

**SİLİNDİRİK TORNALAMA İŞLEMİ İÇİN
ULTRASONİK SİSTEM TASARIMI ve İMALATI**

İbrahim PAZARKAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2013

Bu tez çalışması 10.TEF.03 numaralı proje ile AKÜ BAPK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SİLİNDİRİK TORNALAMA İŞLEMİ İÇİN ULTRASONİK SİSTEM TASARIMI
ve İMALATI**

İbrahim PAZARKAYA

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2013

TEZ ONAY SAYFASI

İbrahim PAZARKAYA tarafından hazırlanan “**Silindirik Tornalama İşlemi İçin Ultrasonik Sistem Tasarımı ve İmalatı**” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 01/07/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN

Başkan : Prof. Dr. Kubilay ASLANTAŞ

Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Abdurrahman KARABULUT

Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi

Üye : Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN

Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun

...../...../..... tarih ve

.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mevlüt DOĞAN

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

Beyan ederim.

01/07/2013

İbrahim PAZARKAYA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TALAŞLI ÜRETİM İÇİN BİR ULTRASONİK SİSTEM TASARIMI ve İMALATI

İbrahim PAZARKAYA

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN

Bu çalışmada, silindirik tornalama için ultrasonik sistem tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Ultrasonik sistem elektronik ve mekanik olmak üzere iki bölümden oluşmuştur. Titreşime maruz kalan ve asıl kesme işlemini yapan mekanik bölümdür. İlk olarak sistemin mekanik bölümü tasarlanmıştır ve ölçümler yapılmıştır. Tasarlanan sistemin torna tezgâhında belirli kesme parametreler ile (kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliği) denemesi yapılmıştır. Sistemin denenmesinde kesme parametrelerine göre işlenen AISI 310 paslanmaz çelik üzerinde, yüzey pürüzlülüğü, kesici takım üzerinde oluşan yer değiştirmeler sayesinde nümerik olarak kuvvet tahmini, kesici takım aşınması ve talaş oluşumları incelenmiştir. Bütün kesme parametrelerine göre ultrasonik tornalama ile ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri konvansiyonel tornalama ile ölçülen değerlerden daha düşüktür. Kesici takımın üzerinde oluşan yer değiştirmelerde, ultrasonik tornalamada yer değiştirmelerin daha az olduğu, bununla birlikte kesme kuvvetlerinin daha az olduğu analiz edilmiştir. Ölçülen kesici takım aşınma miktarları göz önüne alındığında ultrasonik tornalamada oluşan kesici takım aşınma miktarları, konvansiyonel tornalamaya göre düşüktür. Alınan talaş örneklerinde, ultrasonik tornalama ile alınan talaşlar helisel formlu, konvansiyonel tornalama ile elde edilen talaş biçimleri ise karmaşıktır. Bütün işleme yöntemleri için testere formlu talaş biçimi görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Ultrasonik tornalama, Horn tasarımı, Takım yer değiştirmesi, Yüzey pürüzlülüğü, Takım aşınması.

2013, x – 60 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

MACHINING FOR ULTRASONIC SYSTEM DESIGN AND MANUFACTURING

İbrahim PAZARKAYA

Afyon Kocatepe University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering
Supervisor: Assist. Prof. Dr. İsmail UCUN

In this study, design and manufacture of ultrasonic system was turning round. Electronic or mechanical, including ultrasonic system consists of two parts. Exposed to vibration and mechanical section of the actual cutting process. The mechanical portion of the system is designed, and measurements were made first. Cutting lathe designed system specific parameters (cutting speed, feed rate and depth of cut) made an attempt. AISI 310 stainless steel processed by the testing of the system on the cutting parameters, surface roughness, cutting force on the team as a numerical estimate due to displacement of the cutting tool wear and chip formation were examined. According to the parameters for all the cutting surface roughness values measured by the ultrasonic turning lower than those measured by conventional turning. On the displacements of the cutting tool, ultrasonic displacements less oluduğu turning, however, is less than the shear forces have been analyzed. Given the measured amounts of cutting tool wear of ultrasonic cutting tool wear in turning amounts lower than the conventional turning operations. Received chip samples, with ultrasonic turning the helical-shaped chips, wood chips obtained by conventional forms of turning the complex. Was a form of chip-shaped blade for all processing methods.

