemli olduğu durumlarda, kesme sürecinin farklı aşamalarında parça dinamiği özelliklerinin değiştiği düşünüldüğü, iş parçası da sisteme dahil edilmemek suretiyle kararlılık diyagramlarının oluşturulması gerektiği tezinden hareketle, tırlama titreşimlerinin meydana gelmediği kararlı kesme derinlikleri, takımın geometrisi ve kesme koşullarının yanı sıra iş parçasının esnekliği de dikkate alınarak iş parçası ve kesici takımın frekans tepki fonksiyonları ayrı ayrı bulunmuş ve ikisinin birleştirilmesi ile kararlılık diyagramları oluşturulmuştur.

Neşeli ve Yıldız (2007), yaptıkları çalışmada takım geometrisinin tirlama titreşimleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Farklı kesme parametreleri kullanarak AISI-1040 malzemedan talaş kaldırmışlardır. Sonuç olarak parametrelerin değişmesi ile tirlama titreşimlerin de değiştiği, kesme parametrelerinin tirlama titreşimleri üzerinde doğrudan bir etkisinin olduğu görülmüştür.

Arık (2010), tirlama titreşimlerinin azaltılarak yüzey kalitesinin iyileştirilmesi için, değişken aralıklar ile yerleştirilmiş takımlar kullanmıştır. Sonuçta geleneksel geometriye sahip freze takımları yerine değişken adımlı takımların kullanılmasının tirlama titreşimlerini azalttığı görülmüştür. Çalışma frezeleme işlemi üzerine de olsa yine takım geometrisinin tirlama üzerine etkilerini incelemiştir.

Akçay vd. (2010) özellikle havacılık sektöründe kullanılan malzemelerin yüzey pürüzlülüğü ve geometrisi açısından kalitesi yüksek, bunun yanında kesme süresinin de kısaltılması adına kararlılık diyagramlarının oluşturulması üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada yine takım geometrilerinin veya kesme koşullarının değişimi ile kararlılık diyagramları geliştirilmiştir.

Yüksek hızda kesmenin (high speed machining) yaygınlaşmaya başlamasına rağmen hala birçok süreç, değişik nedenlerle düşük veya orta kesme hızlarında yapılmaktadır. Bu nedenler genellikle tezgâh, takım ve malzemedan kaynaklanmaktadır. Yüksek hızlı tezgâhların son 10-15 yıl içinde yaygınlaşmaya başladığı düşünüldüğünde sanayide hala birçok konvansiyonel veya düşük hızlı tezgâh olduğu anlaşılabilir. Ayrıca, genelde havacılık ve savunma sanayilerinde kullanılan ama tüketici ürünlerinde de yaygın kullanım bulmaya başlayan titanyum ve nikel alaşımları gibi malzemelerin yüksek hızda kesilmesi, ortaya çıkan yüksek kesme sıcaklıkları ve dolayısı ile takım ömrünün aşırı azalması nedenleri ile pek mümkün değildir. Ekonomik nedenlerle kullanılan kesici takım malzemesi de kullanılabilir kesme hızlarını sınırlamaktadır. Bunlara ek olarak, bazı uygulamalarda işlenen parça yüzey kalitesi ve kalıcı gerilmeler nedenleri ile düşük kesme hızlarında yapılmaktadırlar. Sonuç olarak, süreç sönmemesi, süreç kararlılığı için hem endüstriyel hem de akademik yönlerden araştırılması hâlâ önemli bir konudur.

Neşeli (2013) yaptığı çalışmada tırlamanın azaltılması amacıyla, düşük kesme hızlarında takım ucunun iş parçasına dalması sonucu oluşan süreç sönümlemenin kesme kararlılığına olan etkisi araştırılmıştır. Batma kuvvetlerinden meydana gelen toplam süreç sönümleme oranlarını ve kararlılık bölgelerinin tespiti amacıyla dik kesme koşullarını dikkate alan dinamik bir kuvvet modeli geliştirilmiştir. Modelin simülasyonu ile elde edilen kararlılık diyagramları ile kıyaslanmak üzere deneysel kararlılık noktalarının oluşturulabilmesi için farklı malzeme ve mil hızlarının kullanıldığı bir dizi dinamik tornalama deneyi gerçekleştirilmiştir. Simülatif kararlılık eğrileri ile deneysel kararlı kesme noktaları uyumluluk göstermiştir.

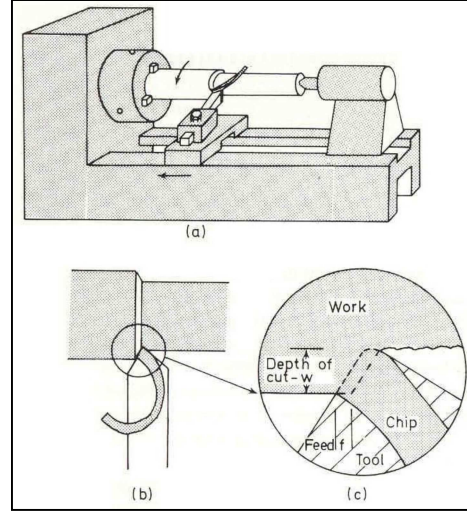
Bu tez çalışmasında özellikle havacılık malzemeleri olarak kullanılan alüminyum, titanyum ve nikel alaşımlarının genel olarak düşük hızlarda işlenmesinden dolayı, konvansiyonel tezgâh ve düşük kesme hızları kullanılmıştır. İyi yüzey kalitesi sağlamak ve kesici uçların ömrünü arttırmak amacıyla seramik malzemedeki (Al_2O_3) üretilmiş kesici uçlar kullanılmış ve bu uçların tırlama titreşimsiz kararlı kesme derinliklerini arttıracığı öngörülmüştür.

Yapılan tüm çalışmalar incelendiğinde görüldüğü gibi çalışmalar takım geometrisi ve kesme sırasındaki takım iş parçası arasındaki kesme koşulları üzerine yoğunlaşmıştır. Bunun yanında seramik esaslı kesici uçlar üzerine yapılan çalışmalar sınırlı kalmıştır. Bunlara ilave olarak Kesici takım malzemesinin tırlama titreşimlerini üzerinde yaptığı etkiyi inceleyen veya farklı malzemedeki üretilmiş 2 kesici ucu karşılaştıran çalışmalar üzerinde fazla durulmadığı görülmektedir.

2.2. Talaşlı İmalat

Talaşlı imalat; şekillendirilmek istenen bir iş parçasının kendisinden daha sert bir metal ile yüzeyinden parça kopartılarak şekillendirilmesi işlemidir. Bu işlem ile genelde simetrik olmak üzere düz ve dairesel olan birçok parça kolaylıkla üretilebilmektedir. Bu nedenle talaşlı imalat yöntemleri endüstride birçok farklı alanda en yaygın kullanılan imalat yöntemidir. Talaşlı imalat için çok değişik yöntemler mevcuttur. Tornalama da bu yöntemlerden biridir.

Tornalama iş parçasının belli bir devir sayısında döndürülmesi ve tek ağızlı bir kesici ucun iş parçasına değdirilmesi ve iş parçasından talaş kaldırılması işlemidir. Şekil 2.1’de torna tezgâhı ve tornalama işlemi gösterilmektedir. (Çevik, 2006)



Şekil 2.1. Torna tezgâhı ve tornalama işleminin şematik olarak gösterimi (Trent, 1989)

Kesme hızı (V), kesilmemiş iş parçası yüzeyindeki bir noktanın kesici takım önünde birim zamanda aldığı yol olarak tanımlanır ve çoğunlukla m/dk olarak ifade edilir. İlerleme hızı (f), tezgâhın her bir devrine karşılık kesici ucun kesme yönündeki ilerleme mesafesidir. Talaş derinliği (a), kesici ucun talaş kaldırılan malzemeye batma miktarıdır. Bu değer iş parçasına dik yöndedir. Bu parametrelerin çarpımı ile kesme işleminin verimliliğini ifade eden talaş kaldırma oranı bulunmuş olur. (Trent, 1989).

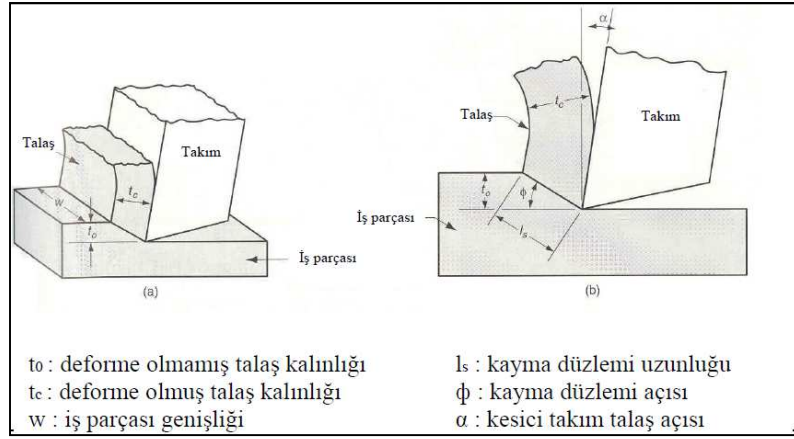
2.2.1. İşlenebilirlik

Talaşlı imalat işlemleri genellikle ticari bir amaç için yapıldığından, bu işlemin maliyeti de en az prosesin kalitesi kadar önemlidir ve yapılacak işin toplam maliyeti üzerinde önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle kesme prosesindeki performansı arttırmak için birçok çalışma yapılmıştır. İşlenebilirlik, kesme prosesi sırasında iş parçasının talaş kaldırma işlemine karşı gösterdiği direnç tepki olarak tanımlanabilir. (Çevik, 2006).

Yani talaşlı imalat işlemi sonucunda elde edilen yüzey kalitesi ne kadar iyi durumda ise işlenebilirlik te o kadar iyi demektir. İşlenebilirlik tezgâha, kesici uca ve kesme koşullarına bağlıdır. Bu bağlamda tezgâhın devri ve ilerleme hızı, kesici ucun

geometrisi, kesme işlemi sırasında açığa çıkan ısı, iş elemanı ve kesici uç malzemesi gibi etkenler işlenebilirlik üzerine diğer bir değişle tırlama titreşiminin oluşumunda etkin rol oynamaktadır.

Talaşlı imalat işlemi aslında 3 boyutlu bir yapıya sahiptir. Bu nedenle karmaşık bir yapıdır. Bu nedenle bu işlemin mekaniğinin tanımlanması ve anlaşılabilmesi iki boyutlu olan dik kesme (ortogonal) modeli kullanılır (Şekil 2.2). Talaş kaldırma, kesici kenarın iş parçasına batması ile iş parçasından kopardığı parçanın oluşturduğu düzlemsel kesit olarak açıklanabilir (Şeker, 1997).



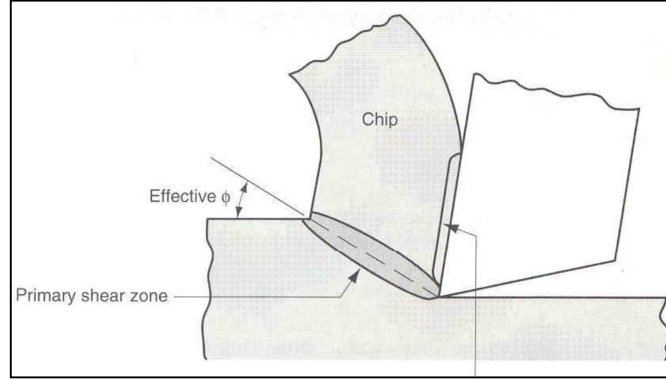
Şekil 2.2. Dik kesme modeli (Groover, 1996)

2.2.2. Talaşlı imalat mekaniği ve talaş oluşumu

Ortogonal modelin talaşlı imalatta, talaş kaldırma mekaniğinin belirlenmesinde önemli bir yeri vardır. Bu modele, kesici takımın iş parçasına belli bir açıyla yaklaştırılıp ardından tezgâh marifeti ile iş parçası üzerine kuvvet uygulaması sonucunda, kesici takıma göre daha yumuşak olan iş parçasının kayma gerilmesini aşan bir kuvvete maruz kalması ile talaş oluşumu gerçekleşir. (Groover, 1996).

Gerçekte ise talaş kesici takım ile iş parçası arasındaki küçük bir alanda gerçekleşir. (Şekil 2.3). Talaş oluşumu gerçekte, iş parçasının kesici takım önünde bölgesel olarak plastik deformasyona uğratılmasından ibarettir. Kesme işlemi, iş parçası üzerine kesici takım tarafından uygulanan kuvvet sonucunda birinci deformasyon bölgesi olarak ta adlandırılabilir bölgeden bir miktar parçanın ayrılması ardından kesici takımın talaş

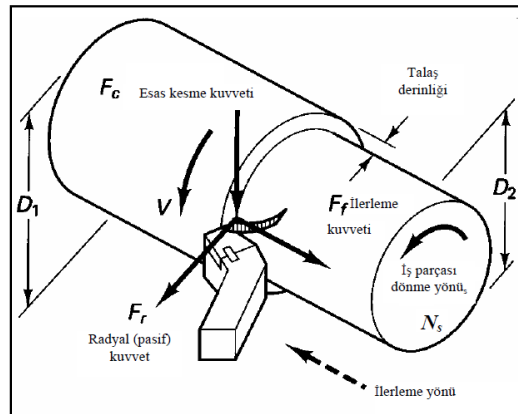
yüzeyinde tekrardan deformasyona uğratarak kesme bölgesinden uzaklaştırılması şeklinde bir süreç izleyerek cereyan eder (Çevik, 2006).



Şekil 2.3. Gerçek talaş oluşumu (Groover, 1996)

2.2.3. Talaşlı imalat işleminde kesme kuvvetleri

Tornalama işlemi sırasında kesme işleminin gerçekleşmesi için belli kuvvetler oluşmaktadır. Oluşan bu kuvvetlerin kesme işleminin oluşumunda önemli etkileri olduğu gibi işlenebilirliği, dolayısı ile yüzey kalitesi, takım ömrü ve tirlama titreşimlerinin oluşumunda önemli bir etkiye sahiptir. Tornalama işleminde oluşan kuvvetler Şekil 2.4'te görüldüğü gibidir.



Şekil 2.4. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri (DeGarmo, vd. 1997)

- Esas kesme kuvveti (F_c): Kesme işlemindeki ana kuvvettir. Kesme hızı yönünde etki ederek talaş kaldırma işleminde harcana gücün hemen hemen % 99'unu oluşturur.
- İlerleme kuvveti (F_f): Kesici takımın ilerlemesi yönünde etkiyen kuvvettir.

c. Radyal kuvvet (F_r): Talaş kaldırma işleminin meydana geldiği iş parçası yüzeyine dik etkiyen kuvvettir. (DeGarmo, vd. 1997).

Sonuçta talaş kaldırma işlemi için harcanan bileşke kuvvet bu üç kuvvetin vektörel olarak toplanması ile bulunur:

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_r^2} \quad (2.1)$$

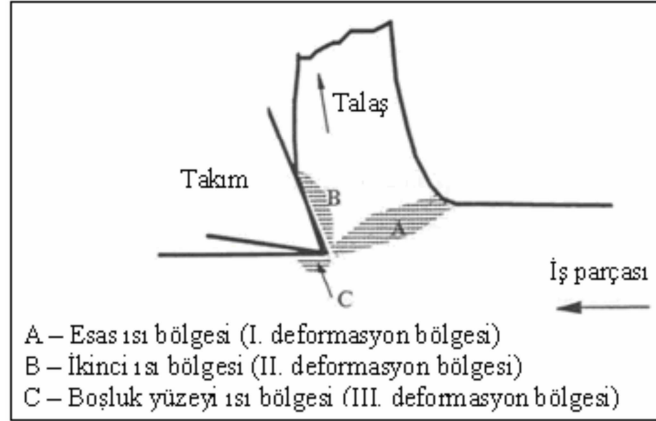
2.2.4. Talaşlı imalat işleminde ısı ve sıcaklık

Talaşlı imalat işleminde kullanılan güç ($F_c V$) çoğunlukla ısıya dönüşür. Bu ısı kesici takım ve iş parçasının sıcaklığını hissedilir düzeyde artırır. Bu ısı artışı talaşın kesme bölgesinden uzaklaştırılma durumuna da bağlı olarak artabilir veya azalabilir. (Zhang, 1991). Bu ısı kesici takımın kesme kabiliyetini ve kesme sonucu elde edilen yüzeyin kalitesini ve geometrisini etkiler. (Sandvik Coromant, 1994). Şekil 2.5'te görüldüğü gibi, kesme bölgesinde ısı oluşumunun görüldüğü 3 bölgeden bahsedilebilir. Bunlar;

A- Kayma düzlemi; Burada oluşan ısının büyük bölümü talaş üzerinde kalır ve talaş ile birlikte kesme bölgesinden uzaklaştırılır.

B- Takım-talaş ara yüzeyi temas bölgesi; Bu bölge kesme işlemindeki ikinci deformasyon bölgesidir ve bu deformasyon nedeniyle de ısı oluşumu gerçekleşir.

C- Takım yan yüzeyi; takımın kesme işlemi sonrası talaşın kaldırılması ile iş parçası üzerinde yeni oluşan yüzeye sürtünmesi ile oluşan ısıdır. Bu ısı kesici ucun körelmesi ile birlikte artacaktır (DeGarmo vd. 1997).



Şekil 2.5. Kesme bölgesinde ısı oluşumu (Köksal, 2000)

Isının tüm metaller üzerinde önemli bir etkisi olduğu gibi kesici uç üzerinde de aşınma ve takım ömrü gibi parametrelerde önemli bir etkisi vardır. Ayrıca kesme hızının artırılması konusunda önemli bir engeldir. Oluşan ısıнын çoğu talaşla birlikte atılır. Bunun yanında iş parçası ve kesici takım ile de kesme bölgesindeki ısı uzaklaştırılır. Doğal olarak uzaklaştırılan ısı miktarı iş parçası malzemesi kesme parametreleri takımın malzeme ve geometrisi ve diğer kesme koşullarına bağlıdır. (Zhang, 1991).

Isı tornalamada kaçınılmaz bir durumdur. Kesme hızının artışıyla doğru orantılı olarak ısı oluşumu daha da artmaktadır. Oluşan ısı yüzey kalitesini etkilemekte, dolayısı ile tırlama titreşimlerini arttırmaktadır. Bu nedenle kesici uç malzemesinin ısıya dayanımı büyük önem arz etmektedir.

2.3. Seramik Malzemeler ve Kesici Uçlar

2.3.1. Seramik malzemeler

Seramik malzemeler metal ve metal olmayan elementlerin birbirlerine birinci derecede iyonik veya kovalent bağla bağlandığı inorganik malzemelerdir. Seramik malzemelerin kimyasal yapısı çok basitten karmaşığa kadar geniş bir dağılıma sahiptir. Seramik malzemelerin özellikleri atomlar arası bağlarına göre değişir. Seramik malzemeler genel olarak tokluğu düşük sünekliği az, sert ve kırılğan bir yapıya sahiptirler. Seramik malzemelerin dielektrik ve ısıya karşı yalıtım özellikleri oldukça iyidir. Yüksek erime

sıcaklığına sahiptirler. Bu özellikleri birçok mühendislik tasarımında seramikleri vazgeçilmez kılar (William, 2001).

Seramik malzemeler genel olarak geleneksel seramikler ve mühendislik seramikleri olarak iki ana gruba ayrılabilirler. Geleneksel seramikler günlük hayatta fayans, tuğla, çeşitli mutfak gereçleri, elektrik sektöründeki elektroporselen olarak karşımıza çıkmaktadır. Mühendislik seramikleri saf ve safa çok yakın olan alüminyum oksit (Al_2O_3), silisyum karbür (SiC) ve silisyum nitrür (Si_3N_4) gibi bileşiklerden oluşur. Mühendislik seramikleri imalat sanayi, otomotiv sanayi ve uzay sanayinde kullanılmaktadır (Şahin, 2001).

Mühendislik seramikleri veya teknik seramikler başlıca saf oksitlerin, karbürlerin ve nitrürlerin bileşenleridir. Bazı önemli mühendislik seramikleri (Al_2O_3), silisyum Nitrür (Si_3N_4), silisyum karbür (SiC) ve zirkonyadır (ZrO_2). Alümina (Al_2O_3) başlangıçta yüksek sıcaklıkta kızıl sertliği yüksek malzeme, boru ve yüksek saflıkta pota üretiminde kullanılmıştır. Alüminyum oksit genellikle magnezyum oksitle etkileşerek soğuk preslenerek ve daha sonra sinterlenerek elde edilir (Donald, 1998).

Bütün seramik malzemeler nispeten kırılıgandır. Seramik malzemelerin çekme ve basma dayanımları arasında büyük fark vardır. Basma dayanımları çekme dayanımlarından 5 ile 10 kat daha büyüktür. Çoğu serttir ve darbe dayanımları düşüktür. Çoğu seramik malzeme güçlü iyonik-ortaklaşım bağlar nedeniyle genellikle düşük ısı iletkenliğe sahiptir ve ısı ıyalıtandır. Yüksek ısı ı dirençleri nedeniyle seramik malzemeler sıvı ve gaz sıcak ortamlardaki etkilere dayanan malzeme olarak kullanılır (William, 2001).

2.3.2. Seramik kesici uçlar

Talaşlı imalatta ihtiyaçlar doğrultusunda sürekli olarak üretimin arttırılması isteğı doğal olarak yüksek kesme hızlarında talaş kaldırılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu hızların ise kesici takım ömrü üzerindeki doğrudan etkisi dikkate alındığında seramik kesici uçların ortaya çıkması kaçınılmaz olmuştur. Seramik kesici uçlar 1930'lu yılların başlarından itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Ancak teknolojik kısıtlardan dolayı seramik kesici takımların gelişiminde yavaşlamalara sebep olmuştur. Kesme seramikleri İkinci Dünya

Savaşı sırasında kullanılmaya başlanmış ve sert metallere önemli rakip olmuştur. Son yıllarda bu kesicilerde yapılan iyileştirmeler çok iyi noktalara ulaşmıştır. (Şahin, 2001).

Takım tezgâhları ile malzeme işlenmesinde özellik yüksek mukavemete sahip dökme demir, yüksek alaşımlı ve nikel alaşımlı malzemelerin işlenmesi her zaman sorun olmuştur. Bu zorluk malzemenin işlenememesi veya yüksek maliyetlerle işlenmesi şeklinde karşımıza çıkmıştır.

Günümüzde imalatın yüksek kesme parametreleriyle yapılabilirliği önemlidir. Kesme parametrelerinden en çok kesme hızının artırılması önemlidir. Çünkü yüksek kesme hızları kesici takım ile talaş yüzeyi arasında yüksek sıcaklıkların oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum yüksek sıcaklıklarda kimyasal kararlılığını koruyan ve ısı şoklarına karşı iyi direnç gösteren dolayısıyla da iyi mekanik özellikleri içeren malzemeleri gerektirmektedir. Seramik kesici uçlar kimyasal özelliklerinden dolayı ısıya karşı dirençleri metal esaslı kesici uçlara göre çok daha yüksektir. Bu nedenle kesme performansları da daha iyidir. Yüksek sertlik özelliği gösteren seramik kesici uçlar yüksek sıcaklıklarda sertliklerini koruyabildikleri gibi iş parçasıyla da reaksiyona girmezler. Yüksek kesme hızlarına dayanma ömürleri yüksektir. (Doğan, 2010)

Seramik kesiciler sert metallerde olduğu gibi granül olarak hazırlanan seramik tozlarının yüksek basınç altında sıkıştırılarak şekillendirilmesi, ardından belli bir sıcaklık rejiminde sinterlenmesiyle (granül haldeki seramik tozlarının istenilen şekil verildikten sonra erime sıcaklığının altındaki, ancak rekristalizasyonun oluşabileceği bir sıcaklığa belli bir süre maruz bırakılmasıdır.) ile elde edilirler.

Seramik takımlar doğru kullanıldığında çok avantaj sağlarlar. Seramik kesici takımlar ile yüksek kesme hızları ile çalışmak mümkün olduğundan işleme zamanı kısılır. Büyük kesme derinliği ve ilerleme değerleri sağlanır. Uygun koşullarda kullanılırsa ömürleri sert metal takımların ömrünün 3 ila 10 katıdır. Mukavemetlerini ve sertliklerini yüksek sıcaklıklarda korurlar. Aşınma mukavemeti yüksek olduğundan iş parçaları üzerinde dar toleranslarla çalışmak mümkündür. Seramik kesici takımlarla yapılan işlemlerde daha düzgün yüzeyler elde edilir. Ancak dezavantaj olarak kırılmaya eğilimleri

vardır. Bu nedenle kaba işleme sırasındaki kesikli paso kaldırma işlemine uygun olmadıkları söylenebilir.

Seramik kesicilerin dar olan kullanım alanları seramik-ana malzemeli karma malzemelerin ortaya çıkmasından sonra artmaya başlamıştır. Seramik kesicilerin üretiminde temel bileşen olarak genelde alüminyum oksit (Al_2O_3) kullanılmaktadır. Bunun yanında magnezyum oksit (MgO), zirkonyum oksit (ZrO) gibi malzemeler farklı özellikteki seramiklerin elde edilmesinde kullanılmaktadır. Seramik kesici uçlar üç grupta incelenir (Doğan, 2010).

1. Alüminyum oksit esaslı seramik uçlar (Al_2O_3)
2. Silisyum nitrür esaslı seramik uçlar (Si_3N_4)
3. Kaplamalı seramikler

Alüminyum oksit esaslı kesiciler yüksek aşınma dayanımları özellikleri nedeniyle yüzey kalitesi gerektiren işlemlerde çok iyi sonuç verirler. Soğuk ve sıcak presleme olmak üzere iki şekilde üretilirler. Soğuk preslemede kimyasal ve ısı işlemlerle alüminyum tozlarının ayrıştırılması ile saf alümina (Al_2O_3) tozları elde edilir. %90 saflıkta elde edilen alümina tozları çok ince tane boyutunda olacak şekilde öğütülür. Öğütülen bu tozlar yıkama işleminden sonra kurutulur ve geçici bağlayıcılık görevini üstlenecek olan balmumuyla karıştırılır. Sıcak presleme yapmadan önce şekillenen bu tozlar ön sinterleme işlemine tabi tutulur. Daha sonra sıcak presleme ve sinterleme işlemi bir arada yapılır. Elde edilen uçlar soğumaya bırakılır (Çiftçi, 2003).

Alüminanın teknik özelliklerinin artırılması da mümkündür. Örneğin %10 ZrO_2 ilavesi, kırılma tokluğunu önemli ölçüde (~%25) iyileştirmekte, dökme demir ve nikel esaslı alaşımlar gibi işlenmesi zor, sert malzemelerin işlenebilirliğini artırmaktadır. Titanyum karbür (TiC) ise Al_2O_3 'ün ısı iletkenliğini, dolayısıyla termal şoklara karşı direncini arttırmaktadır. Yine Alümina esaslı takımların SiC wiskerlerle desteklenmesiyle kırılma tokluğu, mukavemet ve ısı şok dirençleri iyileştirilebilmektedir. Wiskerler (Yaklaşık 1 mm çapında ve 20 mm boyutunda olan parçacıklar), alüminanın sertliğini ve aşınma direncini yükseltirler. Yapılan bu tür iyileştirmeler ile seramik kesici takımlar, sert malzemelerin kesintili talaş kaldırma işlemlerinde dahi kullanılabilir (Trent, 1977).

Bu tez çalışmasında Alümina olarak da adlandırılan (Al_2O_3) esaslı Böhler marka seramik kesici uçlar kullanılacaktır. Kullanılacak olan kesici uç %99,7 saflıktadır.

3. ÇALIŞMADA KULLANILAN KESİCİ UÇLARIN KARŞILAŞTIRMASI

3.1. TiC ve Seramik Uçların Tornalama Şartlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde; Türkeş'in 2007 doktora tezinde, deneysel çalışmalarında kullandığı TiC kesici uçlar ile bu çalışmadaki deneysel faaliyetlerde kullanılan % 99,7 saflıkta alümina esaslı kesici uçların geometrik açıdan karşılaştırılması yapılmıştır.

Çizelge 3.1'de görüldüğü gibi kullanılan seramik ve TiC kesici uçlar arasında farklı değerlere sahip parametreler (açılar) mevcuttur. Bu parametrelerdeki farklılığın takımın işleme performansına olan etkileri aşağıda incelenmiş ve karşılaştırması yapılmıştır.

Çizelge 3.1. Kesici uç karakteristikleri.

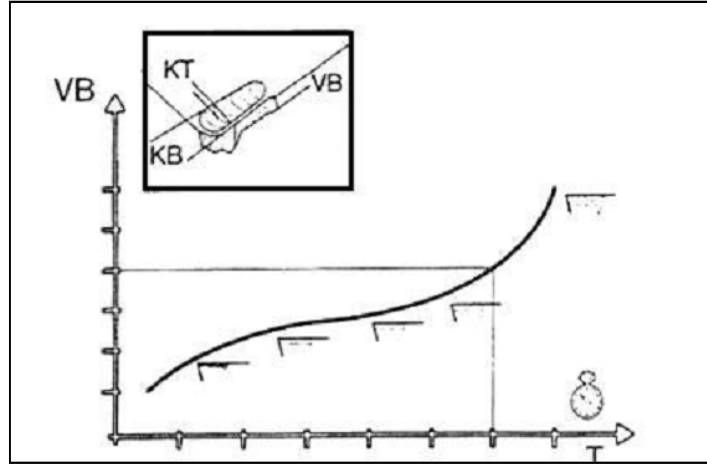
	Yanaşma Açısı (°)	Boşluk Açısı (°)	Eğim Açısı (Talaş Açısı) (°)	Takım Uç Radyüsü (mm)
Seramik Kesici Uç	72	3	-3	0,8
TiC Kesici Uç	90	7	0	0,8

3.1.1. Takım aşınması ve takım ömrünün tırlama titreşimlerine etkisi

Takım aşınması, kesme prosesinde kullanılan kesici iş parçası ile temas ettiği bölgede parçalar halinde dökülmesi olarak tanımlanabilir (Altıntaş, 2000). Takım aşınmasına neden olan en büyük etken proses sırasındaki sürtünmedir. Ortaya çıkan yüksek sıcaklık ise aşınmayı hızlandıran bir katalizör gibi etki yapmaktadır. (Akkurt, 2000).

Kesici takımların kesme performansını etkileyen malzemeye yönelik 3 önemli karakteristik özellik, aşınmaya, kırılmaya ve plastik deformasyona karşı gösterdikleri dirençtir. Özellikle metal kesici uçlarda olmak üzere, bu tür malzeme özelliklerini iyileştirmek için kesici uçlar kaplanırlar. Kaplama malzemesinin özellikleri sayesinde takımların yukarıda belirtilen malzeme özellikleri iyileştirilmiş olur. Böylece dolaylı olarak takım deformasyon ve kırılma davranışlarına etki ederler. Aşınmanın zamana göre miktarı ne kadar az olursa, doğal olarak takım ömrü de o düzeyde uzamış demektir. Bu

nedenle Şekil 3.1'de görülen grafikteki eğim açısı ne kadar küçük olursa zamana karşı aşınma da o kadar az demektir. Bu durum kesici takımın sertliğinin arttığına da bir göstergesidir (Çakır, 1999).



Şekil 3.1. Kesme kuvvetlerinin kesici takım sertliğine etkisi (Çakır, 1999)

Talaş kaldırma işlemi sırasında esas kesme F_s , ilerleme F_v ve radyal kuvvetler olmak üzere 3 çeşit kuvvet oluşmaktadır. Bu kuvvetler takım, iş parçası ve kesme parametreleri üzerinde değişmelere neden olurlar. Bu kontrolsüz değişimler, yüzey kalitesini de doğrudan etkiler.

Kesme işlemi sırasında takım tezgâhı, kesici takım ve iş parçasının oluşturduğu sistem esnek bir yapıya sahiptir. Dolayısıyla kesme işlemi süresince bu zincirde görülen değişiklikler (özellikle kesme kuvvetlerindeki değişimler) titreşime neden olurlar. Oluşan bu titreşimlerin şiddetlendiklerinde, yüzey kalitesini önemli düzeyde bozan, kesme işlemindeki zinciri oluşturan zincir elemanlarına zarar veren tırlama titreşimlerine dönüşürler.

3.1.2. İlerleme hızı ve kesici uç köşe radyüsünün tırlama titreşimlerine etkisi

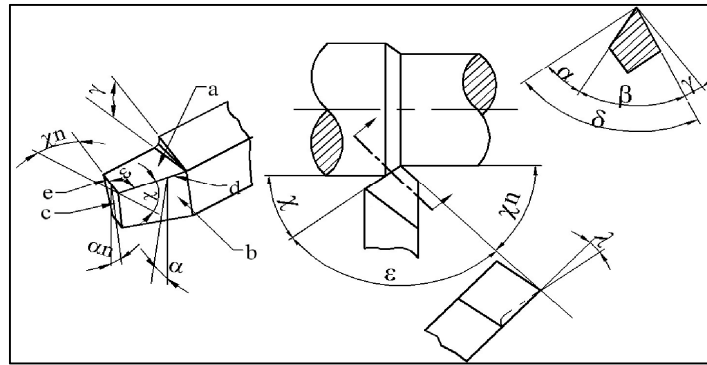
Kesme hızının yükseltilmesi ve pozitif kesme geometrisi ile teorik maksimum yüzey pürüzlülüğü değeri (R_t) büyütülebilir.

Kesme hızı, ilerleme hızı ve köşe radyüsü yüzey kalitesinin elde edilmesinde doğrudan etkiye sahiptirler. Kesme hızı talaşın kesici ucun talaş yüzeyine yapışmasına,

aşınmaya olan etkilerinden dolayı, yüzey kalitesi konusunda ikincil düzeyde olduğu belirlenmiştir (Kandemir ve Özdemir, 1999).

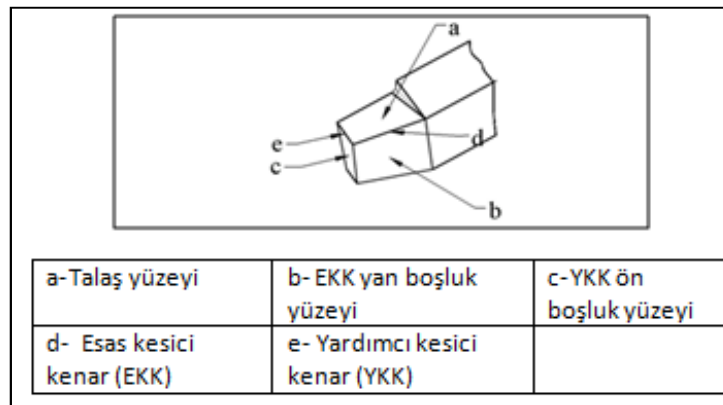
3.1.3. Takım (kater) geometrisinin tırlama titreşimlerine etkisi

Tornalama işlemlerinde kullanılan takımlar (kalemler) tek ağızlı takımlardır. Torna kalemleri sap ve kesici kısımdan meydana gelir. Kesici kısım, talaş yüzeyi, serbest yüzeyler ve ağızlardan oluşur (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Takım geometrisi. (Kalaycı & Genç)

Yine tornalama işleminde kullanılan kesici uçlara ait yüzeyler Şekil 3.3'te verilmiştir. Bu yüzeylerin kesme prosesi üzerine etkileri ilerleyen bölümlerde açıklanmıştır.

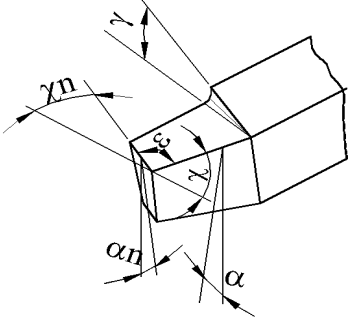


Şekil 3.3. Katerde kullanılan kenar ve yüzeyler. (Kalaycı & Genç)

Yukarıda belirtildiği üzere kesici takımlar kendilerine özgü takım açılarına sahiptir. Bu açıların az veya çok oranda takımın işleme performansına etkileri vardır. Bu açıları ve alabilecekleri değerlere birer örnek Çizelge 3.2’de verilmiştir.

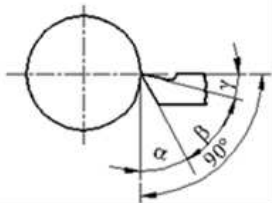
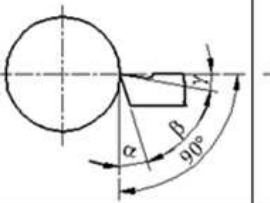
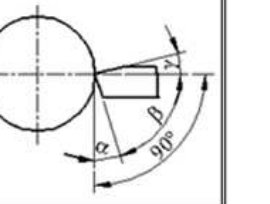
Çizelge 3.2. Kesici açıları ve alabilecekleri değerler.

AÇI	AÇININ TANIMI	DEĞERİ
$\alpha -$	Esas Kesme Kenarı (EKK) yan boşluk açısı	3°
$\alpha_n -$	Yardımcı Kesme Kenarı (YKK) ön boşluk açısı	3°
ϵ	Kama açısı (Uç Açısı)	90°
$\gamma -$	Talaş açısı	-3°
$\chi =$	Ayar (Yanaşma) açısı	72°
$\chi_n =$	Yardımcı Kesme Kenarı (YKK) ayar açısı	18
R	Burun radyüsü (yarıçapı)	0,8



3.1.3.1. Talaş açısının etkisi (γ)

Kalemin üst yüzeyindeki yatay düzlem ile esas kesici kenar arasındaki açıdır. Talaşın oluşumunu, talaşın akış yönünü etkiler. Açı değerleri $1^{\circ} \sim 3^{\circ}$ arasında değişir. Şekil 3.4’de takım geometrisinin değişimi ile hangi tür malzemelerin işlenebileceği gösterilmiştir.

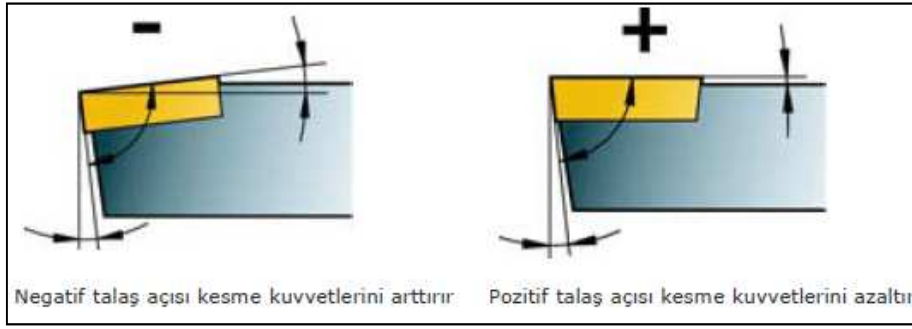
		
$\alpha = 12^{\circ}$ $\beta = 53^{\circ}$ $\gamma = 25^{\circ}$ $\alpha + \beta + \gamma = 90^{\circ}$	$\alpha = 10^{\circ}$ $\beta = 70^{\circ}$ $\gamma = 10^{\circ}$ $\alpha + \beta + \gamma = 90^{\circ}$	$\alpha = 8^{\circ}$ $\beta = 97^{\circ}$ $\gamma = -15^{\circ}$ $\alpha + \beta + \gamma = 90^{\circ}$
Büyük boşluk açısı, küçültülmüş Kama açısı, büyük talaş açısı (Al ve Al alaşımlı yumuşak mlz)	Orta büyüklükte boşluk açısı, büyütülmüş Kama açısı, orta büyüklükte talaş açısı (Çelik gibi orta ve sert mlz.)	küçük boşluk açısı, çok büyük kama açısı, negatif Talaş açısı (sert döküm, cam, porselen gibi gevrek mlz. için)

Şekil 3.4. Takım geometrisine göre işlenebilecek malzemeler. (Kalaycı & Genç)

Bununla birlikte; efektif bir kesme işlemi için en iyi seçim pozitif talaş açılı katerlerin kullanılmasıdır. Pozitif talaş açısı daha büyük kayma açısı oluşturur ve talaşın serbest bir şekilde akması sağlanmış olur.

Genel olarak sertliği düşük malzeme olarak bilinen çekme dayanımı düşük aşındırıcı özelliği olmayan malzemeler, çapına göre boyu uzun olan miller vs. işlenirken pozitif talaş açılı kesici takımlar kullanılır.

Bunun tersi olarak sert malzeme olarak nitelendirilebilecek çekme dayanımı yüksek aşındırıcı özellikli malzemelerde, kesintili kesme işlemlerinde negatif açılı kesici takımlar kullanılmaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Kesici takım uç açısı. (Anonim, 2014)

Ayrıca yapılan deneysel çalışmada talaş açısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelendiğinde, talaş açısının daha küçük negatif değerlerinde turlama titreşiminin çok daha fazla olduğu saptanmıştır. -3° Talaş açılı takımla yapılan işlemede meydana gelen yüzey pürüzlülüğü -6° ve -9° 'dekine göre daha düşük olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca talaş kaldırma esnasında talaş açısı -9° iken -3° ve -6° 'ye göre daha yüksek gürültü meydana gelmiştir.

Bu tez çalışmasında kullanılan tüm malzemeler sertliği düşük ve içyapısında aşındırıcı içermeyen malzemelerdir. Bu nedenle deney malzemelerinin işlenmesinde pozitif talaş açılı kesici uçlarının kullanılması turlama titreşimin oluşmaması yönünde avantaj sağlayacaktır.

3.1.3.2. Yaklaşma (ayar) açısının etkisi

Sarı (2008), yaptığı deneysel çalışmalarda; yaklaşma açısı 45° olduğu durumda tirlama titreşimi en küçük seviyede gerçekleşmiş, açı değerinin 60° ve 75° olduğu durumlarda kesme kuvvetinde meydana gelen artışlardan dolayı titreşimlerde önemli ölçüde yükselmeler olmuştur. Kesme işlemi sonrası oluşan yüzeyin yüzey pürüzlülüğü (Ra) ölçüldüğünde, tirlama titreşimlerinin şiddetinin artmasıyla doğru orantılı olarak yüzey pürüzlülüğünün de arttığı görülmüştür.

χ Ayar açısı $30^\circ - 90^\circ$ arasında verilebilir. Kesme kuvvetlerinin hesaplanmasında kullanılır. En ideal değeri $45^\circ-90^\circ$ arasındadır.

3.1.3.3. Esas kesme kenarı boşluk ve yardımcı kesme kenarı ön boşluk açılarının etkisi (α ve α_n)

Boşluk açısı takımın iş parçasına olan sürtünmesini azaltmak için verilen bir açıdır. Bu açı büyüdükçe sürtünme azalacaktır ancak, açının büyümesi takım mukavemetini düşürecek yönde etki edecektir. Bu nedenle bu iki durum da göz önüne alınarak takım seçilmelidir.

3.1.3.4. Kalemlığın iş parçası ekseninden kaçıklığının etkisi

Kater iş parçasının eksenini ile çakışık olduğu, eksenin altında olduğu ve üstünde olduğu durum olmak üzere 3 durum söz konusudur.

1. Kesici uç eksen ile çakışık ise kesme parametreleri ve kuvvetleri tasarım değerlerinde ve istenen düzeyde olduğu söylenebilir.

2. Kesici ucun iş parçası eksenin altında olması talaş açısı ve boşluk açılarını değiştirecektir. Bu durumda kesme kuvvetleri önemli düzeyde artar. Bu durum takım ömrünün azalması ve tirlama titreşimlerinin oluşumu anlamına gelmektedir.

3. Kesici ucun iş parçası ekseninin üzerinde olması durumunda kesici uç kesme işlemini yapamayacak dolayısıyla sadece sürtünecektir. Bu durum takımın ömrünü azaltan ve tirlama titreşimlerini arttıran bir durum olarak kendini gösterecektir.

3.1.4. Değerlendirme

Takım geometrisi açısından kesme kuvvetlerini, dolayısı ile işlenebilirliği etkileyen en önemli açılar talaş açısı, yaklaşma açısı ve boşluk açısı olarak kendini göstermektedir.

Bu çalışmada kullanılan iş parçaları sertliği düşük ve aşındırıcı içeriğe sahip olmayan malzeme özelliklerine sahiptir. Bu nedenle; talaş açısı olarak pozitif açılardan seçilmesi işlenebilirliği kolaylaştıracak, tırlama titreşimlerinin oluşumunu zorlaştıracaktır. Buna karşın açı negatife kaydığı sürece bu durumun aleyhinde sonuçlar ortaya çıkacaktır. Çalışmada kullanılan TiC kesici uç, seramik uca göre daha pozitif bir talaş açısına sahiptir.

Yanaşma açısı bakımından açı değeri büyüdükçe kesme kuvvetlerinin azaldığı ve işlenebilirliğin arttığı görülmektedir. Buna karşın esas kesici kenarın uzaması, kesici ucun ısınmasına ve dolayısı ile ucun çabuk körelmesine neden olacaktır. Bu çalışmada karşılaştırması yapılan TiC ucun yaklaşma açısı 90^0 , alümina esaslı seramik ucun ise 72^0 'dir. Bu durum kesme kuvvetleri açısından alümina esaslı seramik uç için avantaj gibi görünse de oluşacak ısıdan dolayı kesici ucun körelmesi ve termal şok oluşma riski ortaya çıkacaktır.

Boşluk açısı, kesici uç ile iş parçası arasındaki sürtünmenin azaltılması için verilen bir açıdır. Bu açının fazla verilmesi kesici ucu zayıflatırken işlenebilirliğe ise olumlu katkıları olmaktadır. Deneyde karşılaştırması yapılan TiC ve alümina esaslı seramik kesici uçların ikisi için de böyle bir açı verilmiştir.

Sofuoğlu (2015) yaptığı çalışmada, takım geometrisinin etkisinin malzeme sertliğine ve kesme hızlarına göre düşük olduğunu gözlemlemiştir.

Sonuç olarak takım geometrisinden kaynaklı olarak iki kesici ucun da birbirlerine karşı belirgin bir üstünlüğünün olmadığı görülmektedir. Uçlar arasındaki en belirgin fark **uç malzemelerinin farklılığı** olarak göze çarpmaktadır.

4. ÇALIŞMADA KULLANILAN İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER

4.1. Regresyon Analizi

Üzerinde durulan değişkenlerden birinin bağımlı, diğerinin bağımsız olduğu, bağımlı değişkenin bağımsız değişkenin bir fonksiyonu olarak ortaya konulduğu değişkenler arasındaki ilişkiye regresyon denir. Bu ilişkiyi incelemek üzere kullanılan analiz yöntemi ise regresyon analizidir.

Regresyon analizinde amaç iki veya daha çok sayıdaki değişkenin arasındaki ilişkinin irdelenmesidir. Bu sayede mevcut bilgilerden hareketle gelecekte oluşabilecek durumlarla ilgili tahminler üretmek mümkün olmaktadır. Değişken olarak bir bağımsız değişken kullanılıyorsa bu tek değişkenli regresyon, eğer birden fazla bağımsız değişken söz konusu ise çok değişkenli regresyon olarak adlandırılır. Bu analiz ile söz konusu değişkenler arasında bir ilişkinin olup olmadığı, eğer bir ilişki varsa bu ilişkinin gücü hakkında fikir sahibi olunur (Akgül ve Çevik, 2005).

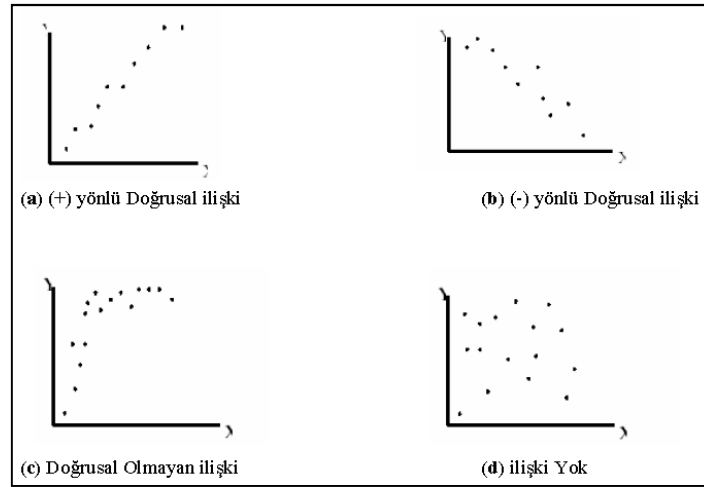
Regresyon analizi ile bilinen elde edilmiş verilerden bilinmeyen bir veri elde edilebilir. Öncelikle bağımlı değişken veya değişkenler ile bağımsız değişken veya değişkenler arasında bir bağ kurularak tahmin eşitliği geliştirilir. Söz konusu değişkenler arasındaki ilişki belirlendikten sonra bilinen bağımsız değişken değerleri yerine yazılarak bağımlı değişkenlerin değeri teorik olarak bulunmuş olur. (Karataş, 2014)

Regresyon analizinin korelasyondan farkı; korelasyon en az iki değişken arasındaki ilişkiyi gösterirken, regresyon bu değişkenler arasındaki ilişkinin bir denklem olarak ifadesidir. Bu şekilde bir serpm diyagramında elde edilen noktalar dikkate alındığında, bu noktalara en yakın yerden geçen doğruyu çizerek bu doğruyu ifade eden fonksiyon denklemini bulunmuş olur. İşte diyagram üzerinde çizilen bu çizgiye regresyon çizgisi, çizgiyi ifade eden denkleme ise regresyon denklemi denir. Sonuç olarak bu denklemi kullanarak bağımsız değişkendeki birim artış veya azalışa göre bağımlı değişkenin durumu tahmin edilmiş olur (Çil, 2005).

Bağımlı Değişken (Y); Analiz sırasında başka bir değişkene göre değişen veya şekillenen elemandır. Bu değişken doğal olarak bağımsız değişkenle belli bir ilişkiye sahiptir (Karataş, 2014).

Bağımsız Değişken (X); Diğer değişkenlere bağımlı olmayan, kendisinin değerine göre bağımlı değişkenin değiştiği değişkendir. Bu değişkenin durumuna göre bağımlı değişkenin değeri tahmin edilir.