Keywords: Ultrasonic turning, Horn design, replaced with a Team, surface roughness, tool wear.

2013, x – 60 pages

TEŐEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarında dolayı tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN'a, araştırma ve yazım sürecince yardımlarını esirgemeyen Sayın Öğr. Grv. Ender OYMAN'a, proje asistanları Sayın Said EKEN'e ve Sayın Uğur DİREK'e, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm Sayın Yrd. Doç. Dr. şükrü LKER'e teőekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teőekkür ederim.

İbrahim PAZARKAYA

Afyonkarahisar, 2013

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

t_0	Deforme olmamış talaş kalınlığı (mm)
t_c	Deforme olmuş talaş kalınlığı (mm)
w	Kesme genişliği (mm)
l_s	Kayma düzlemi genişliği (mm)
ϕ	Kayma düzlemi açısı ($^{\circ}$)
α	Kesici takım – talaş açısı ($^{\circ}$)
F	Bileşke kuvvet (N)
F_r	Radyal kuvvet (N)
F_f	İlerleme kuvveti (N)
F_c	Kesme kuvveti (N)
N_s	Devir sayısı (dev/dk)
f	İlerleme hızı (mm/dev)
a_p	Talaş derinliği (mm)
V	Kesme hızı (m/dk)
f_e	Frekans (Hz)
E	Elastite modülü (MPa)
ρ	Özgül ağırlık (kg/m^3)
ε	Possion oranı
R_a	Yüzey pürüzlülük değeri (μm)
δ	Yer değiştirme miktarı (mm)
VB	Yan yüzey aşınma miktarı (μm)

Kısaltmalar

EDM	Eletro Erezyon
LBM	Lazer ile İşleme
PAM	Plazma Arkı ile İşleme
ISO	International Standart for Organization
UT	Ultrasonik Tornalama
KT	Konvansiyonel Tornalama
CNC	Computer Numerical Control - Bilgisayarlı Sayısal Denetim
AISI	American Iron and Steel Institute- Amerikan Demir Çelik Enstitüsü (Amerikan Çelik Standardı)
CAD	Computer Aided Desing – Bilgisayar Destekli Tasarım
FEM	Finite Element Method - Sonlu Elemanlar Metodu
FEA	Finite Element Analysis – Sonlu Elemanlar Analizi
BUE	Bulit-up edge - Kesici kenar üzerinde talaş yığılması
SEM	Scanner Electron Microscope – Tarayıcı Elektron Mikroskobu
YT	Yığıntı Talaş

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR.....	3
2.1 Alışılmış İmalat Yöntemleri	3
2.2 Alışılmamış İmalat Yöntemleri.....	6
2.3 Ultrasonik İmalat Yöntemleri	7
3. MATERYAL ve METOT	22
3.1 Ultrasonik Sistem.....	22
3.2 Horn Tasarımı	23
3.3 Deneylede Kullanılan Malzemeler	26
3.4 Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri	29
3.5 Takım Deplasman Değerlerinin Belirlenmesi	29
3.6 Kesici Takım Aşınmasının Belirlenmesi	30
4. DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA.....	31
4.1 Yüzey Pürüzlülüklerinin Belirlenmesi.....	31
4.2 Kesici Takım Yer Değiştirmesinin Belirlenmesi.....	35
4.3 Kesici Takım Aşınmasının Belirlenmesi	39
4.4 Talaş Oluşumunun Belirlenmesi.....	49
5. SONUÇLAR.....	54
6. KAYNAKLAR.....	56
6.1. İnternet Kaynakları	59
ÖZGEÇMİŞ.....	60