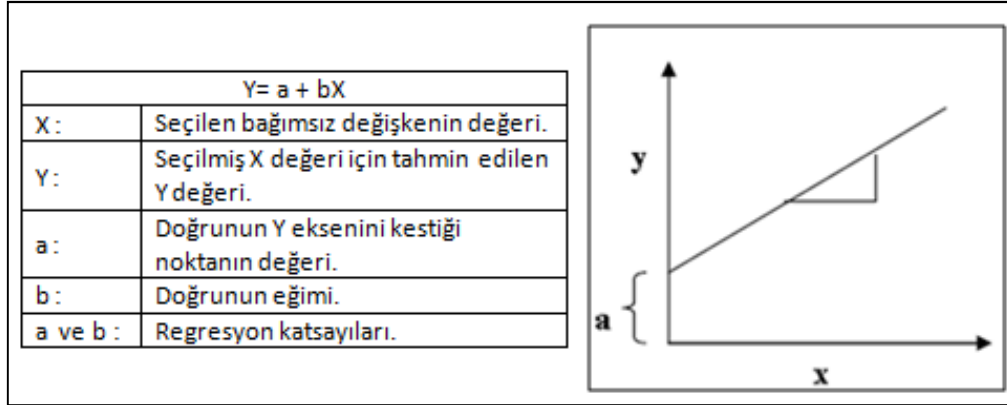
Söz konusu değişkenler arasında doğrusal veya doğrusal olmayan bir ilişki olabilir. Bu nedenle saçılım grafiği kullanılarak (Şekil 4.1) (veriler arasında ilişki var, yok veya ilişki varsa doğrusal veya doğrusal olmayan bir ilişki vs.) ilişkinin durumu ve türü belirlenmeli, bunun yanında yine değişkenler arasında bir korelasyona rastlanması zorunludur.



Şekil 4.1. Saçılım Grafiği. (Karataş, 2014)

4.1.1. Tek değişkenli regresyon analizi

Tek değişkenli regresyon modelinde bağımlı değişkeni etkileyen bir tane bağımsız değişken vardır. Şekil 4.2'de görüldüğü gibi bağımlı değişken y, bağımsız değişken olan X'in bir doğrusal fonksiyonu olarak yazılmıştır. Burada a ve b değerleri sadece sabit katsayılardır. Bu nedenle Y'nin değeri üzerine doğrudan bir etkileri yoktur. Y'nin değerini değiştiren tek etken X değeridir. Bu nedenle bu tür denklemlerle yapılan analizlere tek değişkenli regresyon analizi denir. (Gültekin, 2013)



Şekil 4.2. Regresyon denklemi grafik ve formüsel gösterimi. (Gültekin, 2013)

4.1.2. Çok değişkenli regresyon analizi

Bir bağımlı değişkenin birden çok bağımsız değişkene bağımlı olduğu modellere çok değişkenli regresyon modeli, bu modellere yapılan analizlere de çok değişkenli regresyon analizleri denir.

Her iki analiz şeklinde de doğrusal bir ilişki söz konusudur. Ancak bu ilişki eğrisel bir grafik ile açıklanabiliyorsa bu tür ilişkileri eğrisel regresyon modeli ile açıklamak gerekir. (Gültekin, 2013)

4.2. Hipotez testi

Hipotez testleri, değerlendirilen değişkenin ölçülmesi konusunda ele alınan ölçüğe bağlı olarak parametrik ve parametrik olmayan hipotez testleri olarak ikiye ayrılabilir. Parametrik hipotez testlerinde, belirlenen bir parametrenin önceden bilinen değeriyle eşit, ona göre küçük, büyük veya farklı olduğu ileri sürülebilir. (Özmen vd. 2013)

Söz konusu parametre ile ilgili olarak 2 tane hipotez ortaya koyulur. Bunlar; “sıfır hipotezi (H_0) ve “alternatif hipotez (H_a) olarak adlandırılırlar.

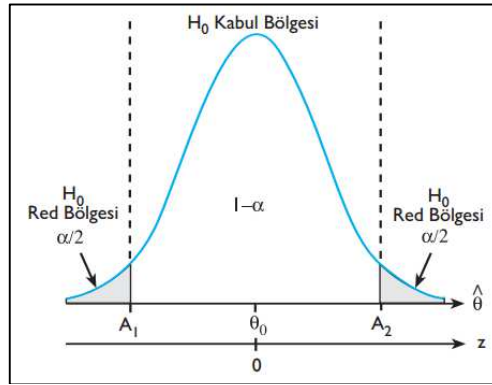
4.2.1. Hipotez Testinin Adımları

1. H_0 ve H_a olmak üzere 2 hipotez kurulur. Sıfır hipotezinde ele alınan parametrenin (θ) ileri sürülen değeri (θ_0) ile herhangi bir farkının olmadığı, alternatif hipotezde ise parametreler arasında bir farklılığın olduğu ileri sürülür.

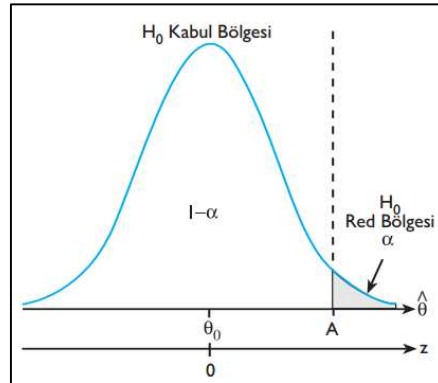
$$H_0 : \theta = \theta_0$$

$$H_a : \theta \neq \theta_0 \quad \text{veya} \quad H_a : \theta > \theta_0 \quad \text{veya} \quad H_a : \theta < \theta_0$$

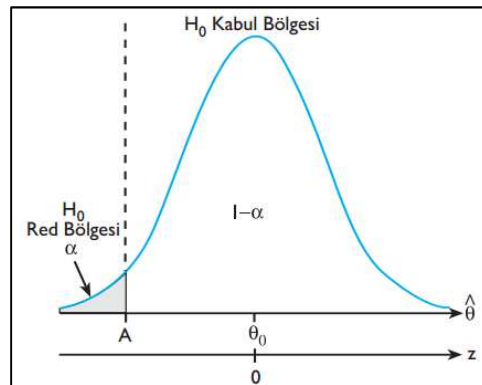
Hipotez testlerinde H_a hipotezi, testin örnekleme yayılımındaki yönünü veya H_0 'ın reddedileceği bölgeyi (red bölgesi) belirler. Bu meyanda H_a , ifade edilmiş şekline göre “iki yönlü test” (Şekil 4.3), “tek yönlü üst kuyruk testi” (Şekil 4.4) ve “tek yönlü alt kuyruk testi” olarak adlandırılır. Hipotez testlerinde kabul veya reddedilen şey sıfır hipotezidir.



Şekil 4.3. İki yönlü testlerde red bölgeleri. (Özmen vd. 2013)



Şekil 4.4. Tek yönlü üst kuyruk testi. (Özmen vd. 2013)



Şekil 4.5. Tek yönlü alt kuyruk testi. (Özmen vd. 2013)

2. İkinci aşama olarak hipotezin anlamlılık düzeyinin belirlenmesi gerekir. Bu aşamada gerçekte doğru olan bir sıfır hipotezinin reddedilmesi veya gerçekte yanlış olan bir sıfır hipotezinin kabul edilmesi gibi 2 tür hata ile karşılaşılabilir. Bunlardan birincisine **I. tip hata ya da α tipi hata** denir. α 'ya “testin anlamlılık düzeyi” denir. İkincisine ise **II. tip hata ya da β tipi hata** denir. İstatistiksel çalışmalarda α tipi hataya daha çok önem verilir ve genelde sadece bu hata kontrol edilir.
3. Anlamlılık düzeyi belirlendikten sonra hangi hacimden örneklem veya örneklemeler seçileceğine karar verilir. Ardından da belirlenen hacimde rastlantısal örneklem veya örneklemeler seçilip belirlenmiş olan değişkenlerle ilgili veriler toplanır. Son olarak bu verilerden yararlanarak örneklemelere ilişkin istatistikler hesaplanır. Elde edilen test istatistikleri genel olarak z dağılımı, t dağılımı gibi bilinen dağılımlara uyar.
4. Hipotez testi istatistiksel anlamda karar vermek olup, α anlamlılık seviyesinde H_0 hipotezinin kabul veya reddedilmesini ifade etmektedir. Bu anlamda sıfır hipotezinin reddi yönünde verilen kararlar θ ile θ_0 arasında bir farklılığın bulunduğunu, sıfır hipotezinin kabul edilmesinde ise var olan farklılığın örneklem hatasından meydana geldiğini gösterecektir.
5. Son olarak ta elde edilen istatistiksel karar, söz konusu probleme yönelik bir karar haline dönüştürülür. (Özmen vd. 2013)

4.3. “t Testi”

t testi, hipotez testlerinde en çok uygulanan yöntemdir. Bu test ile iki değer grubunun ortalamaları alınarak, bu ortalamalar karşılaştırılır ve aralarındaki farkın tesadüfi mi yoksa anlamlı bir fark mı olduğuna karar verilir. Bu test, küçük veriler ile de çalışmaya imkân vermektedir. t testinden faydalanarak;

- Değişimi araştırılan değişken açısından gruplar arasında fark olup olmadığı,
- Yine belirlenen değişken açısından farklı durumlar oluştuğunda grupların gösterdiği reaksiyonlar arasında farklılık olup olmadığı kolaylıkla test edilebilir.

Bu bağlamda; üç tür t testinden söz edilebilir. Bu testler, Tek gruplu t testi (one-sample t test), birbirinden bağımsız iki grubun farkına yönelik t testi (independent samples "t" test) ve eşleştirilmiş (paired-samples "t" test) "t" testidir. (Anonim, 2015)

4.3.1. Tek gruplu "t"-Testi

Bu test herhangi bir durum için öngörülen bilginin doğruluğunu sınamak için kullanılır.

4.3.2. Birbirinden bağımsız iki grubun farkına yönelik "t"- testi

Yapılan araştırmada farklı örneklem kütlelerinin karşılaştırılmasında kullanılan t-testi yöntemidir.

4.3.3. Eşleştirilmiş (t) Test İstatistiği

Deneysel olarak yapılan çalışmalarda aynı örneklemelerini değişik durumlarının incelenmesi gerekebilir. Buradaki gaye aynı örneklemelerden farklı koşullarda elde edilen sonuçlar arasında fark olup olmadığının araştırılmasıdır. Söz konusu test aşağıda özetlenen 3 durum için kullanılabilir.

Birinci Durumda; örneklemde elde edilen verilerin ortalamalarının karşılaştırılarak aralarındaki farkın anlamlı olup olmadığının anlaşılabilmesi için kullanılır. Örneğin: Öğretim yöntemleri konusunda öğretmenlerin, A yöntemine ilişkin görüşleri ile B yöntemine ilişkin görüşleri arasında anlamlı bir farklılık var mıdır?

İkinci Durumda; örneklemin belirlenen bir değişkeninin iki farklı zaman dilimindeki elde edilen verilerine ilişkin ortalamaların karşılaştırılarak aralarındaki farkın anlamlı olup olmadığının anlaşılabilmesi için kullanılır. Bu duruma en tipik örnek araştırılmalarda uygulanan ön test son test modelidir.

Üçüncü Durumda; Bazı hallerde araştırmacının aynı örneklemini kullanabilmesi söz konusu olmayabilir. Bu gibi durumlarda benzer özellikleri taşıyan farklı örneklemeler kullanılır. Örneğin, Aynı davranış bozukluğu içerisindeki deneklerin bir kısmı (deney grubu) yetkililer tarafından X işleme tabi tutulurken diğer deneklere (kontrol grubu) ise hiçbir işlem uygulanmıyor. Bu iki grubun davranışları ile ilgili ölçümler arasında anlamlı bir farklılık var mıdır? (Anonim, 2015)

Eşleştirilmiş t testi, bağımsız farklı grupların bağımsız evrenlerden varsayımından farklı olarak kontrollü ve deneysel çalışmalarda farklı durumları kıyaslamak amacıyla kullanılmaktadır. Bu testte amaç farklı koşullarda elde edilen sonuçların değişip değişmediğini kontrol etmektir. İki farklı koşulda ortalamalar arasındaki farkı test etmek amacıyla aşağıdaki hipotez kurulur (Utts ve Heckard, 2006).

H₀ : $\mu_d=0$ (Ortalamalar arasındaki fark sıfırdır),

H_a: $\mu_d \neq 0$ ($\mu_d < 0$ ya da $\mu_d > 0$) (Ortalamalar arasındaki fark sıfırdan farklıdır),

S_d: Serbestlik derecesi ($n-1=28$),

n: Yapılan deney sayısı,

\bar{d} : Yapılan deneylerden elde edilen verilerin ortalaması.

$$t = \frac{\text{Örnek istatistiği} - \text{Ho hipotez değeri}}{\text{Standart hata}} = \frac{\bar{d} - 0}{\frac{S_d}{\sqrt{n}}} \quad (4.1)$$

5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. Deneysel Çalışmalarla İlgili Genel Bilgiler

Bu çalışmada Üiversal TOS marka torna tezgâhı (Şekil 5.1) üzerinde çeşitli sertliklere sahip malzemeler (AISI-1010, AISI-1050, Al 7075) farklı derinliklerde kesilmiştir. Söz konusu malzemelere ilişkin teknik özellikler Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Malzemelerin teknik özellikleri ve kullanım alanları. (Anonim, 2014)

	% C	% Mn	% P	% S	% V	% W	% Si	Kullanım Alanları		
Ç1010	0,08-0,13	0,30-0,60	0,04	0,05	-	-	0,15-0,35	Cıvata, somun, konstrüksiyon da gövde olarak ıslah edilebilir makine parçaları imalatında.		
Ç1050	0,45-0,54	0,60-0,90	0,04	0,05			0,15-0,35	Kancalar, dişliler, kazmalar, frezeli miller yapımında.		
	% Fe	% Si	% Cu	% Mn	% Zn	% Cr	%Zi+Ti	%Diğer	% Al	
Al7075	0,5	0,5	1,2-2,0	0,3	5,1-6,1	0,18-0,28	0,25	0,15	Kalan	
<p>Kullanım alanı: Askeri ve uçak sanayinde yüksek mukavemet gerektiren bileşenlerde, kauçuk ve plastik kalıplarında, yüksek mukavemet istenilen makine parçalarında, otomotiv sanayinde, perçin üretiminde, nükleer uygulamalarda.</p>										



Şekil 5.1. Deneysel çalışmaların yapıldığı torna tezgâhı.

Tornalama işlemi esnasında kesme derinliğine göre ortaya çıkan tırlama titreşimleri ölçülmüş ve tırlamanın başladığı kesme derinliği saptanmaya çalışılmıştır. Ayrıca alümina esaslı seramik kesici uçtan elde edilen sonuçlar ile Türkeş'in (2007) çalışmasında TiC uçlarla elde ettiği deneysel çalışma sonuçları kıyaslanarak seramik ve TiC uçlar arasında bir karşılaştırma yapılmıştır.

Deneysel çalışmalarda kesme şartlarının karşılaştırılması Çizelge 5.2'de verildiği gibidir.

Çizelge 5.2. Çalışma şartlarına ait parametreler.

Parametreler	Mevcut Çalışma	Türkeş (2007) Çalışması
Katerlerin is parçasına yaklaşma açısı	72 ⁰	90 ⁰
Kesici Uç Talaş Açısı	-3 ⁰	0 ⁰
Kesici Uç Boşluk Açısı	3 ⁰	7 ⁰
Kater boyutları	20*20*110 mm 25*25*130 mm	
Kater bağlama uzunlukları	L= 70, 80, 90, 110 mm	
Deneyde Kullanılan Malzemeler ve Akma Mukavemetleri (Anonim, 2015)	Ç-1010 (165 MPa), Ç-1050 (387.5 MPa), Al-7075 (124 MPa)	
Tezgâh Devri	710, 500, 355, 250, 180, 125	
Kararlı Kesme Derinliği	Kesme derinliği de tedricen artırılarak tırlamanın başladığı derinlik tespit edilmeye çalışılmıştır.	
İş Parçası Ölçüleri	Çap= 60mm	
İlerleme Devri	0,06 mm/dev	

Deneyslerdeki modal analizler Cut-Pro 8.0 programı kullanılarak çekiç testi ile yapılmıştır. Farklı malzemeler, kesici takım sarkma boyları ve kesme koşullarında yapılan kesme proseslerinde oluşan tırlama frekansı, oluşan sesin bir mikrofon yardımıyla kaydedilip LabView 7.1 programında işlenmesiyle belirlenmiştir.

5.2. Kullanılan materyaller ve özellikleri

Deneysel çalışmalara modal analizlerle başlanmış ve ardından kararlı kesme derinliklerinin tespiti için torna tezgâhı üzerinde kesme testleri yapılmıştır. Bu testler sırasında kullanılan cihazların bazı önemli özellikleri Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Kullanılan cihazlarla ilgili bazı özellikler.

Cihaz	Ölçüm aralığı	Hassasiyet	Güç Gereksinimi	Diğer Özellikler
Kistler İmpus Çekici	0-500 N	10 mV/N	20-30 V giriş ±5 V çıkış	27.0 kHz Resonant frekans
NI- DAQ Kart	16 giriş/2 çıkış	500 kS/s	5 V	12 bit Multifunction
Mikrofon	40-18000 Hz		11-52 V	

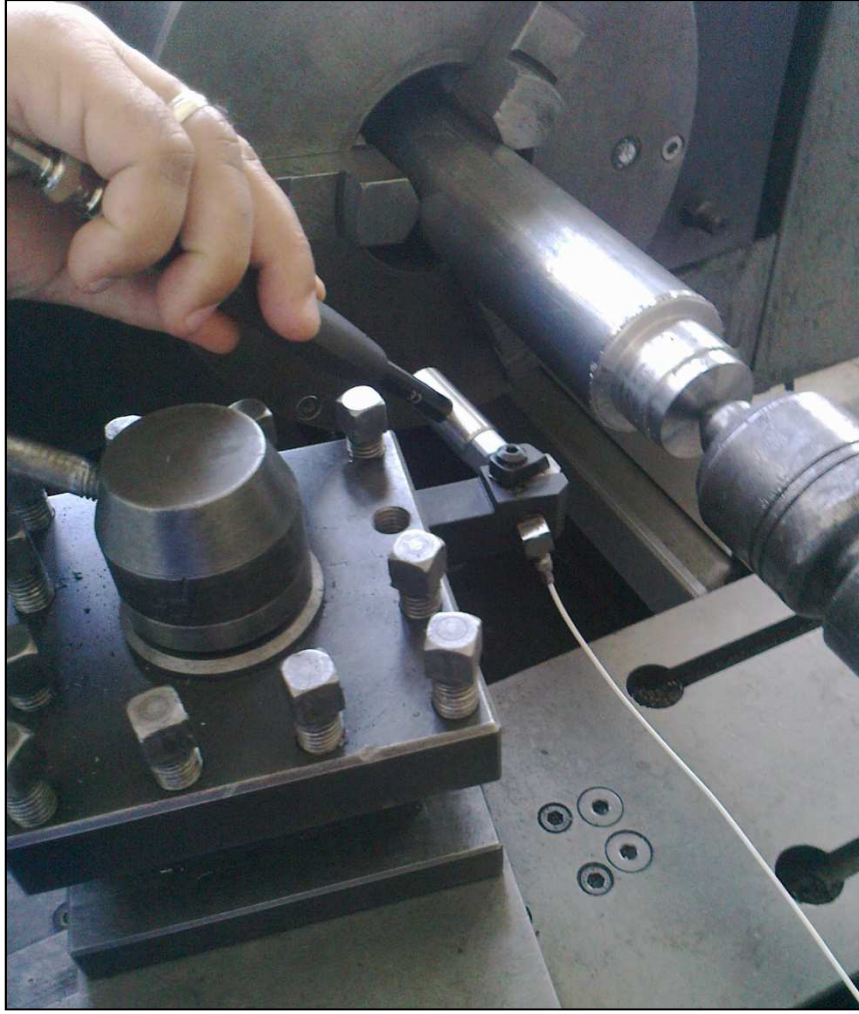
Modal analiz ve kesme testleri sırasında Çizelge 5.3'te verilmiş olan cihazlar bir DAQ dinamik sinyal şartlandırıcıya bağlanmıştır. Bu dinamik sinyal şartlandırıcı, ilk iki kanalı impact modal titreşim testlerindeki genel DAQ için kullanılan dört analog kanala sahiptir. Diğer iki kanal yine modal titreşim testlerindeki genel DAQ için kullanılabilirdiği gibi ayrıca BNC ve Microdot kablolarla yapılan testler için de kullanılmaktadır. Bu çalışmada yapılan testler için MALDSCO2 model dinamik sinyal şartlandırıcı kullanılmıştır.

Mikrofon bir kablo vasıtasıyla dinamik şartlandırıcının üçüncü kanalına bağlanmıştır. İmpuls çekici ile dinamik sinyal şartlandırıcı arasındaki koruyucu kaplamalı (Shielded) kablo, her iki ucu BNC bağlantılı 1 m uzunluğunda 1511 – 903159 tipli Kistler kablodur. DAQ kart ile dinamik sinyal şartlandırıcı arasındaki kablo ise National Instrument SHC68 – 68 – EPM tipli her iki ucu da soket bağlantılı ana kablodur.

Çekiçleme testlerinden alınan veriler Cut-Pro 8.0 yazılımı vasıtasıyla işlenip mevcut kesme sisteminin yapısal sabitleri elde edilmiştir. Bu yazılım, off-line kesme prosesi optimizasyonu için geliştirilmiş analitik ve zaman domenli bir kesme prosesi simülasyonu yazılım paketidir.

5.3. Tornalama operasyonlarındaki deneysel çalışmalar

Torna tezgâhındaki operasyonlara öncelikle modal analiz testleri ile başlanmıştır. Bu testlerde kesme prosesinde kullanılan katerlerin, tezgâha her farklı bağlantı uzunluğu için çekiç testleri yapılmıştır. Bu testlerdeki amaç, takımın doğal frekans, yay sabiti, sönümleme oranı gibi değerleri elde etmektir. (Şekil 5.2)



Şekil 5.2. Çekiç testi.

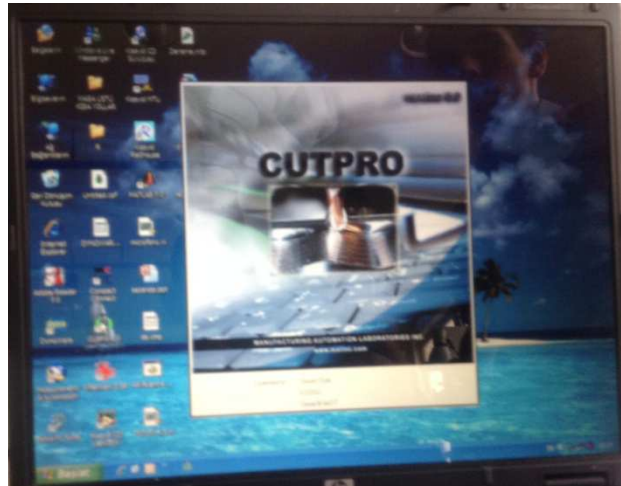
Bu testler iki farklı kesite sahip kater kullanılarak yapılmıştır (20*20*110 mm ve 25*25*130 mm) (Şekil 5.3). Farklı kesitli katerlerin kullanılmasının nedeni her iki kesitli kater arasındaki yapısal sabitlerin nasıl değiştiklerini görmek içindir. Takıma ait kesme açıları Çizelge 5.2’de verildiği gibidir.



Şekil 5.3. Tornalama prosesinde kullanılan kater.

Katerler tezgâha farklı uzunluklarda bağlanmıştır. Bu değerler Çizelge 5.2’de verildiği gibidir. Katerlerin farklı uzunluklarda bağlanmasının sebebi bu uzunluklar için kesme sisteminin doğal frekansının ve tırlama frekansının nasıl değişebileceğinin araştırılması ve TiC ve Alümina esaslı kesici uçlardaki kararlı kesme derinliklerinin karşılaştırılması içindir.

Çekiç testi sonucunda alınan değerler Cut-PRO 8.0 programında işlenmiş ve grafik haline getirilmiştir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Cut-PRO 8.0

Çekiç testi sonrasında değerler kaydedilmiş ve kesici takımın söz konusu takım boyundaki doğal frekans, rijitlik katsayı (k) ve sönümlenme oranı (s) bulunmuştur.

Ardından sırasıyla teste tabi tutulacak malzemeler aynaya bağlanarak tornalama işlemine geçilmiştir (Şekil 5.5).