ŞEKİLLERİN DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Dik kesme modeli (a) İzometrik görünüş b) Önden görünüş (Sur 2008).	4
Şekil 2.2 Tornalama işleminde kesme kuvvetleri (Sur 2008).	5
Şekil 2.3 Ultrasonik sistemlerde titreşim yönleri (Babitsky et al 2003).	8
Şekil 2.4 Ultrasonik delik delme (a) Ultrasonik sistemin şematik görünüşü (b) Ultrasonik sistemin torna tezgahına bağlanmış görünüşü (Azarhoushang and Akbari 2007).	9
Şekil 2.5 Inconel 718 malzemesinin $v = 17$ m/dk kesme hızı ile elde edilmiş yüzey pürüzlülük değerleri . (a) Ultrasonik yöntem. (b) Klasik yöntem (Babitsky et al 2003).	10
Şekil 2.6 Geleneksel ve ultrasonik işleme sonrası oluşan yüzey pürüzlülüğü (Nath et al 2007).	15
Şekil 2.7 Geleneksel ve ultrasonik tornalama sonrası oluşan aksel kesme kuvvetleri (Nath et al 2007).	16
Şekil 2.8 C eksenli CNC torna için ultrasonik sistem tasarımı (Lauwers et al).	19
Şekil 2.9 Kılavuz çekmek için ultrasonik sistem. (a) Şematik görüntü (b) Gerçek görüntü (Kuo 2007).	21
Şekil 3.1 Ultrasonik sistemin şematik görünümü.	22
Şekil 3.2 Ultrasonik sistemin mekanik parçaları.	24
Şekil 3.3 Ultrasonik sistemin farklı frekanslardaki mod şekilleri.	25
Şekil 3.4 Sistemin laboratuvar ortamında modal analizi.	26
Şekil 3.5 Deplasman değerlerinin ölçümünün şematik görünümü.	30
Şekil 3.6 Kesici takım aşınması ölçümü.	30
Şekil 4.1 Yüzey pürüzlüğünün talaş derinliği ve ilerleme miktarına bağlı değişimi ($V=30$ m/dk).	31
Şekil 4.2 Yüzey pürüzlüğünün talaş derinliği ve ilerleme miktarına bağlı değişimi ($V=60$ m/dk).	32
Şekil 4.3 Yüzey pürüzlüğünün talaş derinliği ve ilerleme miktarına bağlı değişimi (90 m/dk).	33
Şekil 4.4 Yüzey pürüzlüğünün talaş derinliği ve kesme hızına bağlı değişimi ($f=0,08$ mm/dev).	34
Şekil 4.5 Kesici takım yer değiştirmesinin şematik gösterimi.	35
Şekil 4.6 Ultrasonik ve konvansiyonel tornalama işleminde elde edilen takım yer değiştirme miktarları ($f=0,08$ mm/dev, $a_p=0,3$ mm).	36
Şekil 4.7 Ultrasonik ve konvansiyonel tornalama işleminde elde edilen takım yer değiştirme miktarları ($V=60$ m/dk, $a_p=0,3$ mm).	36
Şekil 4.8 İlerleme miktarına ve talaş derinliğine bağlı takım tutucunun yer değiştirmesi ($V=30$ m/dk).	37

Şekil 4.9 İlerleme miktarına ve talaş derinliğine bağlı takım tutucunun yer değiştirmesi (V=60 m/dk).	38
Şekil 4.10 İlerleme miktarına ve talaş derinliğine bağlı takım tutucunun yer değiştirmesi (V=90 m/dk).	39
Şekil 4.11 Kesici takım aşınması ölçümü.	40
Şekil 4.12 İlerleme miktarı ve talaş derinliğine bağlı kesici uçta meydana gelen aşınma miktarları (V=30 m/dk).	41
Şekil 4.13 İlerleme miktarı ve talaş derinliğine bağlı kesici uçta meydana gelen aşınma miktarları (V=60 m/dk).	42
Şekil 4.14 İlerleme miktarı ve talaş derinliğine bağlı kesici uçta meydana gelen aşınma miktarları (V=60 m/dk).	43
Şekil 4.15 Kesme hızına ve talaş derinliğine bağlı kesici uçta meydana gelen aşınma miktarları (f=0,08 mm/dev).	44
Şekil 4.16 Kesme hızına ve talaş derinliğine bağlı kesici uçta meydana gelen aşınma miktarları (f=0,14 mm/dev).	45
Şekil 4.17 Kesme hızına ve talaş derinliğine bağlı kesici uçta meydana gelen aşınma miktarları (f=0,20 mm/dev).	46
Şekil 4.18 Kesme işleminden sonra takım yüzeyinde oluşan aşınmaların SEM görüntüsü (V=30 m/dk).	47
Şekil 4.19 Kesme işleminden sonra takım yüzeyinde oluşan aşınmaların SEM görüntüsü (V=60 m/dk).	48
Şekil 4.20 Kesme işleminden sonra takım yüzeyinde oluşan aşınmaların SEM görüntüsü (V=90 m/dk).	49
Şekil 4.21 Tornalama işleminde elde edilen talaşların SEM görüntüsü (a: ultrasonik, b: konvansiyonel, V=30 m/dk, f=0,08 mm/dev ve $a_p=0,3$ mm).	53

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Horn ve sistemde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri	24
Çizelge 3.2 Ultrasonik sistemin farklı modlarda elde edilen frekans değerleri	25
Çizelge 3.3 AISI 310 paslanmaz çeliğin kimyasal özellikleri.....	26
Çizelge 3.4 TNMG 220408 kesici uç ve katere ait geometrik özellikler.	27
Çizelge 3.5 Deneylerde kullanılan Kesme parametreleri	28

RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

Resim 2.1 Ultrasonik delik delme ile klasik yöntem ile delik delmenin karşılaştırılması (a) Ultrasonik delik delme 250 dev/dk, 21 kHz, $f = 0,5$ mm/s (b) Klasik yöntem ile delik delme 250 dev/dk, $f = 0,5$ mm/s (Azarhoushang and Akbari 2007).....	10
Resim 2.2 Ultrasonik sistem (Chegini and Akbari).....	11
Resim 2.3 Ultrasonik titreşim yönleri. (a) Kesme yönünde verilmiş ultrasonik titreşim (b) İlerleme yönünde verilmiş ultrasonik titreşim (Celaya et al 2010).....	12
Resim 2.4 Kullanılan ultrasonik sistem (Nath et al 2007).....	14
Resim 2.5 Geleneksel ve ultrasonik tornalama sonrası oluşan talaşlar (Nath et al 2007).	15
Resim 2.6 Ultrasonik freze başlığı (Shen et al 2011).	18
Resim 2.7 CNC torna için ultrasonik sistem (Koshimizu et al).....	20
Resim 2.8 Oluşan talaş biçimleri (Koshimizu et al).	20
Resim 3.1 Üniversal torna tezgahına monte edilen ultrasonik sistem.	23
Resim 3.2 TNMG 220408 666X kesici uç ve kateri.	27
Resim 3.3 Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı (int 1, int 2).	29
Resim 3.4 Lazer ölçüm cihazı ve torna tezgahına montajı.	29
Resim 4.1 Ultrasonik ve konvansiyonel tornalama ile elde edilen talaş formları ($V=30$ m/dk).....	50
Resim 4.2 Ultrasonik ve konvansiyonel tornalama ile elde edilen talaş formları ($V=60$ m/dk).....	51
Resim 4.3 Ultrasonik ve konvansiyonel tornalama ile elde edilen talaş formları ($V=90$ m/dk).....	52

1. GİRİŞ

Çağımız endüstrisinin hızlı tüketim talebini karşılamak için, yüksek kalitede, ürün tasarımı ile bunların seri ve ucuz üretimini sağlayabilmek için önemli gelişmeler olmuştur. Takım tezgâhlarında ki bu gelişmelerle birlikte, daha verimli ve hassas iş parçalarının üretilmesini sağlamaktadır.