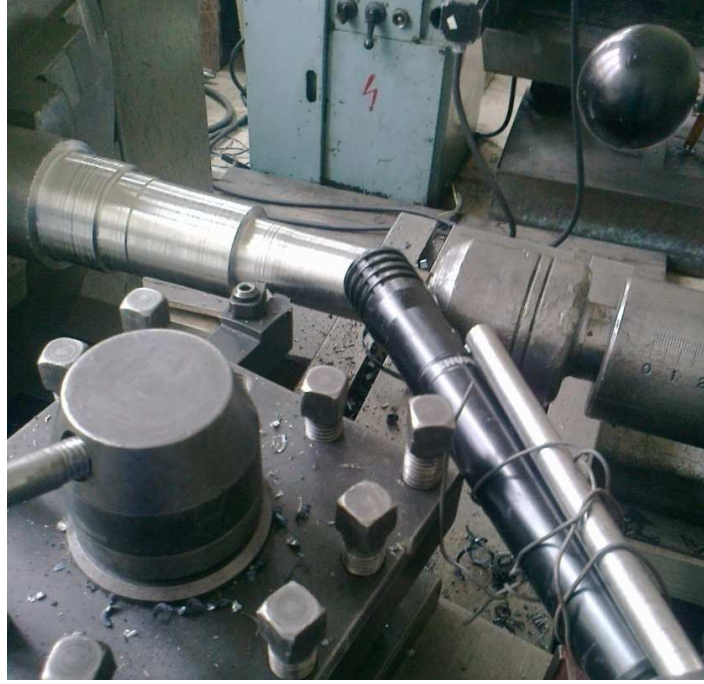


Şekil 5.5. İşlenecek malzemenin tezgâha bağlanması.

Kesici uçları karşılaştırma yapmak amacıyla Türkeş'in (2007) çalışmasında kullandığı malzeme ve devir sayılarına uygun olacak şekilde her takım boyu ve devir sayısı için kesme işlemleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.6 ve Şekil 5.7).



Şekil 5.6. Takım boyunun ayarlanması.



Şekil 5.7. Kesme işlemi ve mikrofon ses testi.

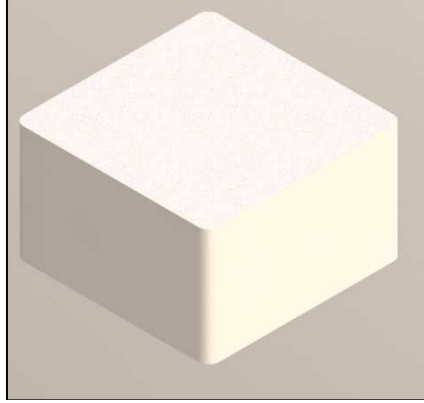
Tornalama işlemi sırasında kesme derinliği kademeli olarak artırılarak tırlama titreşiminin meydana geldiği kararlı kesme derinliği yakalanmaya çalışılmıştır. Tırlama titreşimlerini kaydetmek için mikrofon ve LabVIEW 7.1 programı kullanılmıştır (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. LabVIEW 7.1

Tornalama işlemleri sonucunda tırlama titreşiminin elde edildiği kesme derinlikleri kaydedilerek Türkeş'in (2007) çalışmasında elde ettiği değerler ile karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırmada %99,7 alümina esaslı seramik kesici uç (Şekil 5.9) ile TiC kesici uçların tırlama titreşimleri yönünden kesme performansları incelenmiştir.



Şekil 5.9. %99,7 alümina esaslı seramik kesici uç.

Karşılaştırma sonucunda elde edilen veriler bir araya getirilerek değerlendirme yapılmıştır. Söz konusu veriler sonraki bölümlerde verilmiştir.

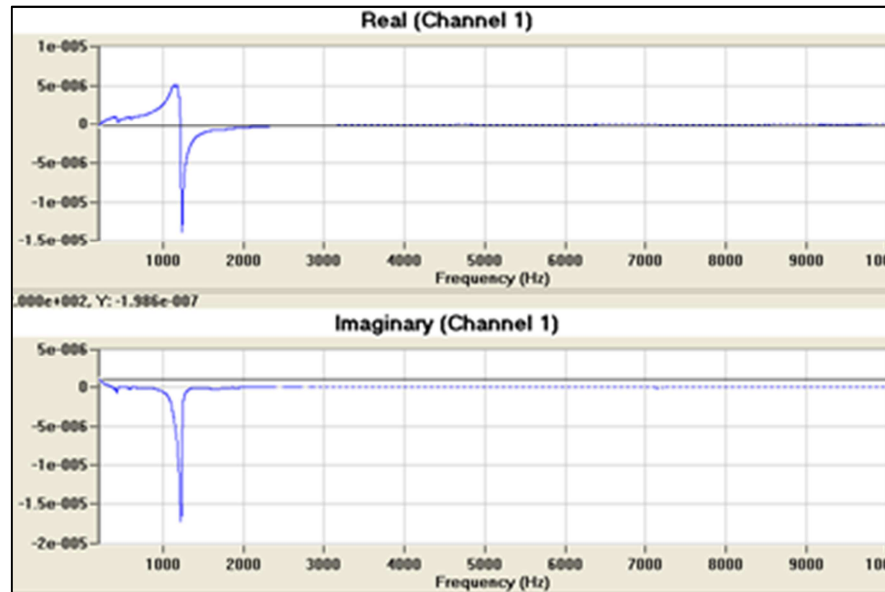
6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çekişleme testi sonucunda değişik kesme boylarında elde edilen doğal frekanslar ve tırlama frekansları Çizelge 6.1’de verildiği gibidir.

Çizelge 6.1. Takım boyuna göre doğal ve tırlama frekansları.

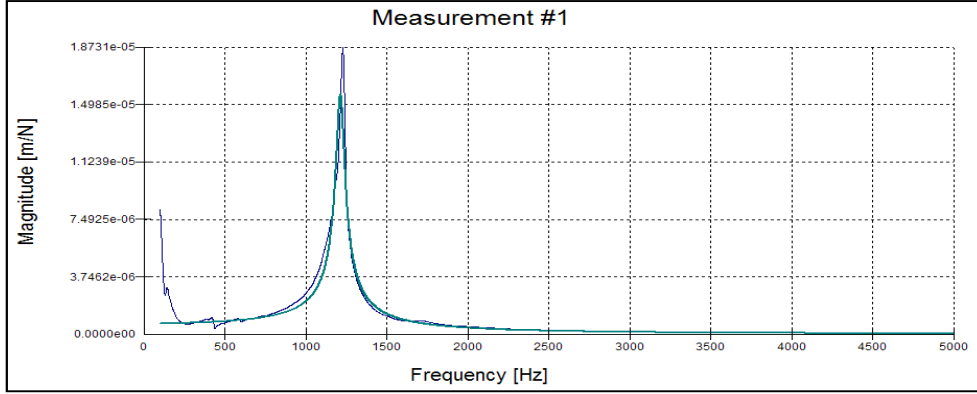
İş Parçası Malzemeleri	Takım Sarkma Miktarı (mm)	Doğal Frekans (Hz)	Tırlamanın Oluştuğu Frekansı (Hz)
AISI-1010	70	1624	1650
AISI-1010	80	1403	1400
AISI-1010	90	1216	1450
AISI-1050	70	1379	1350
AISI-1050	90	1217	1450
AISI-1050	110	915	500
Al-7075	90	1302	1430

Çekiş testi sonrası 20x20 mm kesitli L=80 mm’lik kater bağlama uzunluğu için kesme sistemi için üretilen transfer fonksiyonunun reel ve imajiner grafikleri Şekil 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1. L= 80 mm kesme sisteminin TF² sinin reel ve imajiner grafikleri.

Yine AISI-1010 malzeme ve $L=80$ mm için çekileme testi sonunda çizdirilen frekans domenindeki transfer fonksiyonunun frekans cevap fonksiyonu (Frequency Response Function (FRF)) grafiği ve yapısal modal sabitlerinin bulunması Şekil 6.2'de verilmiştir.



Şekil 6.2. $L= 80$ mm kesme sisteminin FRF grafiği ve yapısal sabitlerin elde edilmesi.

Burada sözü edilen kesme sisteminin modal analiz testinin yapılması sonucunda elde edilen grafikler ve yapısal sabitlerin bulunması, testlerin yapılma tarzı ve yönteminin kısaca anlatılması bakımından örnek olarak verilmiştir. Burada, 20×20 mm ve 25×25 mm kesitli katerlerin değişik uzunluklardaki yapısal sabitlerinin AISI-1010, AISI-1050 ve Al-7075 kalitedeki iş parçaları için benzer biçimde yapılan çekiç ve ses testleriyle bulunan değerleri sırasıyla Ek-A'da verilmişlerdir.

Çekileme testleri sonrasında tornalama işlemlerine geçilmiştir. Sırasıyla önce AISI 1010 malzeme, ardından AISI 1050 ve Al 7075 malzemeleri üzerinde tornalama işlemleri yapılarak tırlama titreşimlerinin meydana geldiği kesme derinlikleri bulunmuştur.

Çizelge 6.2. AISI 1010 Malzeme ve 20x20 kater için Çekiçleme ve Ses Testi Değerleri.

L (mm)	Alümina Esaslı Uç				TiC Uç			
	ω_n (Hz)	k (N/m)	ζ (%)	ω_t (Hz)	ω_n (Hz)	k (N/m)	ζ (%)	ω_t (Hz)
70	1624	$2,9 \times 10^6$	$9,81 \times 10^{-2}$	1650	1696	$2,15 \times 10^6$	$1,92 \times 10^{-2}$	1700
80	1403	$2,1 \times 10^6$	$6,28 \times 10^{-2}$	1400	1097	$7,32 \times 10^6$	$2,0 \times 10^{-2}$	1210
90	1216	$1,45 \times 10^6$	$2,19 \times 10^{-2}$	1450	1055	$8,39 \times 10^6$	$2,67 \times 10^{-2}$	1040

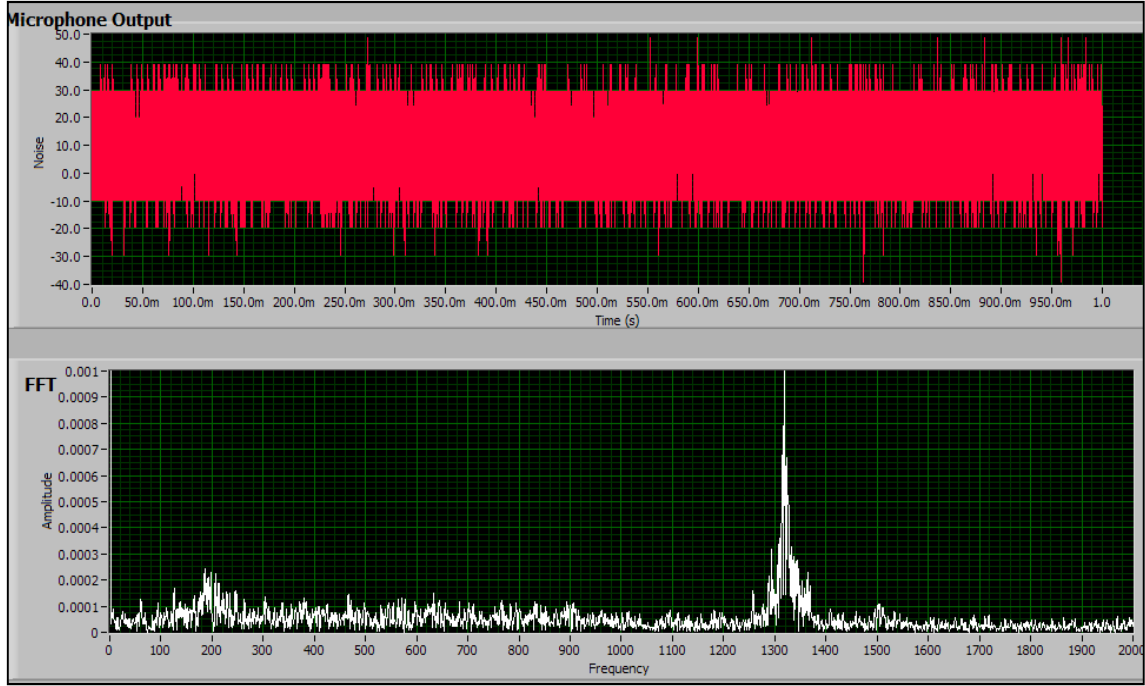
Çizelge 6.3. AISI 1050 Malzeme ve 25x25 kater için Çekiçleme ve Ses Testi Değerleri.

L (mm)	Alümina Esaslı Uç				TiC Uç			
	ω_n (Hz)	k (N/m)	ζ (%)	ω_t (Hz)	ω_n (Hz)	k (N/m)	ζ (%)	ω_t (Hz)
70	1379	$6,07 \times 10^6$	$6,83 \times 10^{-2}$	1320	1178	$2,12 \times 10^7$	$2,39 \times 10^{-2}$	1220
90	1217	$2,65 \times 10^6$	$5,54 \times 10^{-2}$	1450	982,8	$1,41 \times 10^7$	$3,33 \times 10^{-2}$	1000
110	915	$1,42 \times 10^6$	$2,4 \times 10^{-2}$	500	717,9	$4,56 \times 10^6$	$9,54 \times 10^{-2}$	860

Çizelge 6.4. Al 7075 Malzeme ve 20x20 kater için Çekiçleme ve Ses Testi Değerleri.

L (mm)	Alümina Esaslı Uç				TiC Uç			
	ω_n (Hz)	k (N/m)	ζ (%)	ω_t (Hz)	ω_n (Hz)	k (N/m)	ζ (%)	ω_t (Hz)
90	1302	$1,44 \times 10^6$	$1,97 \times 10^{-2}$	1450	973,6	$6,60 \times 10^6$	$2,77 \times 10^{-2}$	1020

Çizelge 6.2, Çizelge 6.3 ve Çizelge 6.4'te görüldüğü gibi tırlama frekans (ω_t) değerleri, verilen belli bir ilerleme ve mil hızında kesme derinlikleri kontrollü olarak artırılarak ses testiyle elde edilmişlerdir. Bu konuda örnek olarak anlatılan kesme sisteminin ses testi sonucu Şekil 6.3'te verilmiştir.

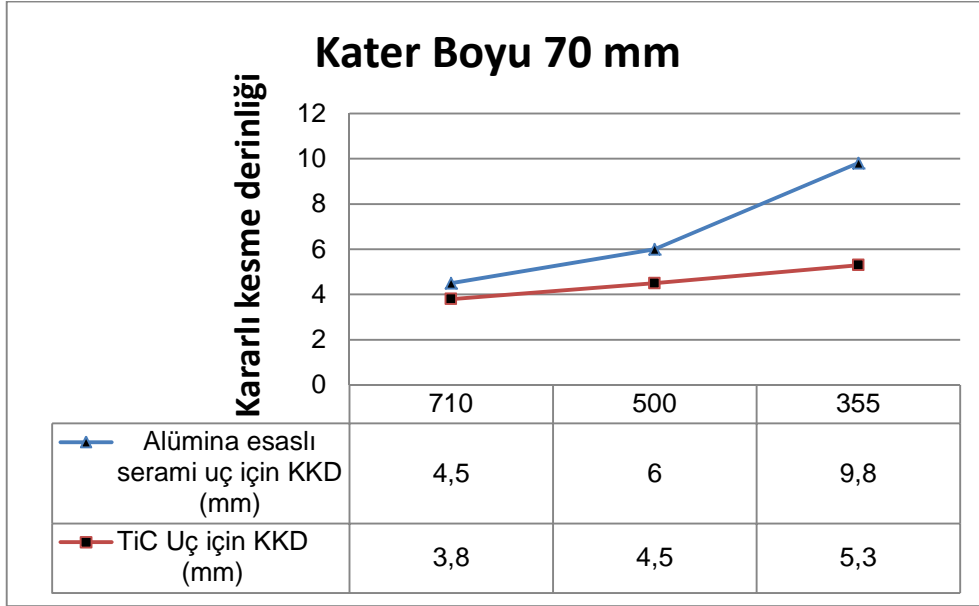


Şekil 6.3. AISI 1050 malzeme, L=70 mm kater sarkma boyu için mikrofön testi.

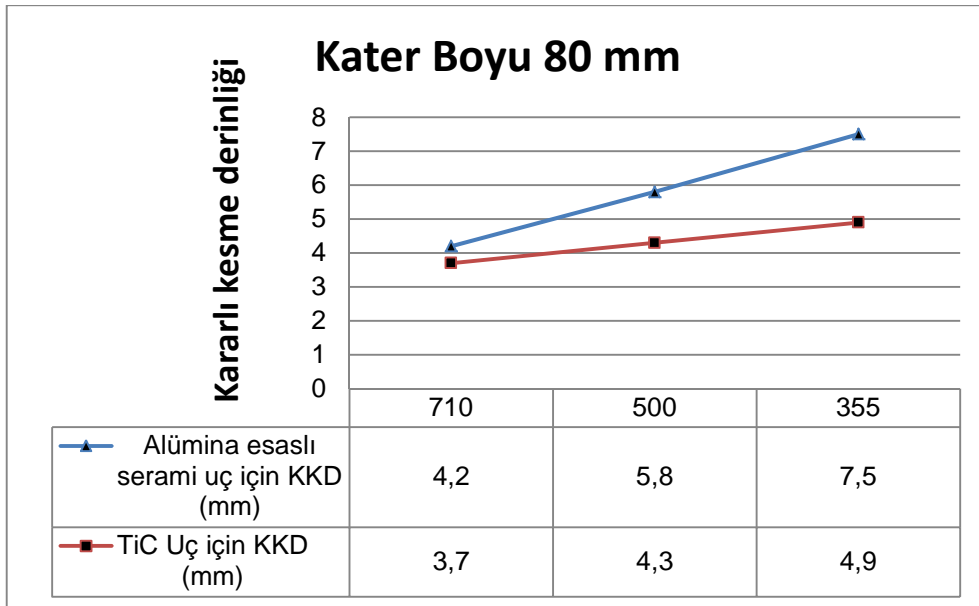
Yapılan tornalama işlemleri sonucunda her bir kater boyu ve tezgâh devir sayısı için kararlı kesme derinlikleri elde edilmiştir. Bu değerler ve TiC kesici uç ile aynı devir sayısı ve ilerleme ile kater boyunda elde edilen değerler, malzeme bazında verilmiştir. AISI 1010 malzeme için kararlı kesme derinlikleri Çizelge 6.5'te, kater boylarına göre Alümina esaslı seramik ve TiC kesici uçların kararlı kesme derinliklerini karşılaştıran grafikler ise Şekil 6.4, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6.5. AISI 1010 malzeme için tornalama işlemi sonucunda elde edilen kararlı kesme derinlikleri (a_{lim} (mm)).

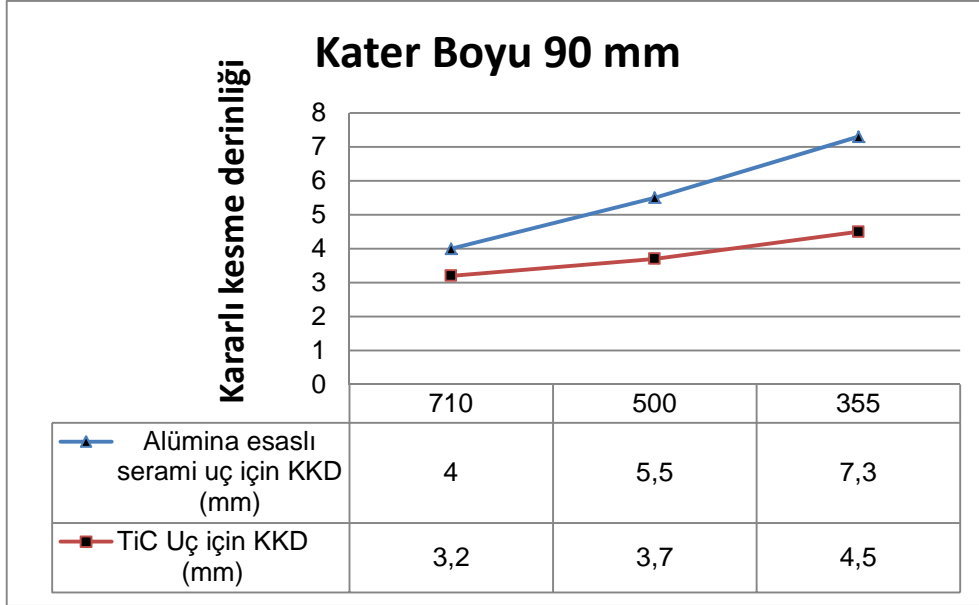
L (mm)	Alümina Esaslı Kesici Uç			TiC Kesici Uç		
	n(d/dak)					
	710	500	355	710	500	355
70	4.5	6	9.8	3.8	4.5	5.3
80	4,2	5,8	7,5	3,7	4,3	4,9
90	4	5,5	7,3	3,2	3,7	4,5



Şekil 6.4. L=70 mm sarkma boyu ve AISI 1010 malzeme için kararlı kesme derinliklerinin karşılaştırması.



Şekil 6.5. L=80 ve AISI 1010 malzeme için kararlı kesme derinliklerinin karşılaştırması.

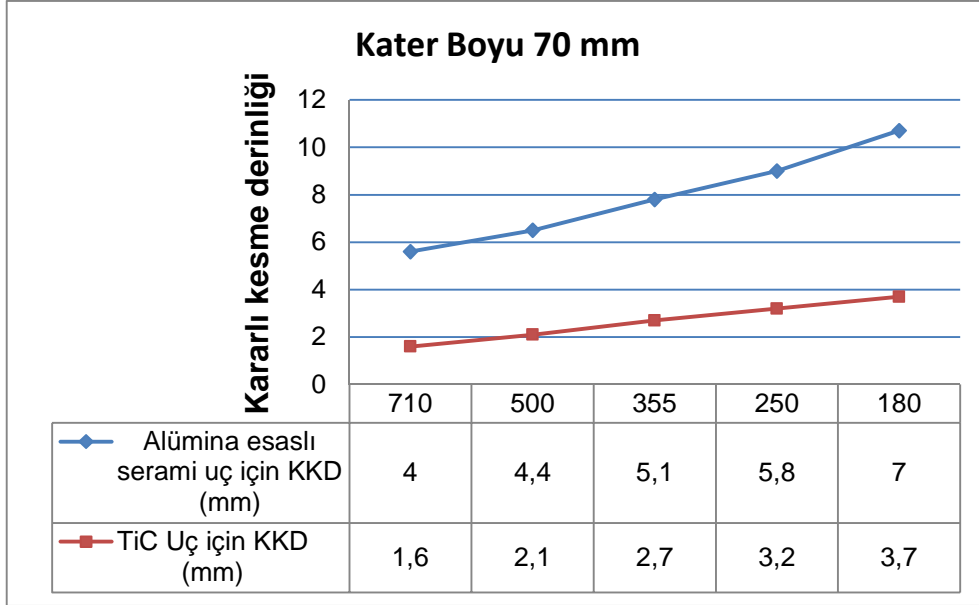


Şekil 6.6. L=90 ve AISI 1010 malzeme için kararlı kesme derinliklerinin karşılaştırması.

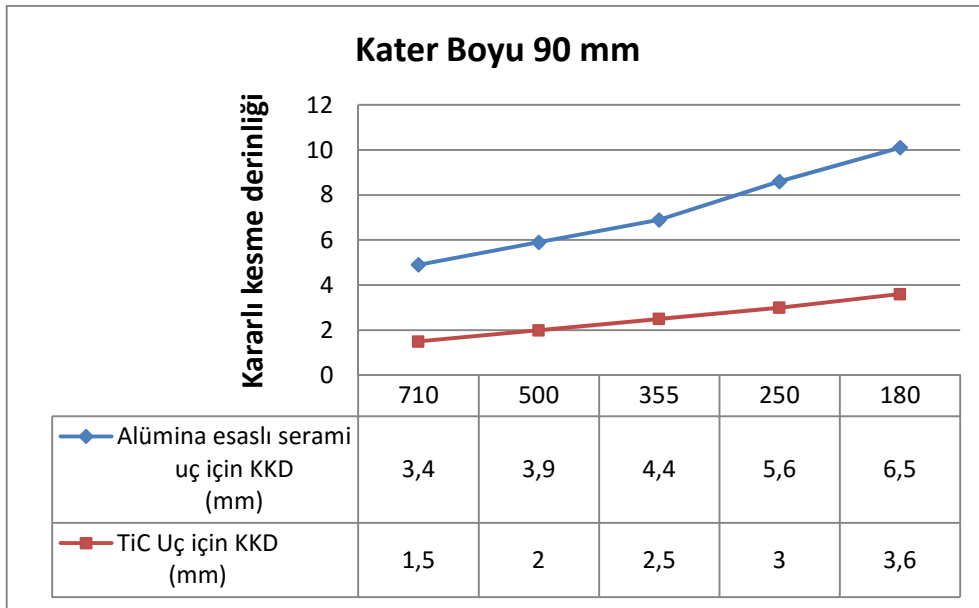
Aynı şekilde AISI 1050 malzeme için kararlı kesme derinlikleri Çizelge 6.6'da, kater boylarına göre seramik ve metal kesici uçların kesme derinliklerini karşılaştıran grafikler ise Şekil 6.7, Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'da verilmiştir.

Çizelge 6.6. AISI 1050 malzeme için tornalama işlemi sonucunda elde edilen kararlı kesme derinlikleri (alim (mm)).