Günümüzde özellikle otomotiv, uzay, denizcilik, demiryolu taşımacılığı ve spor malzemeleri gibi birçok endüstriyel alanlarda, kompozit malzemelerin kullanımları gün geçtikçe artmaktadır. Bu artışın nedeni olarak kompozit malzemelerin, düşük yoğunluklarına karşı sergiledikleri mükemmel mekanik özellikleri (yorulma, tokluk, aşınma direnci, oksitlenme direnci, vb.) ve istenilen dayanım özelliklerine göre farklı kombinasyonlarda üretilebilmeleri gösterilebilir. Kompozitlerin bu üstün özellikleri yanında, montaj işlemlerinin sınırlı, üretim yöntemlerinin pahalı ve zahmetli olması ve bünyelerindeki aşındırıcı özelliğe sahip sert takviye elemanlarından dolayı ikincil işlemler ve özellikle talaşlı imalatla şekillendirilmelerinin zor olması gibi dezavantajları bulunmaktadır. Bu dezavantajlar nedeniyle kompozit malzemelerin endüstriyel alanlarda kullanımları hala sınırlıdır. Yapılan çalışmaların, genellikle kompozit malzemelerin üretimi, mekanik özellikleri ve talaşlı imalatla şekillendirilmelerinde karşılaşılan problemlerin en aza indirilmesi gibi konular ilgilidir (Sur 2008).

Özellikle uzay ve havacılık sanayinde kullanılan süper alaşımların ve kompozit malzemelerin işlenmesi talaşlı üretimde önemlidir. Çoğu kez bu alaşımların ve kompozit malzemelerin şekillendirilmesinde alışılmamış imalat yöntemleri kullanılmaktadır. Ancak alışılmamış imalat yöntemlerinin sınırlı kullanımı ve yeni teknolojiler olması sebebi ile dezavantaj gibi durmaktadır. Bu dezavantajdan dolayı yeni işleme metodları geliştirilmeye başlanmıştır. Bu yöntemler, geleneksel yöntemlerin bilgi ve deneyiminden faydalanılmaktadır.

Geliştirilen bu yöntemler arasında ön plana çıkan ultrasonik işleme yöntemi hem geleneksel yöntemlerin bilgi ve deneyimini kullanmaya olanak sağlarken, hem de yeni bir alışılmamış imalat yöntemi olarak düşünebiliriz. Bir ultrasonik sistemi takım

tezgahına uyarlamak oldukça kolaydır. Uyarlanan sistem ile bilinen yöntemler ile talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilir. Özellikle işlenebilirliği düşük iş parçalarının işlenmesinde ve mikro işlemede görülen üstün özellikleri sayesinde ultrasonik işleme üzerine çalışmalar hızla sürmektedir.