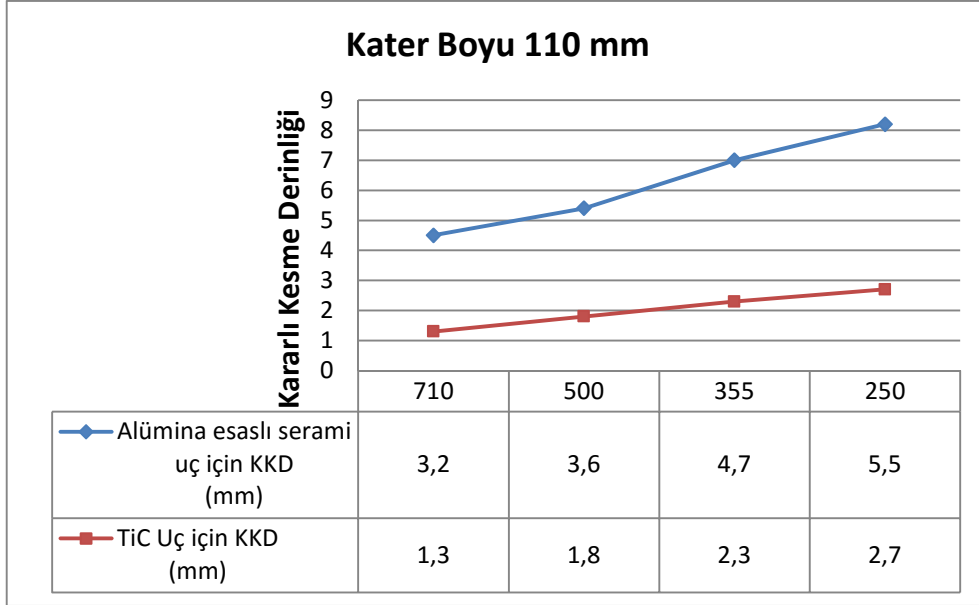
L (mm)	Alümina Esaslı Kesici Uç					TiC Uç				
	n(d/dak)									
	710	500	355	250	180	710	500	355	250	180
70	4	4,4	5,1	5,8	7	1,6	2,1	2,7	3,2	3,7
90	3,4	3,9	4,4	5,6	6,5	1,5	2	2,5	3	3,6
110	3,2	3,6	4,7	5,5	---	1,3	1,8	2,3	2,7	---



Şekil 6.7. L=70 ve AISI 1050 malzeme için kararlı kesme derinliklerinin karşılaştırması.



Şekil 6.8. L=90 ve AISI 1050 malzeme için kararlı kesme derinliklerinin karşılaştırması.

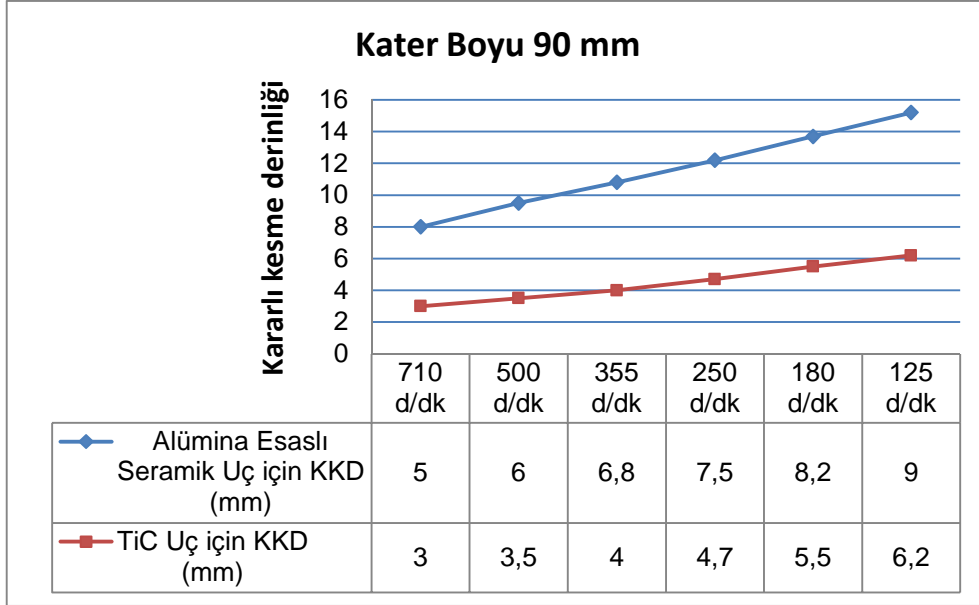


Şekil 6.9. L=110 ve AISI 1050 malzeme için kararlı kesme derinliklerinin karşılaştırması.

Son olarak ta, Al 7075 malzeme için paso miktarları Çizelge 6.7’de, kater boylarına göre seramik ve metal kesici uçların kesme derinliklerini karşılaştıran grafikler ise Şekil 6.10’da verilmiştir.

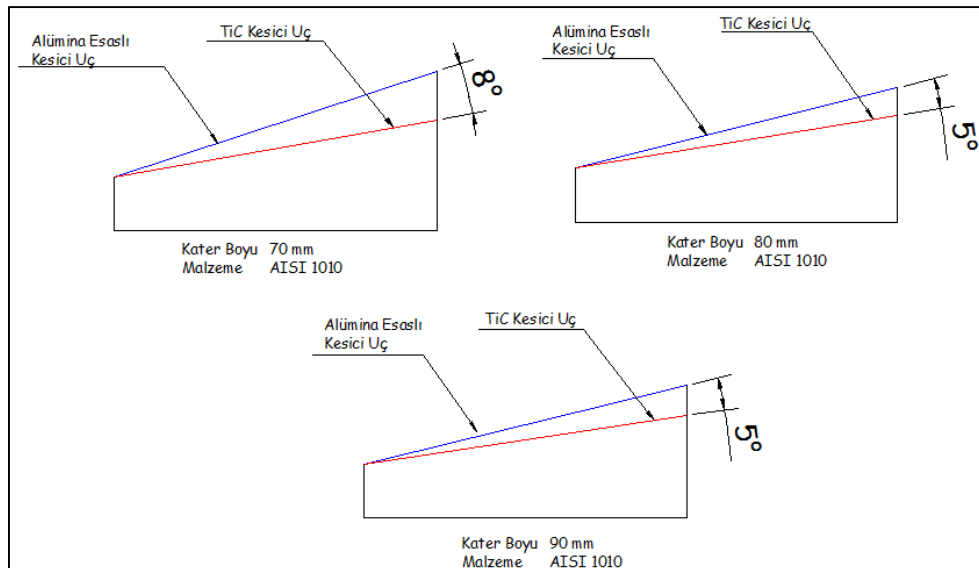
Çizelge 6.7. Al 7075 malzeme için tornalama işlemi sonucunda elde edilen kararlı kesme derinlikleri (alim (mm)).

L (mm)	Alümina Esaslı Kesici Uç						TiC Uç					
	n(d/dak)											
	710	500	355	250	180	125	710	500	355	250	180	125
90	5	6	6,8	7,5	8,2	9	3	3,5	4	4,7	5,5	6,2

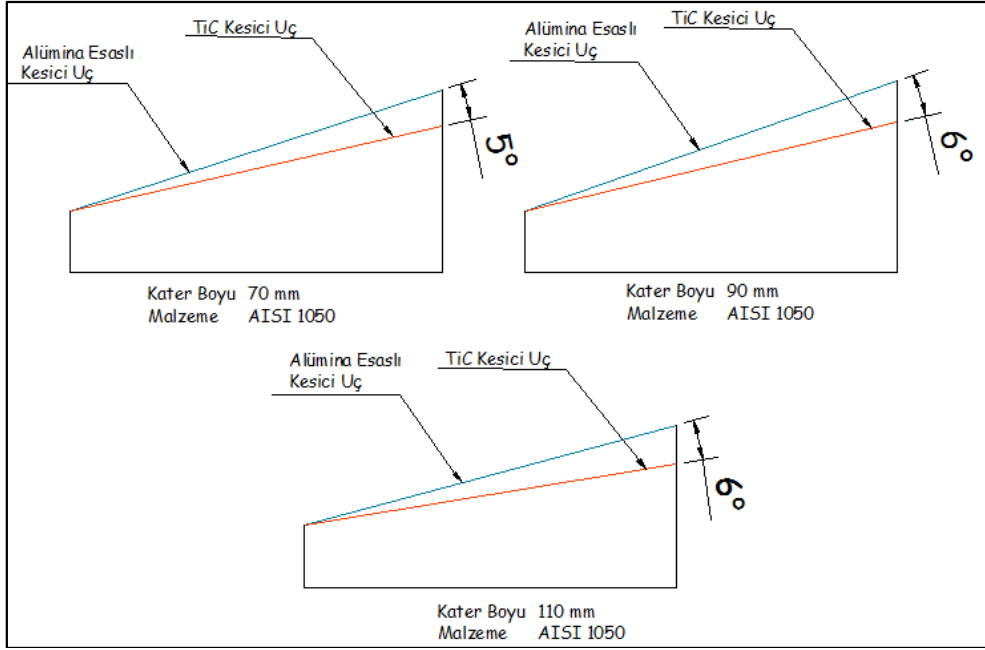


Şekil 6.10. L=90 ve Al 7075 malzeme için kararlı kesme derinliklerinin karşılaştırması.

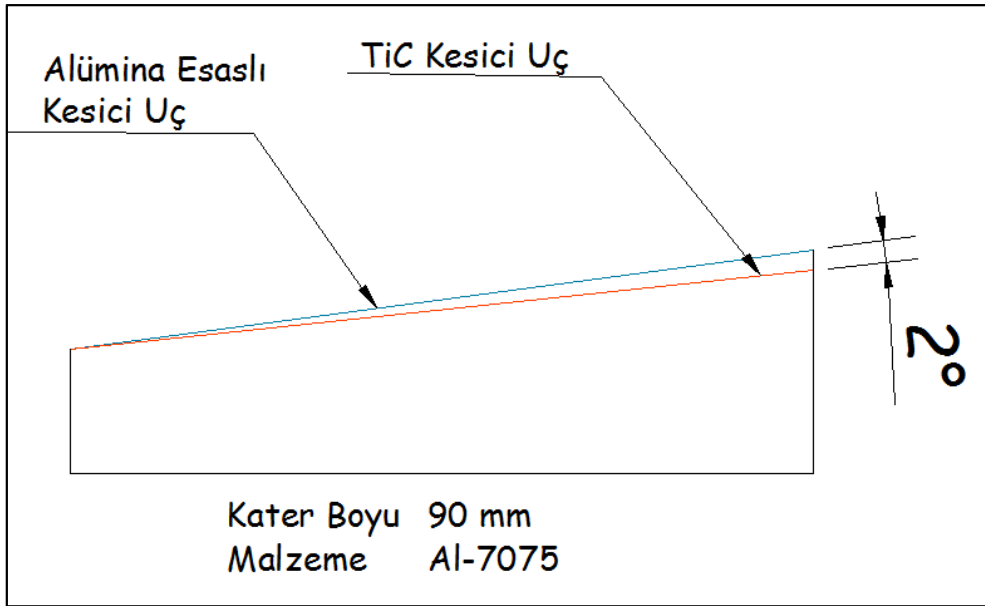
Devir sayısının değişimi ile birlikte TiC ve alümina esaslı seramik kesici uçlar arasındaki değişime açılmal olarak bakıldığında, AISI 1010 malzeme için Şekil 6.11'deki gibi, AISI-1050 malzeme için Şekil 6.12'deki gibi ve Al-7075 malzeme için ise Şekil 6.13'teki gibi bir durum ortaya çıkmıştır. Elde edilen verilere ilişkin çıkartımlar sonraki bölümlerde verilmiştir.



Şekil 6.11. AISI 1010 Malzeme için Devir Sayısına Göre Kararlı Kesme Derinliğindeki Değişim.



Şekil 6.12. AISI 1050 Malzeme için Devir Sayısına Göre Kararlı Kesme Derinliğindeki Değişim.



Şekil 6.13. Al 7075 Malzeme için Devir Sayısına Göre Kararlı Kesme Derinliğindeki Değişim.

Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda meydana gelen kesme derinlikleri ve bu derinliklerin Türkeş'in (2007) doktora tezinde elde ettiği kesme derinlikleri ile karşılaştırması ve yorumlanması daha sonraki bölümlerde, deneyler sonrasında takım sarkma boyu ve devir sayısına göre elde edilen titreşim verileri Ek-A'da verilmiştir.

7. İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Bu bölümün birinci kısmında altıncı bölümdeki deney sonuçları yardımıyla regresyon analizi yapılmış ve elde edilen denklem yardımıyla optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. İkinci kısımda eşleştirilmiş t testi kullanılarak kullanılan Alümina esaslı seramik kesici uç ile elde edilen KKD ile TiC uçla elde edilen KKD'leri arasındaki farkının anlamlı olup olmadığı araştırılmıştır. Analizler MINITAB 17.0 programı kullanılarak yapılmıştır.

7.1. Doğrusal- Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi ve Optimizasyon Modeli

Bu aşamada öncelikle regresyon denklemleri oluşturulmuştur. Regresyon denklemi için bağımlı ve bağımsız değişkenler belirlenmiştir. Bağımlı değişken kararlı kesme derinlikleridir. Bağımsız değişkenler devir sayısı (d/dk), sarkma uzunluğu (mm), iş parçalarının akma mukavemeti (MPa), kater kesiti (mm²) ve kater boyu (mm) seçilmiştir. Öncelikle en iyi alt kümeler yardımıyla farklı denklemlerin belirlilik katsayıları (R²) karşılaştırılmıştır. Çizelge 7.1'de R² değerleri ve Cp katsayıları gösterilmektedir. En iyi alt kümeler yönteminde kater uzunluğu elenmiştir. Elde edilen denklemler karşılaştırıldığında devir sayısı, sarkma uzunluğu ve iş parçasının akma mukavemetinin kararlı kesme derinliklerini önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Cp katsayısının en düşük olduğu ve düzeltilmiş R²'nin artmasının durduğu denklem en uygun denklem olarak seçilmiştir. Söz konusu Denklem 7.1'de verilmiştir.

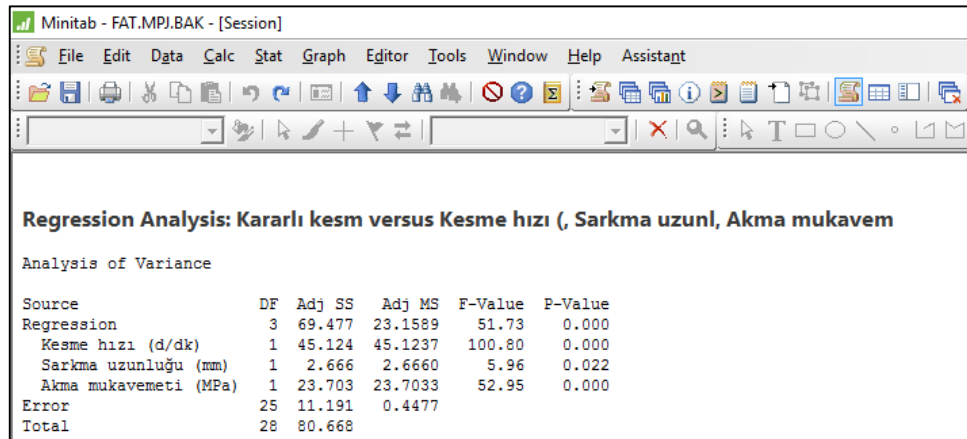
$$\boxed{KKD = 12.637 - 0.006631 * KH - 0.02413 * SU - 0.00761 * AM} \quad (7.1)$$

KH: Kesme hızı tahmini, SU: Sarkama uzunluğu, AM: Akma Mukavemeti,

Çizelge 7.1. En iyi alt kümeler yöntemiyle oluşturulan farklı denklemlerin sonuçları.

Bağımsız değişken sayısı	R ² (%)	Düzeltilmiş R ² (%)	Tahmini R ² (%)	Cp	Standart hata	Devir sayısı	Sarkma uzunluğu	Akma muk.	Kater kesit
1	49,9	48	43,9	62,7	1,2237	X			
1	27,6	24,9	16,9	101,7	1,4704		X		
2	82,8	81,5	79,4	7,1	0,73005	X		X	
2	65,8	63,2	57,1	36,8	1,0297	X			X
3	86,1	84,5	81,4	3,3	0,66907	X	X	X	
3	83,7	81,8	77,9	7,5	0,72502	X		X	X
4	86,3	84	79,9	5	0,67886	X	X	X	X

Bağımlı değişkenin kararlı kesme derinliği, bağımsız değişkenlerin devir sayısı, sarkma uzunluğu ve akma mukavemetinin olduğu doğrusal regresyon denklemi için varyans analizi Şekil 7.1’de verilmiştir. Varyans analizi sonucunda modelin %5 anlam seviyesinde tutarlı olduğu görülmüştür ($p < 0,05$).



Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	69.477	23.1589	51.73	0.000
Kesme hızı (d/dk)	1	45.124	45.1237	100.80	0.000
Sarkma uzunluğu (mm)	1	2.666	2.6660	5.96	0.022
Akma mukavemeti (MPa)	1	23.703	23.7033	52.95	0.000
Error	25	11.191	0.4477		
Total	28	80.668			

DF: Serbestlik derecesi SS: Kareler toplamı MS: Kareler ortalaması

Şekil 7.1. Oluşturulan doğrusal regresyon denklemi için varyans analizi.

Oluşturulan denklem için katsayı tutarlılık analizi Çizelge 7.2’te verilmiştir. %5 anlam seviyesinde tüm katsayılar tutarlıdır ($p < 0,05$).

Çizelge 7.2. Oluşturulan doğrusal regresyon denklemi için katsayı tutarlılık analizi.

Bağımsız değişkenler	Katsayı	Katsayı SH	T-değeri	P-değeri
Sabit	12,637	0,926	13,65	0,000
Devir sayısı (d/dk)	-6,6e-3	6.6e-4	-10,04	0,000
Sarkma uzunluğu (mm)	-2,4e-2	9.89e-3	-2,44	0,022
Akma mukavemeti (MPa)	-7,6e-3	1.05e-3	-7,28	0,000

SH:Standart hata

R^2 değerini arttırmak amacıyla denkleme ikinci ve üçüncü dereceden terimler eklenmiştir. Yeni oluşturulan doğrusal olmayan regresyon denklemi için varyans analizi Çizelge 7.3'te verilmiştir. %5 anlam seviyesinde denklemin (Denklem 7.2) tutarlı olduğu görülmüştür ($p < 0,05$).

$$KKD = 46.11 - 0.0622 * KH - 0.3927 * SU - 0.0963 * AM + 0.000603 * KH * SU + 0.000146 * KH * AM + 0.000961 * SU * AM - 0.000002 * KH * SU * AM \quad (7.2)$$

KH: Kesme hızı, SU: Sarkama uzunluğu, AM: Akma Mukavemeti,

Çizelge 7.3. Oluşturulan doğrusal olmayan regresyon denklemi için varyans analizi.

Değişkenler	SD	Düz.KT	Düz. KO	F-değeri	P-değeri
Regresyon	7	75,429	10,7756	43,19	0,000
Devir sayısı(d/dk)	1	4,159	4,1594	16,67	0,001
Sarkma uzunluğu (mm)	1	4,609	4,6088	18,47	0,000
Akma mukavemeti (MPa)	1	4,736	4,7360	18,98	0,000
Devir sayısı*Sarkma uzunluğu	1	2,973	2,9730	11,92	0,002
Devir sayısı*Akma mukavemeti	1	2,903	2,9030	11,64	0,003
Sarkma uzunluğu*Akma mukavemeti	1	3,662	3,6620	14,68	0,001
Devir sayısı*Sarkma uzunluğu*Akma mukavemeti	1	2,504	2,5037	10,03	0,005
Hata	21	5,239		0,2495	
Toplam	28	80,668			

Oluşturulan model için belirlilik katsayıları ve standart hata Çizelge 7.4'te verilmiştir. Doğrusal regresyon analizine göre modelin R^2 (%86,4'ten %93,51'e) ve düzeltilmiş R^2 katsayıları (%84,5'ten %91,34'e) yükselmiştir. Böylece modelin tutarlılığı artmıştır.

Çizelge 7.4. Doğrusal olmayan regresyon analizi belirlilik katsayıları ve standart hata.

Model Özeti			
S	R^2	R^2 (düzeltil.)	R^2 (tahmin)
0,499495	%93,51	%91,34	%78,34

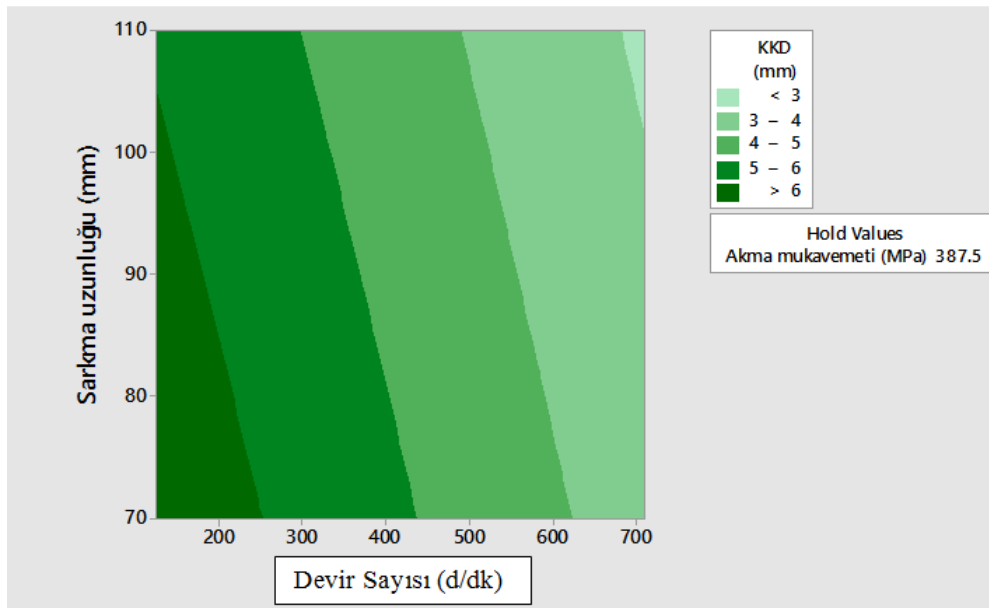
Model için katsayı tutarlılık testi Şekil 7.2’de verilmiştir. %5 anlam düzeyinde katsayıların tutarlı olduğu görülmüştür ($p < 0,05$).

Term	Coef	SE Coef	T-Value
Constant	46.11	8.04	5.74
Kesme hızı (d/dk)	-0.0622	0.0152	-4.08
Sarkma uzunluğu (mm)	-0.3927	0.0914	-4.30
Akma mukavemeti (MPa)	-0.0963	0.0221	-4.36
Kesme hızı (d/dk)*Sarkma uzunluğu (mm)	0.000603	0.000175	3.45
Kesme hızı (d/dk)*Akma mukavemeti (MPa)	0.000146	0.000043	3.41
Sarkma uzunluğu (mm)*Akma mukavemeti (MPa)	0.000961	0.000251	3.83
Kesme hızı (d/dk)*Sarkma uzunluğu (mm)*Akma mukavemeti (MPa)	-0.000002	0.000000	-3.17

Term	P-Value	VIF
Constant	0.000	
Kesme hızı (d/dk)	0.001	960.29
Sarkma uzunluğu (mm)	0.000	156.71
Akma mukavemeti (MPa)	0.000	820.93
Kesme hızı (d/dk)*Sarkma uzunluğu (mm)	0.002	1047.11
Kesme hızı (d/dk)*Akma mukavemeti (MPa)	0.003	1088.95
Sarkma uzunluğu (mm)*Akma mukavemeti (MPa)	0.001	1021.86
Kesme hızı (d/dk)*Sarkma uzunluğu (mm)*Akma mukavemeti (MPa)	0.005	1302.77

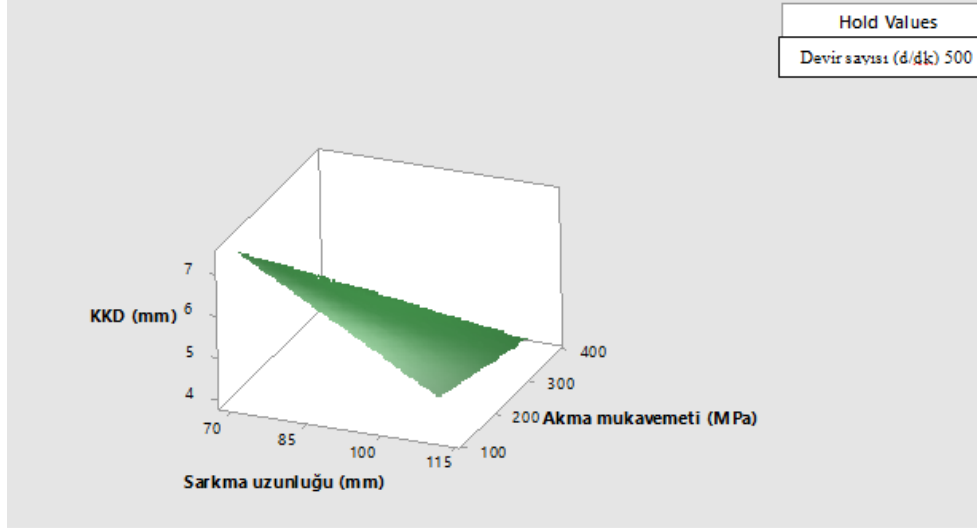
Şekil 7.2. Oluşturulan doğrusal olmayan regresyon denklemi için katsayı tutarlılık analizi.

Oluşturulan doğrusal olmayan regresyon denklemi yardımıyla Şekil 7.3’te sarkma uzunluğu ve devir sayısına göre kararlı kesme derinliklerini gösteren 2 boyutlu grafik gösterilmiştir. Grafığe göre sarkma uzunluğu ve devir sayısı düştükçe kararlı kesme derinliğinin arttığı gözlenmektedir. Grafik çizilirken akma mukavemeti 387.5 MPa olarak sabit tutulmuştur.



Şekil 7.3. Sarkma uzunluğu ve devir sayısına göre kararlı kesme derinliğinin değişimi.

Oluşturulan doğrusal olmayan regresyon denklemi yardımıyla Şekil 7.4'te sarkma uzunluğu ve akma mukavemetine göre kararlı kesme derinliklerinin değişimi 3 boyutlu grafik yardımıyla gösterilmiştir. Sarkma uzunluğu ve akma mukavemeti azaldıkça kararlı kesme derinliklerinin arttığı görülmektedir. Grafik çizilirken devir sayısı 500 d/dk sabit tutulmuştur.



Şekil 7.4. Sarkma uzunluğu ve akma mukavemetine göre kararlı kesme derinliğinin değişimi.

Oluşturulan doğrusal olmayan regresyon denklemi yardımıyla kararlı kesme derinliklerini en büyükmek amacıyla doğrusal olmayan optimizasyon modeli oluşturulmuştur. Modelin amaç fonksiyonu ve kısıtları aşağıdaki gibidir.

Amaç fonksiyonu:

En büyük kararlı kesme derinlikleri (mm)

Kısıtlar:

$125 \leq \text{devir sayısı} \leq 710$ (d/dk)

$70 \leq \text{sarkma} \leq 110$ (mm)

$124 \leq \text{akma mukavemeti} \leq 387.5$ (MPa)

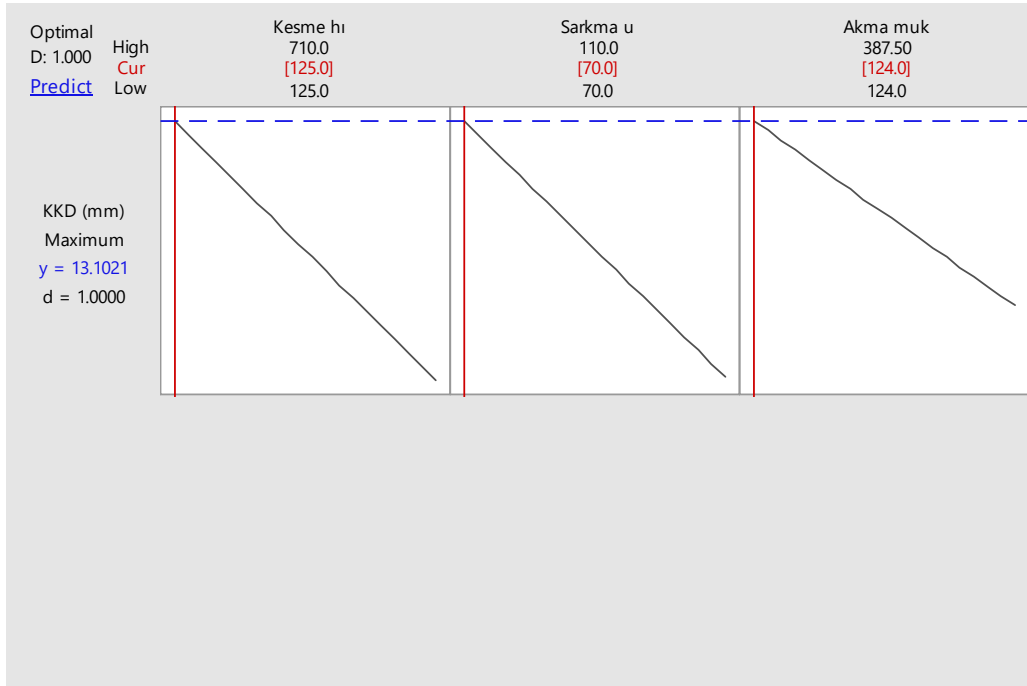
Oluşturulan modelin sonuçları Çizelge 7.5'de gösterilmiştir. Devir sayısı en düşük (125 d/dk), sarkma uzunluğu en düşük (70 mm) ve akma mukavemeti en düşük (124 MPa) olduğunda kararlı kesme derinlikleri en büyükmüştür.

Çizelge 7.5. Oluşturulan optimizasyon modelinin sonuçları.

.Bağımsız Değişkenler	En İyi Değer	
Devir sayısı (d/dk)	125	
Sarkma uzunluğu (mm)	70	
Akma mukavemeti (MPa)	124	
Bağımlı değişken	Tahmin	Tahmin SH
KKD (mm)	13,102	0,891

SH: Standart hata KKD: Kararlı kesme derinliği

Şekil 7.5'te düzeye göre maksimum kararlı kesme derinliği (13,1021 mm) gösterilmiştir. D değerinin 1 olması sonuçların uygun olduğunu göstermiştir.



Şekil 7.5. Düzeye göre maksimum kararlı kesme derinliği.

Çizelge 7.6'da optimum çalışma koşullarına göre doğrulama deneyinin sonuçları gösterilmektedir. Modelin sonuçlarının tutarlı olduğu görülmüştür.

Çizelge 7.6. Oluşturulan modelin ve doğrulama deneyinin karşılaştırılması.

	Devir sayısı (d/dk)	Sarkma uzunluğu (mm)	Malzeme	Kararlı kesme derinliği (mm)
Model	125	70	Al-7075	13,1
Deney	125	70	Al-7075	12,5

7.2. Eşleştirilmiş “t Testi”

Bu bölümde eşleştirilmiş t testiyle seramik uç ile metal ucun (Türkeş, 2007) kararlı kesme derinlikleri açısından karşılaştırılması yapılmıştır. H_0 hipotezi kesici uçlar arasında anlamlı fark olmadığını, alternatif hipotez ise anlamlı fark olduğunu ifade eder. Testin sonuçları Çizelge 7.7’de gösterilmiştir. Teste göre %5 anlam seviyesinde alternatif hipotez kabul edilmiştir ($p < 0,05$). Bu teste göre seramik ucun metal uca göre kararlı kesme derinlikleri açısından üstün olduğu söylenebilir.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	Kesme hızı (d/dk)	Sarıkma uzunluğu (mm)	Akma mukavemeti (MPa)	Kater kesiti (mm2)	Kater uzunluğu (mm)	KKD1 (mm)	KKD2 (mm)	
1	355	70	165,0	400	110	9,8	5,3	
2	500	70	165,0	400	110	6,0	4,5	
3	710	70	165,0	400	110	4,5	3,8	
4	355	80	165,0	400	110	7,5	4,9	
5	500	80	165,0	400	110	5,8	4,3	
6	710	80	165,0	400	110	4,2	3,7	
7	355	90	165,0	400	110	7,3	4,5	
8	500	90	165,0	400	110	5,5	3,7	
9	710	90	165,0	400	110	4,0	3,2	
10	180	70	387,5	625	130	7,0	3,7	
11	250	70	387,5	625	130	5,8	3,2	
12	355	70	387,5	625	130	5,1	2,7	
13	500	70	387,5	625	130	4,4	2,1	
14	710	70	387,5	625	130	4,0	1,6	
15	180	90	387,5	625	130	6,5	3,6	
16	250	90	387,5	625	130	5,6	3,0	
17	355	90	387,5	625	130	4,4	2,5	
18	500	90	387,5	625	130	3,9	2,0	
19	710	90	387,5	625	130	3,4	1,5	
20	250	110	387,5	625	130	5,5	2,7	
21	355	110	387,5	625	130	4,7	2,3	
22	500	110	387,5	625	130	3,6	1,8	
23	710	110	387,5	625	130	3,2	1,3	
24	125	90	124,0	625	130	9,0	6,2	
25	180	90	124,0	625	130	8,2	5,5	
26	250	90	124,0	625	130	7,5	4,7	
27	355	90	124,0	625	130	6,8	4,0	
28	500	90	124,0	625	130	6,0	3,5	
29	710	90	124,0	625	130	5,0	3,0	

Şekil 7.6. Yapılan 29 deneye ait sonuçlar.

Çizelge 7.7. Seramik ve metal uçlar için t testi sonuçları.

	N	Ortalama	SS	OSH
KKD1 (mm)	29	5,662	1,697	0,315
KKD2 (mm)	29	3,407	1,264	0,235
Fark	29	2,255	0,812	0,151
%95 güven aralığında ortalamalar arasındaki fark: (1,946, 2,564)				
T-Testi Sıfır Hipotezi (H_0) = 0 (Alternatif hipotez (H_a) \neq 0): T-değeri = 14,96 P-değeri = 0,000				
SS: Standart sapma OSH: Ortalamaların standart hatası				

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. Deney Sonuçlarının İrdelenmesi

Çalışmanın sonuçları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

1. Yapılan çalışmada tırlama titreşimlerinin, söz konusu takımın doğal frekansının üzerinde olduğu görülmüştür. Bu zaten beklenen bir durumdur.
2. Devir sayısı azaldıkça kararlı kesme derinlikleri arasındaki farkın arttığı görülmektedir. Bu nedenle verilen grafik çizgileri (Bkz. Şekil 6.11, Şekil 6.12 ve Şekil 6.13) birbirine paralel olmayıp aralarında belli bir açı bulunmaktadır.
3. Bu açı değeri malzemenin sertliği azaldıkça düşmektedir.(Al 7075 için 2°, Ç-1010 için 4°)
4. Alümina esaslı seramik kesici uçlar düşük devirlerde de TiC kesici uçlara göre daha yüksek kararlı kesme derinliğine imkân vermektedir.
5. Tüm kater boyları için yapılan deneylerde genel itibarı ile çizilen grafikler arasında bir paralellik söz konusudur. Yani kater boyu kısaldıkça, iş parçası yumuşadıkça, tezgâhın devir sayısı azaldıkça kararlı kesme derinliğinin arttığı gözlemlenmiştir.
6. AISI 1010 malzeme için kater boyu 80 ve 90 mm için elde edilen değerler arasında belli bir doğrusallığın olduğu görülmüştür (Belli bir kırılma noktası göze çarpmamaktadır.).
7. Sarkma boyu arttıkça kararlı kesme derinliğinin azaldığı görülmektedir ki bu beklenen bir durumdur.
8. Alümina esaslı seramik kesici uçlarda tüm kesme koşullarında kararlı kesme derinliğinin TiC kesici uçlara göre daha büyük olduğu görülmüştür.
9. Malzeme cinsi değiştiğinde (AISİ 1050 kullanıldığında) grafikler arasındaki ilişki aynı kalmakla beraber, kararlı kesme derinlikleri arasındaki fark artmıştır.
10. Sertliği düşük malzemelere nazaran sert malzemelerde, alümina esaslı seramik kesici uçların TiC kesici uçlara göre çok daha iyi bir performans sergilediği görülmektedir.
11. Devir sayısının fazla olması alümina esaslı seramik kesici uçların dayanımı açısından bir avantaj iken düşük devirlerde ucun çabuk kırıldığı görülmüştür.

12. Al-7075 malzemesi için 90 mm haricindeki diğer kater boylarında tırlama şiddeti düşük çıkmıştır. Bu nedenle sadece bu kater boyu için deneysel veriler dikkate alınmıştır.
13. Kater sarkma boyu, iş parçasının mukavemeti ve devir sayısı düştükçe kararlı kesme derinlikleri artmaktadır.

8.2. Değerlendirme ve Öneriler

Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde çalışmayla ilgili aşağıdaki yorumlar yapılabilir:

1. Alümina esaslı seramik kesici uçlar yüksek devirlerde kullanıma uygun olmasına karşın, düşük devirlerde TiC uçlara göre daha iyi bir kararlı kesme derinliği sağladığı görülmektedir.
2. Grafik çizgileri arasında belli bir açı değeri meydana gelmesi devir sayısının düşmesi ile alümina esaslı seramik kesici uçların TiC uçlara göre, çok daha fazla oranda kesme derinliklerine izin verdiğini göstermektedir. Düşük devirlerde kesici uçların kesme kuvvetlerine olan maruziyetleri arttığından dolayı kesici uçların dayanımı ön plana çıkmaktadır. Bu nedenle alümina esaslı seramik kesici uçların TiC uçlara nazaran dayanımının yüksek olduğu söylenebilir.
3. Talaş kaldırma operasyonları sonrasında elde edilen kararlı kesme derinlikleri ile çizilen grafikler arasındaki açı değerinin, malzemenin sertliği azaldıkça düşmesi alümina esaslı seramik kesici uçların en ideal kullanımının sert malzemeler üzerinde olacağını göstermektedir. Böylece seramik uçların avantajlarından maksimum düzeyde faydalanılabilecektir.
4. Kater boyu kısaldıkça ve malzemenin sertliği azaldıkça alümina esaslı seramik kesici uçlarda tırlama oluşumu ve bazı yüksek kararlı kesme derinlikleri değerleri için (10 mm gibi) tırlama titreşiminin şiddeti önemli düzeyde azalmaktadır.
5. Devir sayısının düşmesi ile birlikte alümina esaslı seramik kesici uçların daha kısa sürede kırıldığı görülmüştür. Bunun nedeninin devrin düşmesi ile kesme sürecindeki elastik ve plastik şekil değiştirmeden kaynaklı kuvvetin etki süresinin uzaması ve bunun sonucunda seramik uca daha büyük genlikte dinamik kuvvetlerin etki etmesi olarak düşünülebilir. Ancak bu durum seramik uçlara tokluğunu arttıracak yönde eklenebilecek ilave maddelerle büyük ölçüde ortadan kaldırılabilir.

6. Devir sayısının azalması ile kararlı kesme derinliğinin artmasının nedeni olarak, alümina esaslı seramik kesici uçların kesme işlemi sırasında oluşan ısıya ve deformasyon kuvvetlerine daha uzun süre dayanabilmesi ve kesme özelliğini daha geç kaybetmesi (daha geç körelmesi) gösterilebilir.
7. Kater boyunun kısa olduğu ve devrin yüksek oranda düştüğü durumlarda (70 mm kater boyu, 250 d/dk ve altı devir) belirgin bir tırlama titreşimi tespit edilememesinin nedeni alümina esaslı seramik kesici uçların tanecik yapısındaki sıkı paketleme özelliğinden kaynaklı üstün rijitlik ve ısı dayanımı olarak gösterilebilir.
8. Alümina esaslı seramik kesici uçlar devir sayısının yüksek olduğu ve sert malzemelerin işlendiği durumlarda maksimum performans göstermektedir. Zaten ana kullanım alanı budur. Ancak bu çalışma ile görüldüğü üzere düşük devirlerde de daha fazla oranda bir kararlı kesme derinliğine izin vermektedir.

Seramik malzeme üretimindeki teknolojinin gelişmesiyle birlikte vuru ve darbelere karşı hassasiyet ilave katkı malzemeleri ile hissedilir seviyede iyileştirilebilmektedir. Yani rijitlik ısı dayanım gibi özelliklerinin yanına tokluğu da eklemek mümkün hale gelmiştir.

Özellikle yüzey kalitesi ile birlikte yüksek kararlı kesme derinliği ve bunun paralelinde proses süresinin kısaltılmasının hedeflendiği durumlarda alümina esaslı seramik kesici uçların kullanımına ağırlık verilmelidir.

Seramik kesici uçların vuru ve darbelere karşı hassas olmalarından dolayı özellikle son paso ve yüzeyden ilk paso kaldırılmasından sonraki süreçte kullanımının daha uygun olduğu görülmektedir. Bu nedenle kaba işlemenin ardından yapılacak tüm tornalama işlemlerinde alümina esaslı seramik kesici uçların kullanılması hem işlem süresinin kısaltılmasını hem de yüzey kalitesinin artmasını sağlayacaktır.

Genel olarak yapılan tüm çalışmalar, takım ve kesme geometrisi üzerine yoğunlaşmış ve en ideal kararlı kesme derinliklerinin tespitinde bu yönde araştırmalar yapılmıştır. Bunun yanında kesici uç malzemelerindeki değişimin kararlı kesme derinliğine olan etkileri üzerinde yapılan çalışmalar sınırlı kalmıştır.

Bu tez çalışması ile azami kararlı kesme derinliğini, yüzey kalitesi ve geometrisinden ödün vermeden elde etmede, farklı bir bakış açısı olarak, TiC uçlar ile alümina esaslı seramik kesici uçlardan elde edilen kararlı kesme derinlikleri karşılaştırılmış ve alümina esaslı kesici uçların çok daha etkili olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akçay, R., Memiş, E. K., Özlü, E., Budak, E., 2010, Havacılık Sanayinde Süreç Optimizasyonu için kararlılık Diyagramlarının Kullanımı, 2. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu. Konya.
- Akgül, A., Çevik, O., 2005, İstatistiksel Analiz Teknikleri, Ankara: Emek Ofset.
- Akkurt, M. (2000). Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları. İstanbul.
- Altıntaş, Y., 2000, Manufacturing Automation; Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations and CNC Design, Cambridge University Press.
- Anonim, 2014, 7075, Seykoç Alüminyum, <http://seykoc.com.tr/aluminyum-aliasimlar/7075.aspx>, erişim tarihi:30.01.2016
- Anonim, 2014, Titreşimi Etkileyen Etkenler. http://www.sandvik.coromant.com/tr-tr/knowledge/technologies/silent-tools/turning/factors_that_influence_vibration/pages/default.aspx, erişim tarihi: 30.01.2016
- Anonim, 2015, Metal and Alloy Composition Search, MatWeb: <http://www.matweb.com/search/CompositionSearch.aspx>, erişim tarihi: 26.10.2015
- Anonim, 2015, T Testi, İstatistik Analiz: <http://www.istatistikanaliz.com/t-testi.asp>, erişim tarihi: 30.01.2016
- Arık, İ., 2010, Farklı Adımlı Kesici Ağzılara Sahip Freze Çakılarının Tırlama Titreşimleri Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi.
- Atlar, S., 2007, Talaşlı İmalatta Talaş Kaldırmayı Dikkate Alan Parça Dinamiği Modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi.
- Budak, E., Uysal, E., Çomak, A., Koca, R., 2013, Talaşlı İmalat Süreçlerinin Kararlılığı ve Takım Tezgâh Dinamiği, 16. Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu: s. 114-124), Erzurum.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Çakır, M., 1999, Modern Talaşlı İmalatın Esasları, Bursa: Vipaş Yayınları.
- Çevik, E., 2006, Tornalama İşleminde Kesici Takım Ömrünün İyileştirilmesine Yönelik Alternatif Bir Yaklaşım, Yüksek Lisans Tezi, Ankara: Gazi Üniversitesi.
- Çiftçi, İ., 2003, Alüminyum Esaslı Kompozitlerde Takviye Oranı ve Boyutunun Mekanik Özellikler ve İşlenebilirlik Üzerine Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çil, B., 2005, İstatistik, Ankara: Detay Yayıncılık.
- DeGarmo, E., Black, J., Kohser, R., 1997, Material and Processes in Manufacturing, New Jersey: Prentice-Hall Inc., p. 214-652.
- Doğan, B., 2010, Sialon Esaslı Seramik Kesici Uçların Isıl İletkenliğinin Sıcaklığa bağlı Analizi, Doktora Tezi, Makina Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi.
- Donald, A., (1998), Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri Cilt 1. İstanbul: Nobel Yayınları.
- Groover, M., 1996, Fundamentals of Modern Manufacturing – Materials, Processes and Systems, p. 220-639. New Jersey: Prentice-Hall Inc.
- Güllü, A., 1995, Silindirik Taşlamada istenen Yüzey Pürüzlülüğünü Elde Etmek İçin Taşlama Parametrelerinin Bilgisayar Yardımıyla Optimizasyonu. Doktora Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi Makine Eğitim Bölümü.
- Gültekin, F., 2013, Regresyon Analizi, <http://w3.balikesir.edu.tr/~bsentuna/wp-content/uploads/2013/03/Regresyon-Analizi.pdf>, erişim tarihi:30.01.2016.
- Işık, Y., Çakır, C., M., 2001, Hız Çeliği Takımlar İçin Kesme Parametrelerinin yüzey Pürüzlülüğüne etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Teknoloji, s. 111-118.
- Kalaycı, H. T., Genç, G., tarih yok, Torna Tekniği ve Uygulamaları, http://www.garipgenc.com/wp-content/uploads/2011/11/Tornalama_Teknigi_ve_Uygulamalari_11.pdf, erişim tarihi:30.01.2016

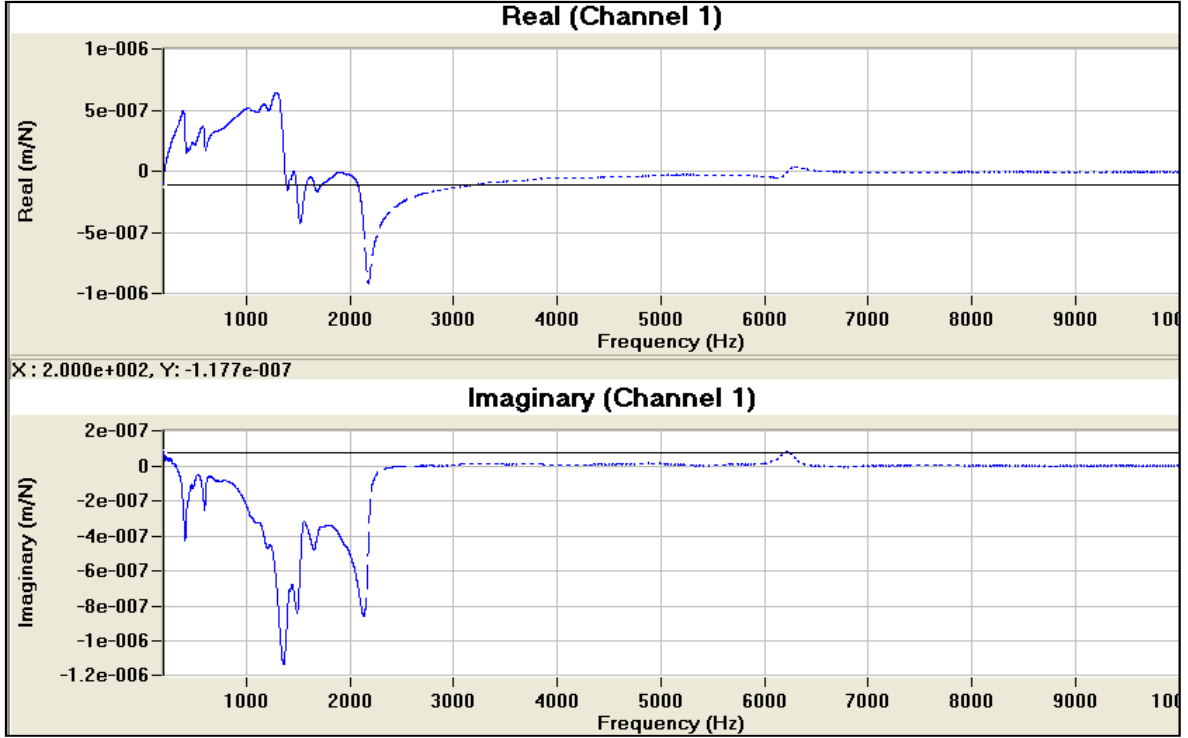
KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kandemir, K., Özdemir, A., 1999, Seramik Kesici Uçlarla Tornalamada Taşlama Kalitesinde Yüzeylerin Elde Edilme Şartları. Teknoloji, s. 119-129.
- Karataş, Z., 2014, Regresyon, Korelasyon ve Faktör Analizi, Sosyal Hizmette İleri İstatistik Uygulamaları Dersi.
- Kayhan, M., Budak, E., 2004, Investigating Effects of Chatter on Tool Life in Turning, Proceedings of 4th CIRP International Seminar on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, Sorrento, Italy, p. 679-684.
- Köksal, S., 2000, Face Milling of Nickel-Based Superalloys with Coated and Uncoated Carbide Tool., Doktora Tezi, School of Engineering, Coventry University, England, Coventry.
- Neşeli, S., 2006, Tornalamada Takım Geometrisi ve Tırlama Titreşimlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Neşeli, S., 2013, Tırlama Titreşimleri üzerine Süreç Sönümlenme Etkisinin Analitik Olarak Araştırılması ve Tornalamada Kararlı Kesme Derinliği İle Süreç Sönümlenme Değerlerine Bağlı Parametre Optimizasyonu, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi.
- Neşeli, S., Yıldız, S., 2007, Tornalamada Yaklaşma Açısı ve Talaş Açısına Bağlı Tırlama Titreşimlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri, Politeknik, s. 383-389.
- Özlu, E., Budak, E., 2006, Tornalama İşlemlerinde Süreç kararlılığının Analitik Olarak Modellenmesi, Tasarım İmalat Analiz Kongresi, Balıkesir, s. 201-211.
- Özmen, A., Işıklar, E., Durucasu, H., Atlas, M., Er, F., 2013, İstatistiksel Karar Alma, İstatistik II, Eskişehir: Anadolu Üniversitesi, s. 66-75.
- Polacek, M., Tlustý, J., 1963, The Stability of Machine Tools Against Self Excited Vibrations in Machining, ASME, p. 465-474.
- Sandvik Coromant, 1994, Modern Metal Cutting, A Practical Handbook. Sweden: English Edition.
- Sarı, H., 2008, Frezelemede Takım Geometrisi ve Tırlama Titreşimlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi.