2. LİTERATÜR

2.1 Alışılmış İmalat Yöntemleri

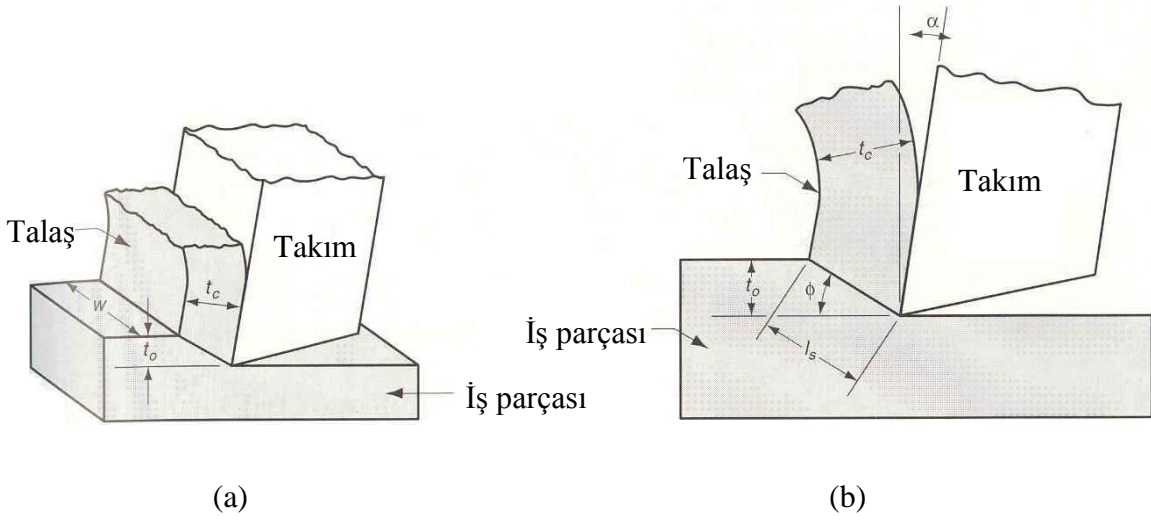
Endüstriyel makine parçalarının birçoğu son kullanım formlarına talaşlı imalat yöntemiyle getirilmektedir. Sıcak - soğuk haddeleme, döküm, dövme, enjeksiyonla kalıplama ve diğer şekillendirme yöntemleriyle üretilmiş mühendislik malzemelerinin kullanıma hazır hale getirilmesinde çoğu zaman talaşlı imalat yöntemleri kullanılır. Talaşlı imalatta, hammadde formu ve istenilen geometri, kullanılacak takım tezgahı ve kesici takım seçiminde etkilidir. Hammadde üzerindeki fazlalıklar, uygun takım tezgahı, kesici takım ve kesme parametreleri kullanılarak talaş kaldırmak suretiyle istenilen ölçü toleransları ve yüzey kalitesinde geometriye getirilir. Talaşlı imalat işleminde etkin olan kesme hareketi iş parçasının kesici takım önündeki plastik deformasyonunu ve deforme olan bu katmanın talaşa dönüşmesini gerektirir. Bu yöntem çoğunlukla metalleri şekillendirmek için uygulansa da, diğer bazı malzemeler de aynı yöntemle kullanılır (Sur 2008).

Alışılmış yöntemler kesici uç, matkap ucu veya taşlama taşı gibi takımlar kullanarak ve malzemenin takım ile fiziksel teması sonucu talaş kaldıran yöntemlerdir. Bu yöntemler için takım ile iş parçası arasında sürekli temas ve göreceli hareket gerekmektedir. Alışılmış yöntemlerin çok uzun yıllardır süren deneyim birikimine sahip olmaları önemli bir üstünlük olarak görülmektedir (Erden).

Alışılmış imalat yöntemlerinde genellikle iş parçası kesici takım çifti kullanılmaktadır. İş parçası ve kesici takım arasında, yüksek basınç ve yüksek sıcaklıklarda işleme yapılmaktadır. Klasik imalat yöntemlerinde kesici takım ile iş parçasını plastik deformasyona uğratarak şekillendirme esasına dayanmaktadır. Bu sebep ile iş parçası kesici takım çifti arasında talaşlı üretim mekaniği önem kazanmaktadır.

Talaşlı imalat işleminin mekaniği ve talaş oluşumu üzerine yapılan analizlerde genellikle iş parçası olarak metaller dikkate alınmıştır. Bununla birlikte, metal dışı olan malzemelerin işlenmesinde de benzer kurallar uygulanabilir. Talaşlı imalat işlemi gerçekte üç boyutlu ve oldukça karmaşık olduğu için talaşlı imalat işlemine mekaniğinin tanımlanmasında iki boyutlu dik kesme (orthogonal) modeli kullanılır