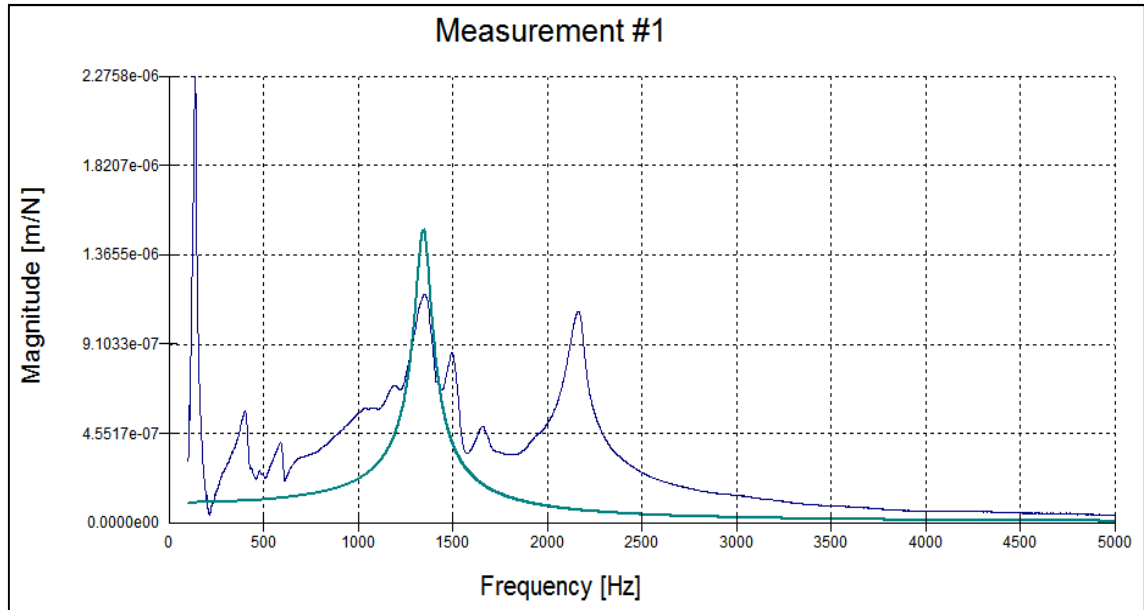
KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Sofuoğlu, A., 2015, Tornalama İşleminde Kararlı Kesme Derinliklerinin ve Tırlama titreşimlerinin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi.
- Şahin, Y., 2001, Talaş Kaldırma Prensipleri. İstanbul: Nobel Yayınları.
- Şeker, U., 1997, Takım Tasarımı Ders Notları. Ankara: Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, s. 9-10.
- Tlusty, J., 1999, Manufacturing Processes and Equipment. NJ, Prentice Hall.
- Tobias, S., 1965, Machine Tool Vibration, Willey, New York.
- Trent, E., 1977, Metal Cutting. London.
- Trent, E., 1989, Metal Cutting, London: Butterworths Press. p. 1-71.
- Türkeş, E., 2007, Takım Tezgâhlarının Tırlama Titreşiminde Süreç Sönümlerinin Teorik ve Deneysel İrdelenmesi. Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi.
- Türkeş, E., 2011, Tornalamada Tırlama Titreşimlerinin Süreç Sönümlerinin İncelenmesi, Mühendis ve Makine, Cilt:52, s. 72-80.
- Utts, J., Heckard, R., 2006, Statistical Ideas and Methods, Thomson Books/Cole.
- William, S., 2001, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, İstanbul: Literatür Yayıncılık.
- Zhang, J. H., 1991, Theory and technique of precision cutting, Oxford: Pergamon Press, p. 1-50.

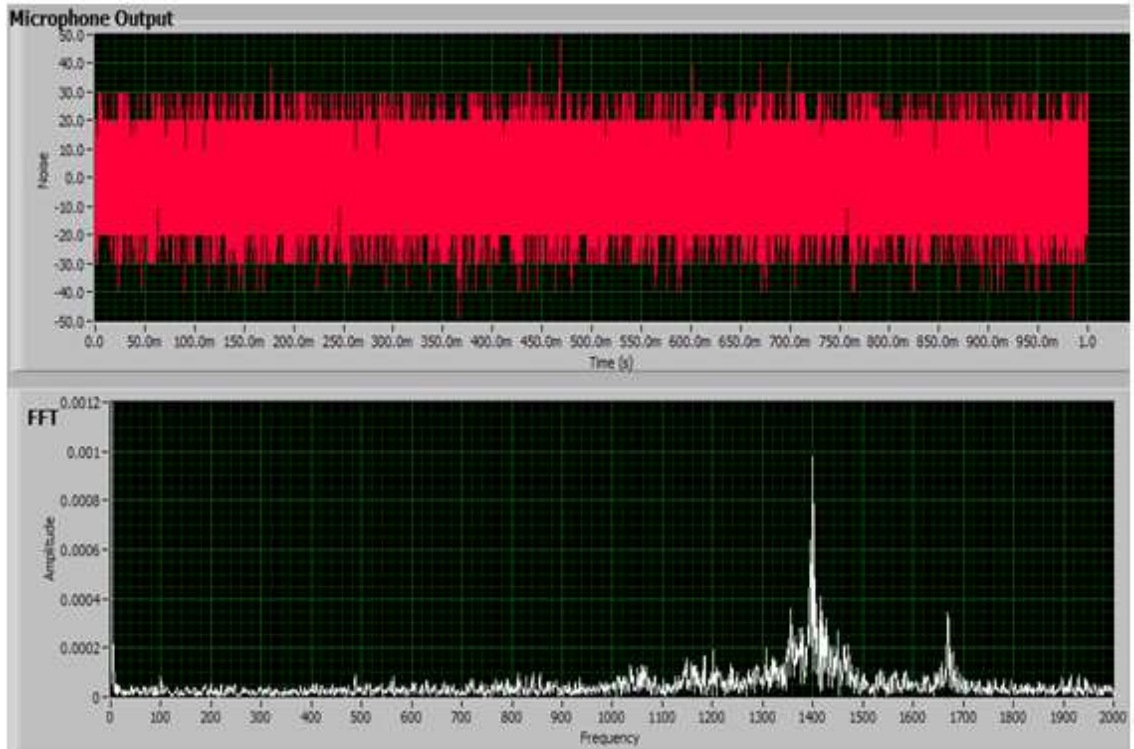
EK AÇIKLAMALAR-A
TORNALAMADA ÇEKİÇLEME VE TIRLAMA TESTLERİNDEN ELDE
EDİLEN SONUÇLAR



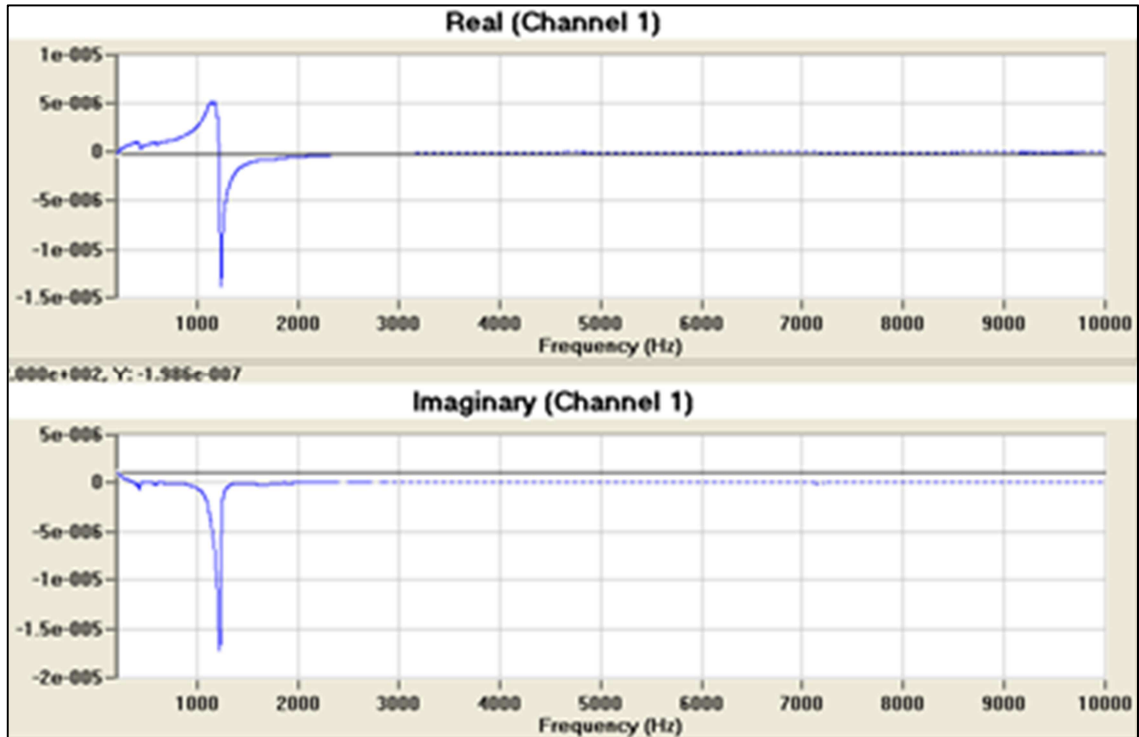
Şekil A.1. L= 80 mm (20×20) kesitli kater ve AISI 1010 için TF'nin reel ve imajiner grafikleri.



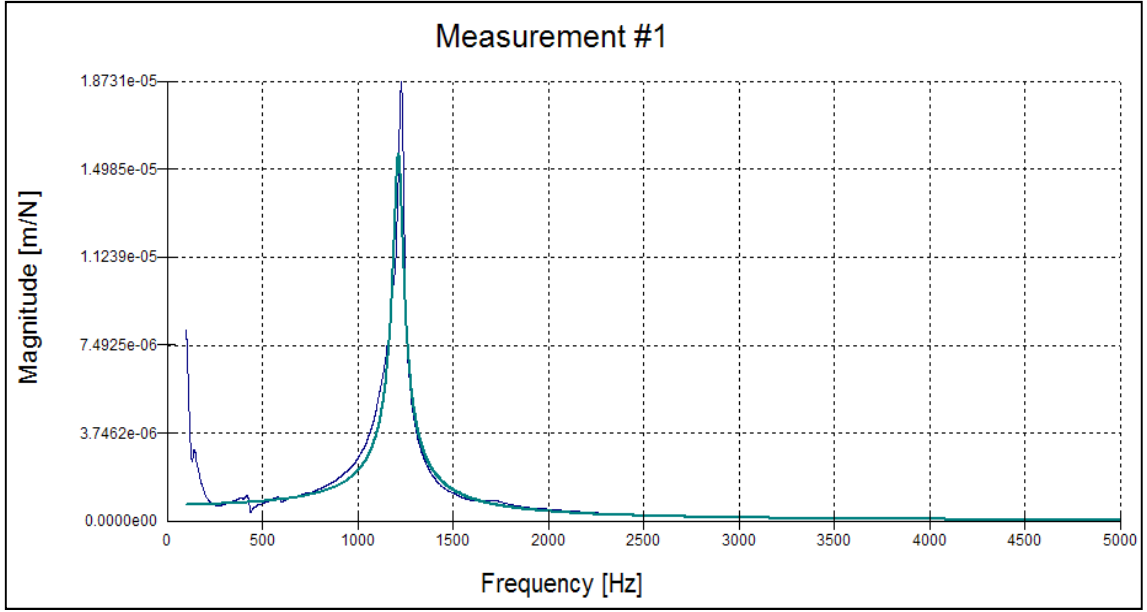
Şekil A.2. L= 80 mm (20×20) kesitli kater ve AISI 1010 için TF'nin FRF grafiği.



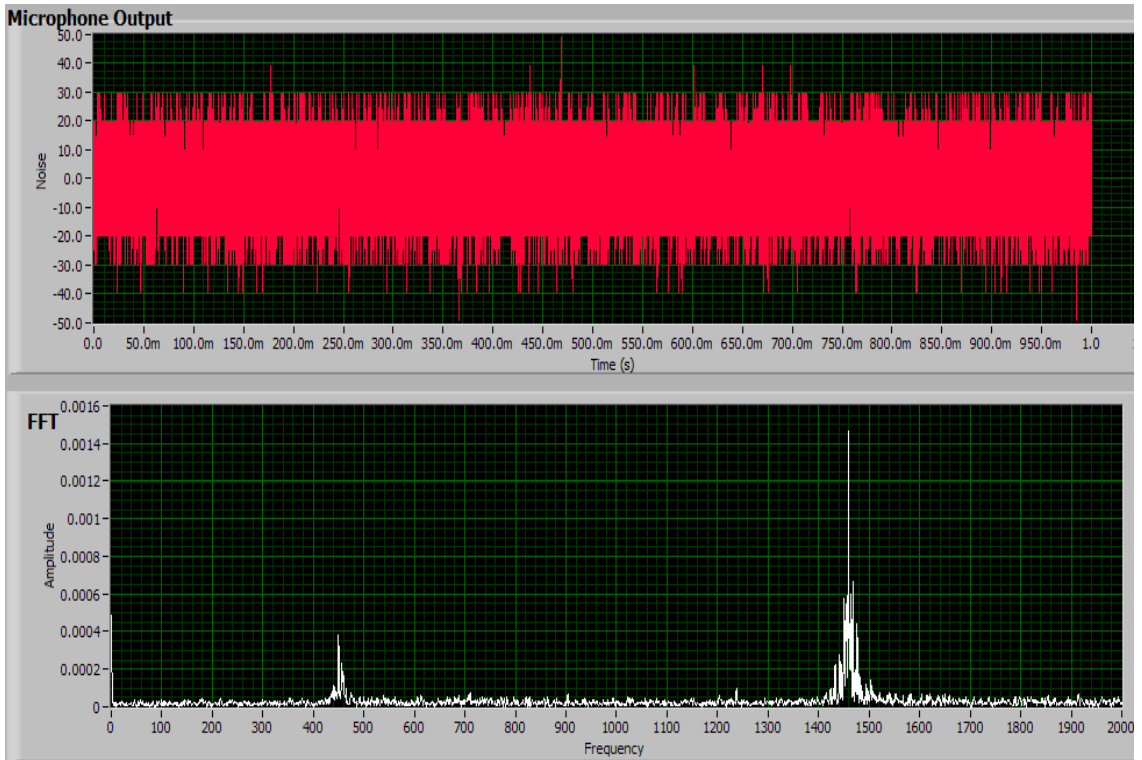
Şekil A.3. L= 80 mm (20×20) kesitli kater ve AISI 1010 için ses testi ile tırlama frekansının belirlenmesi.



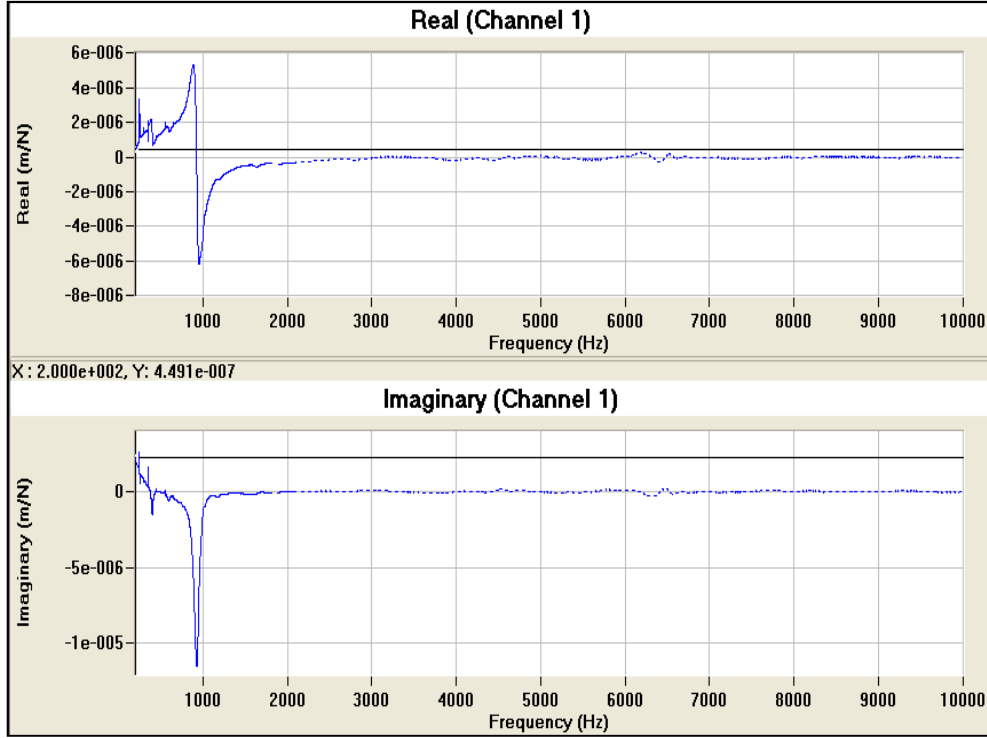
Şekil A.4. L= 90 mm (20×20) kesitli kater ve AISI 1010 için TF'nin reel ve imajiner grafikleri.



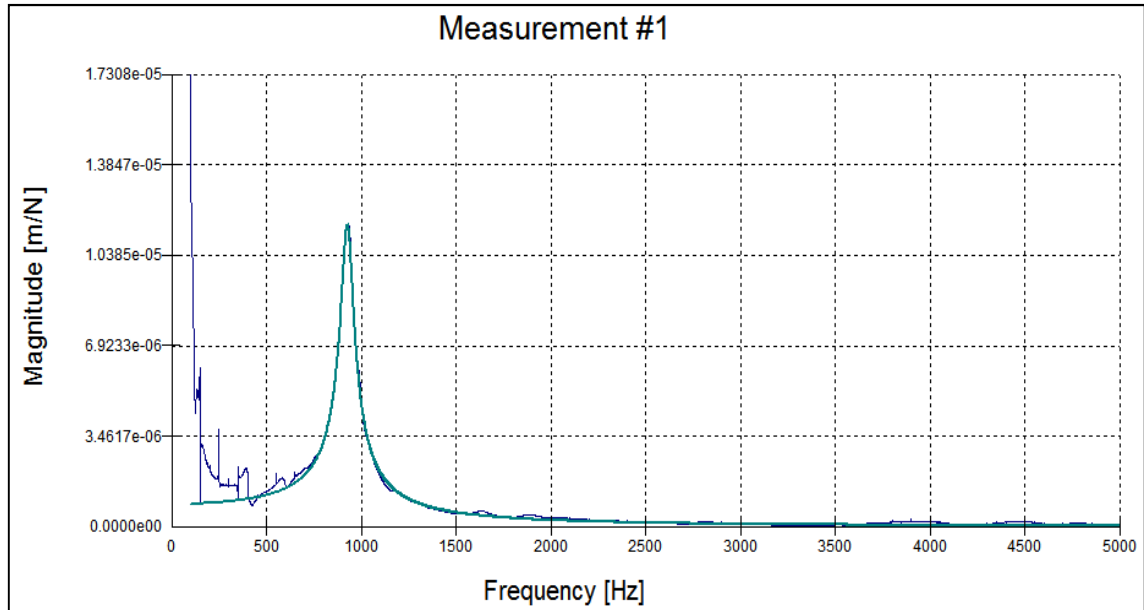
Şekil A.5. L= 90 mm (20×20) kesitli kater ve AISI 1010 için TF'nin FRF grafiği.



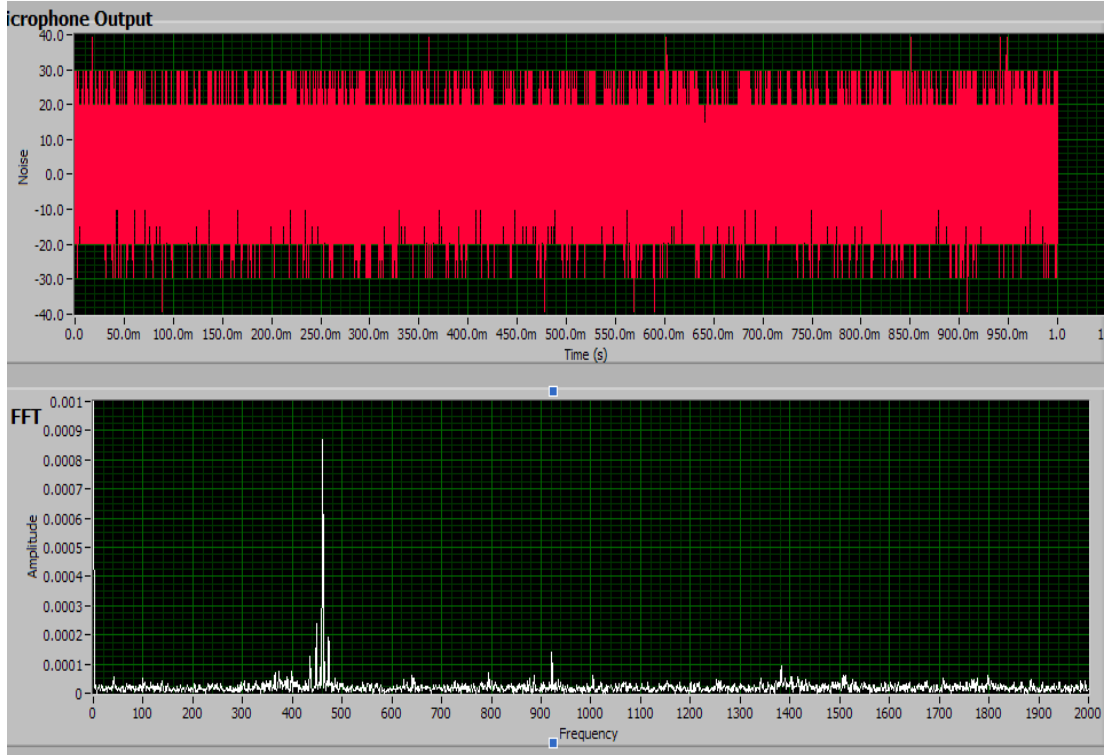
Şekil A.6. L= 90 mm (20×20) kesitli kater ve AISI 1010 için ses testi ile turlama frekansının belirlenmesi.



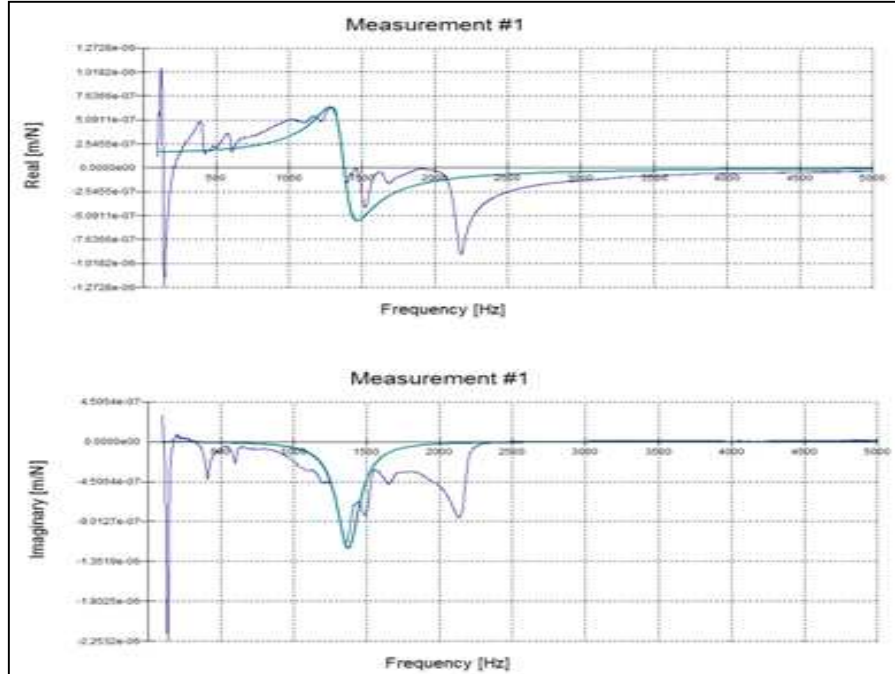
Şekil A.7. $L=110$ mm (20×20) kesitli kater ve AISI 1010 için TF'nin reel ve imajiner grafikleri.



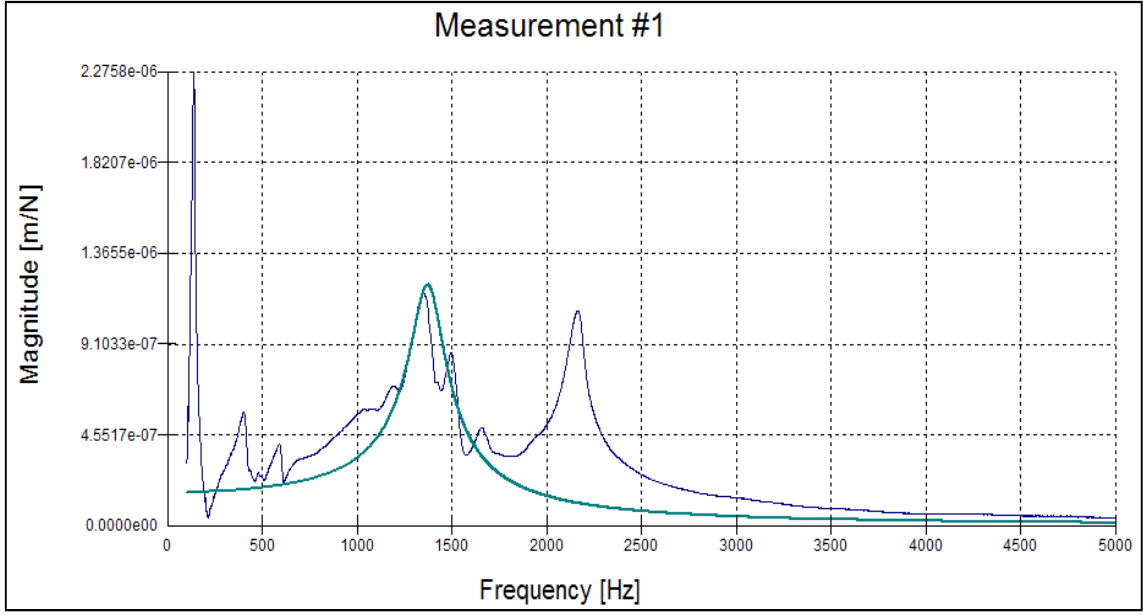
Şekil A.8. $L=110$ mm (20×20) kesitli kater ve AISI 1010 için TF'nin FRF grafiği.



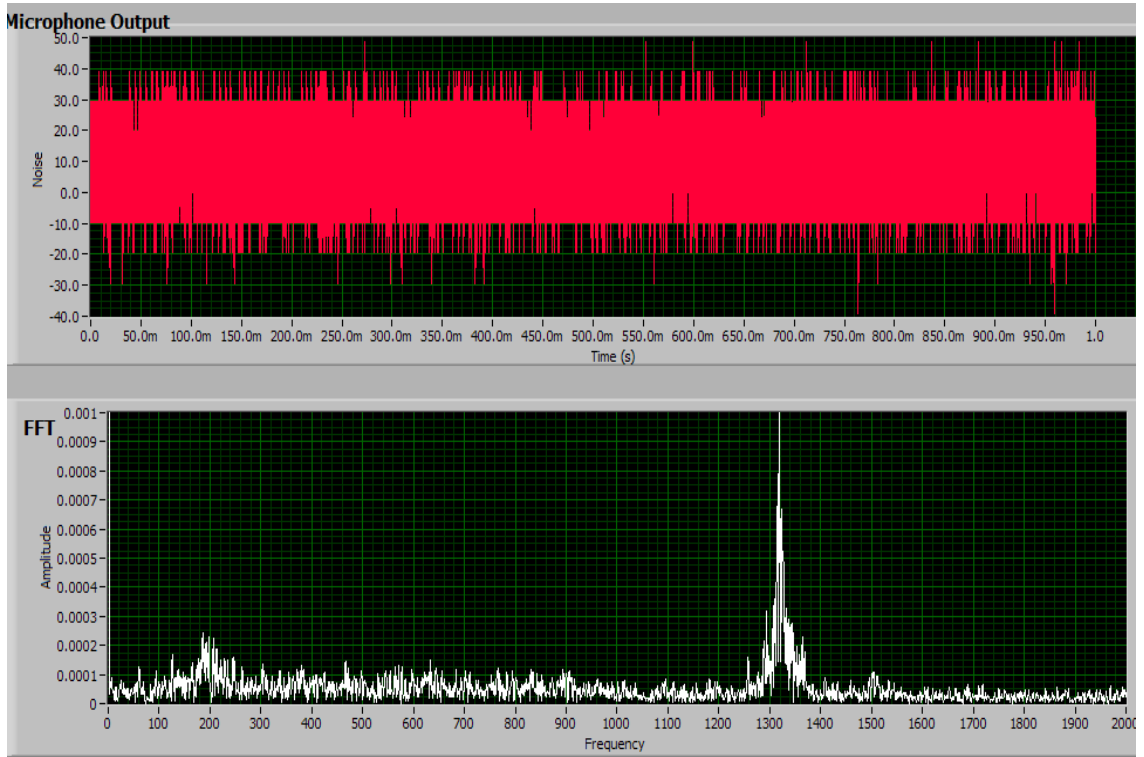
Şekil A.9. L= 70 mm (20×20) kesitli kater ve AISI 1010 için ses testi ile tırlama frekansının belirlenmesi.



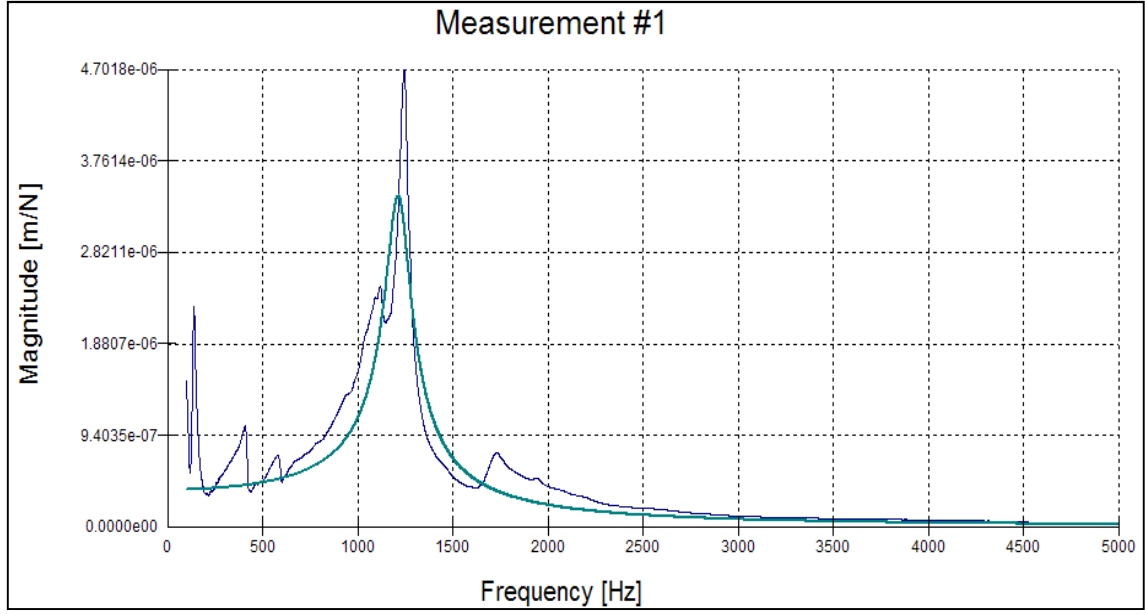
Şekil A.10. L= 70 mm (25×25) kesitli kater ve AISI 1050 için TF'nin reel ve imajiner grafikleri grafiği.



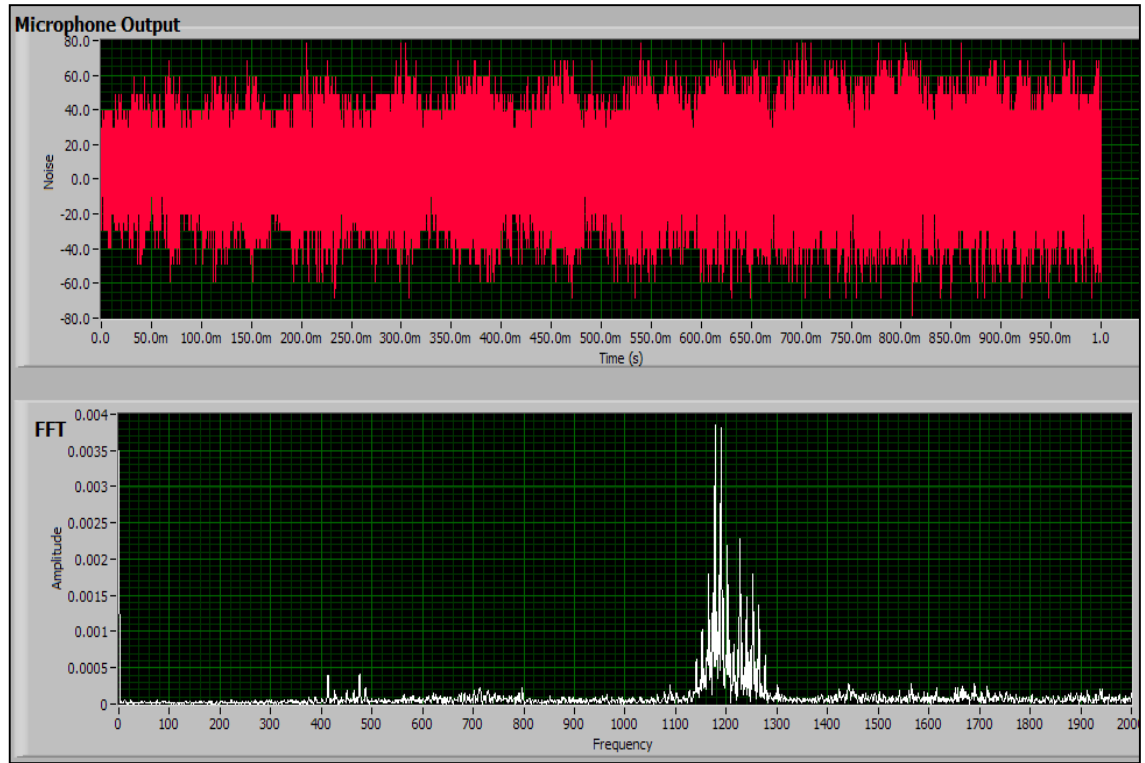
Şekil A.11. L= 70 mm (25×25) kesitli kater ve AISI 1050 için TF'nin FRF grafiği.



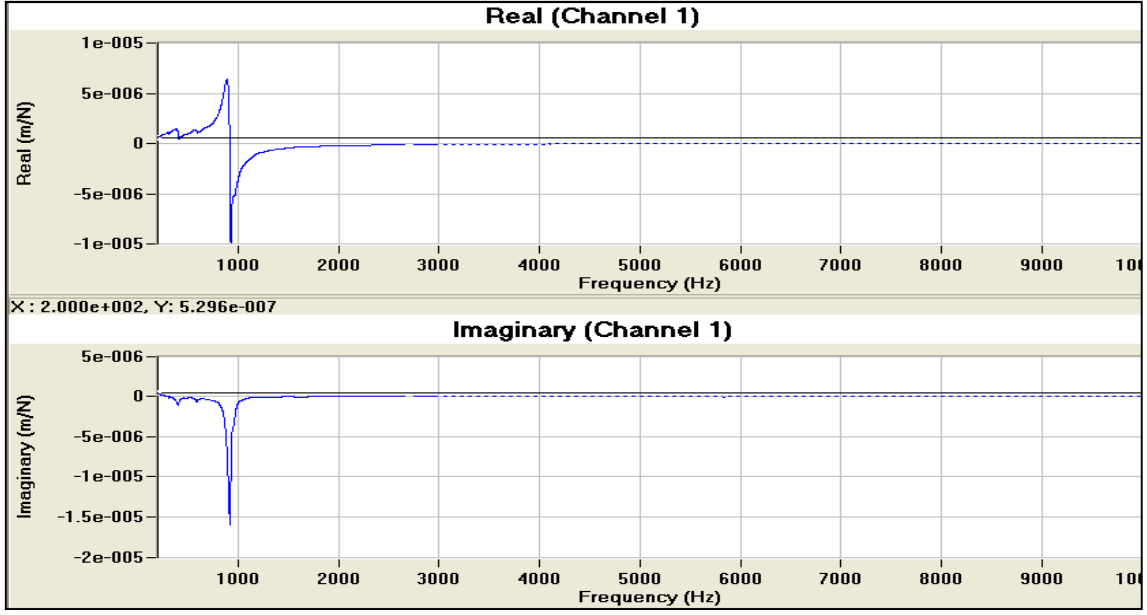
Şekil A.12. L= 70 mm (25×25) kesitli kater ve AISI 1050 için ses testi ile tırlama frekansının belirlenmesi.



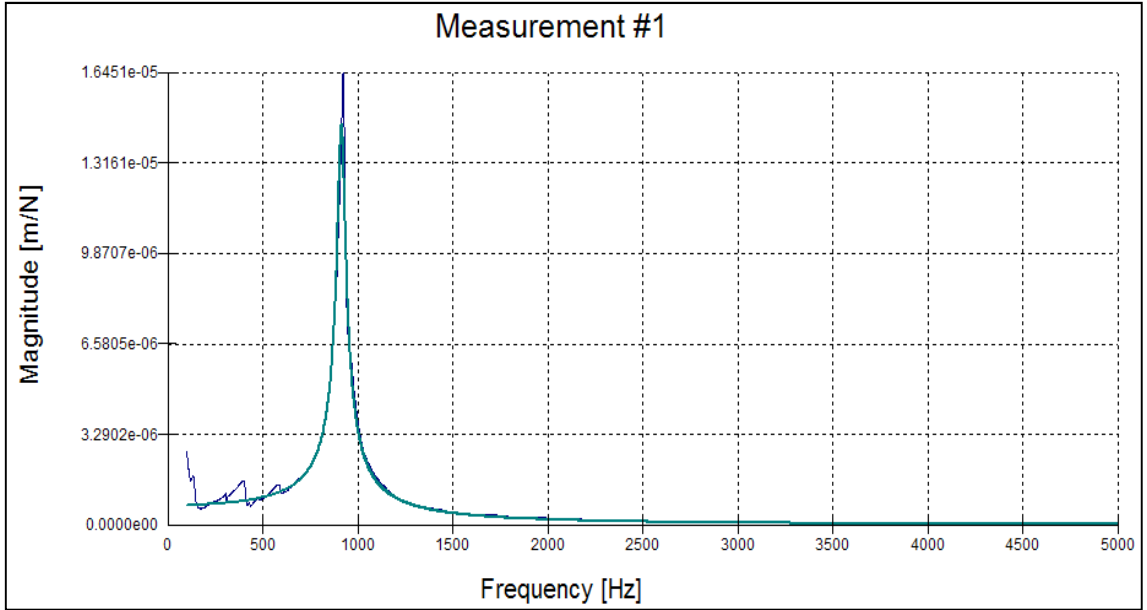
Şekil A.13. L= 90 mm (25×25) kesitli kater ve AISI 1050 için TF'nin FRF grafiği.



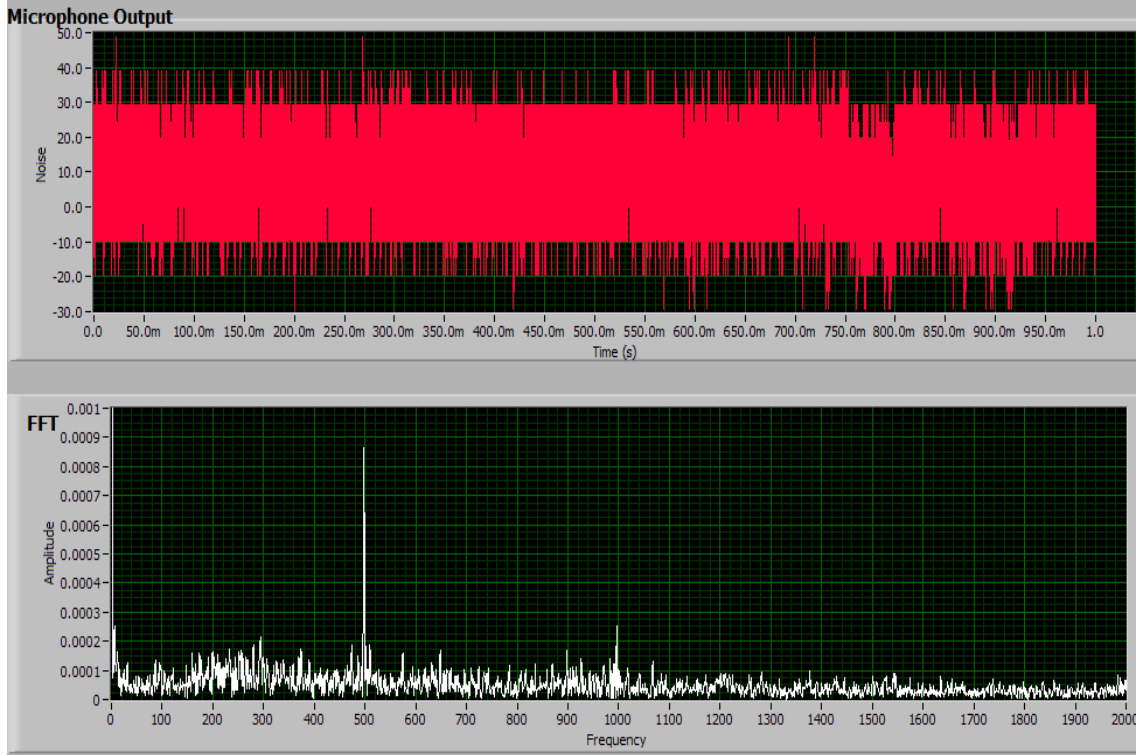
Şekil A.14. L= 90 mm (25×25) kesitli kater ve AISI 1050 için ses testi ile tırlama frekansının belirlenmesi.



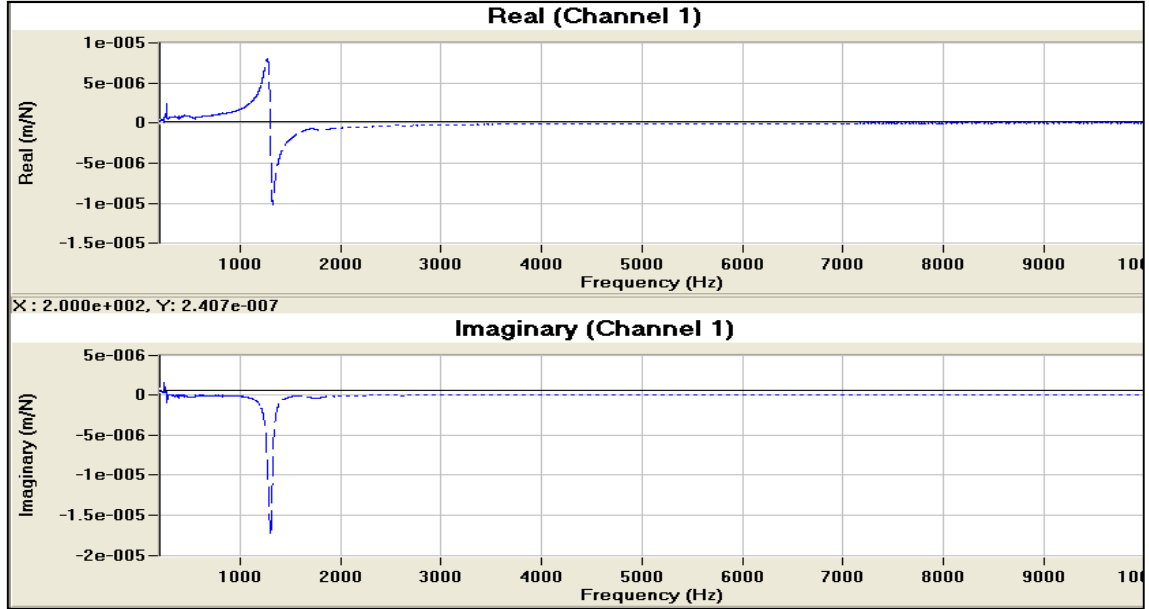
Şekil A.15. L= 110 mm (25×25) kesitli kater ve AISI 1050 için TF'nin reel ve imajiner grafikleri grafiği.



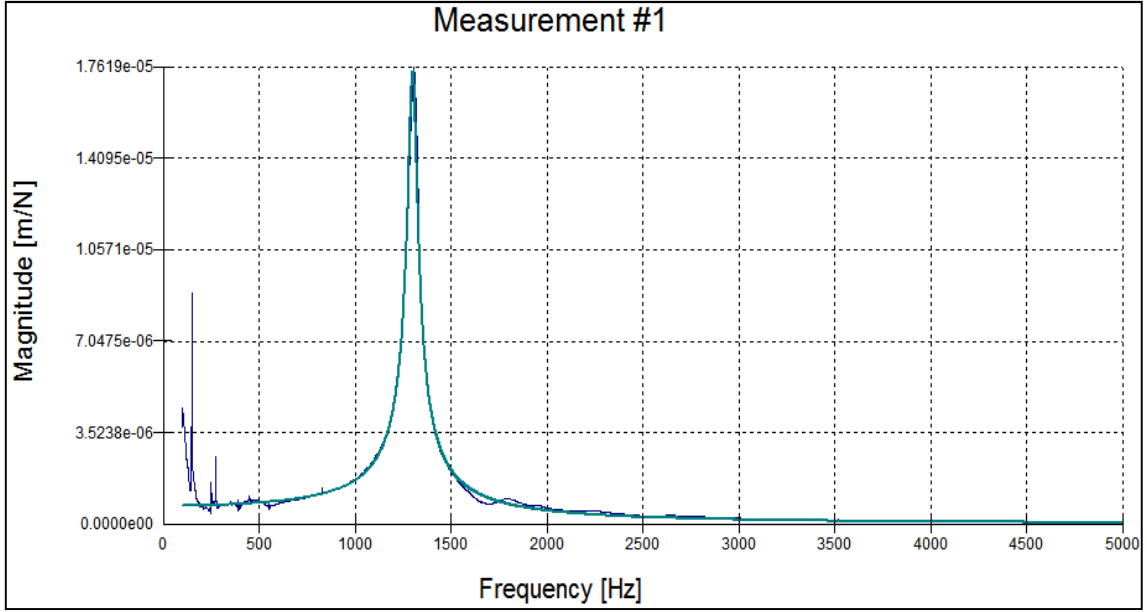
Şekil A.16. L= 110 mm (25×25) kesitli kater ve AISI 1050 için TF'nin FRF grafiği.



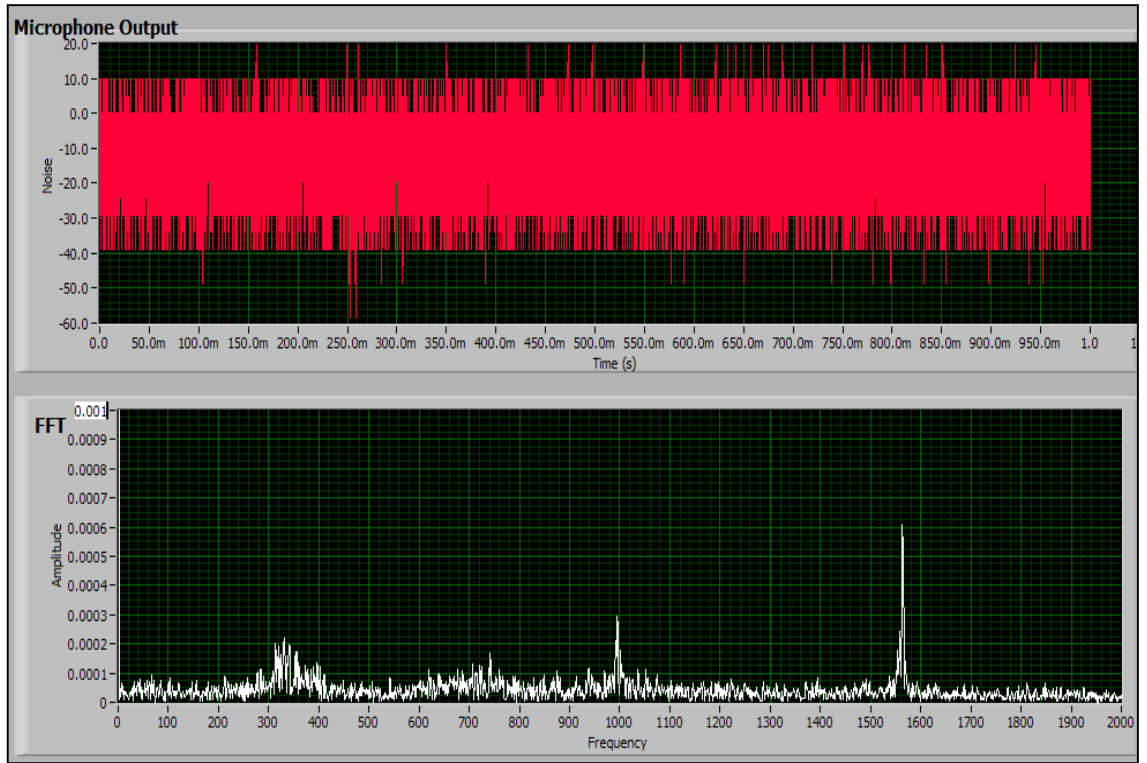
Şekil A.17. L= 110 mm (25×25) kesitli kater ve AISI 1050 için ses testi ile tırlama frekansının belirlenmesi.



Şekil A.18. 110 mm (25×25) kesitli kater ve Al 7075 için TF'nin reel ve imajiner grafikleri grafiği.



Şekil A.19. L= 90 mm (25×25) kesitli kater ve Al 7075 için TF'nin FRF grafiği.



Şekil A.20. L= 90 mm (20×20) kesitli kater ve Al 7075 için ses testi ile tırlama frekansının belirlenmesi.