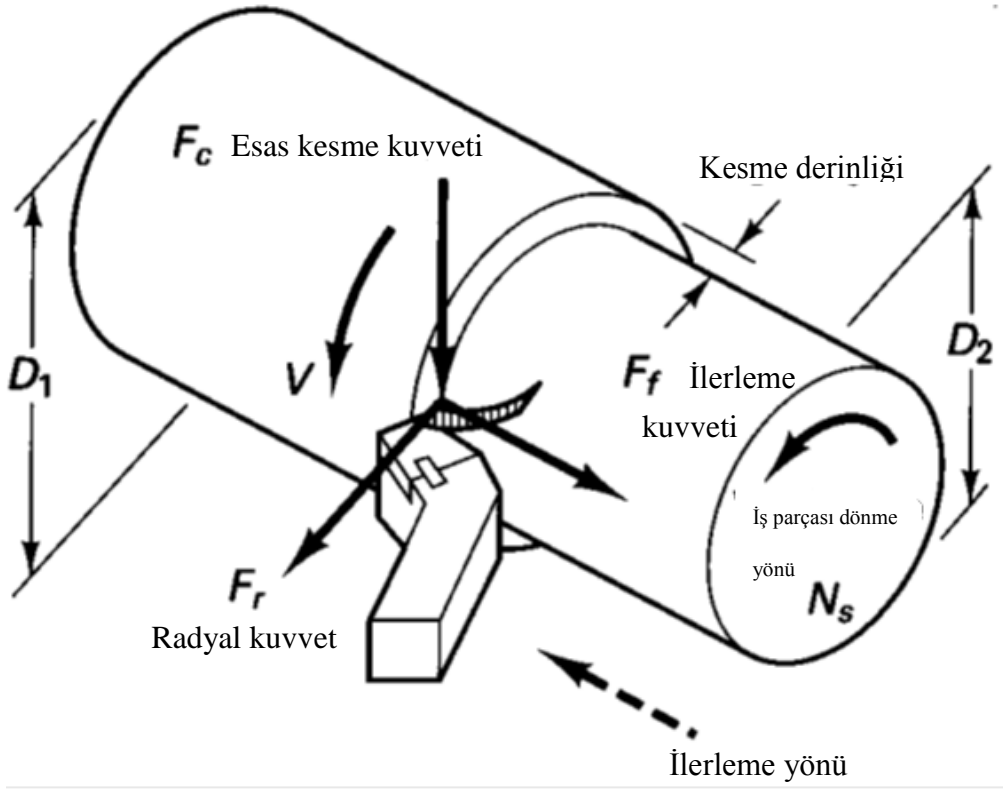
(Şekil 2.1). Bu yaklaşım basit olmakla birlikte talaşlı imalat mekaniğini yeterli doğrulukta tanımlar. İki boyutlu dik kesme modeli talaşlı imalat işleminin analizinde önemli bir rol oynar. Bu modele göre, kesici takımın iş parçasını plastik deformasyona zorlamasıyla, kesme parametreleri ve kesici takım geometrisine bağlı olarak farklı açılarda oluşan kayma düzleminde, iş parçasını oluşturan tanelerin, taneler arası yer değiştirmenin bir fonksiyonu olan elastikiyet modülüne bağlı olarak, kayma gerilmesinin aşılmasıyla talaş oluşumu gerçekleşir (Sur 2008).



t_0 : Deforme olmamış talaş kalınlığı, t_c : Deforme olmuş talaş kalınlığı, w : kesme genişliği, l_s : Kayma düzlemi genişliği, ϕ : Kayma düzlemi açısı, α : Kesici takım – talaş açısı.

Şekil 2.1 Dik kesme modeli (a) İzometrik görünüş b) Önden görünüş (Sur 2008).

Talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan kesme kuvvetleri, ısı oluşumu, takım ömrü, işlenen yüzeyin kalitesi ve iş parçasının boyutları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kesme kuvvetleri aynı zamanda takım tezgâhlarının, kesici takımların ve gerekli bağlama kalıplarının tasarımında da kullanılır (Sur 2008). Tornalama işlemi esnasında oluşan kuvvetler Şekil 2.2’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Tornalama işleminde kesme kuvvetleri (Sur 2008).

Şekil 2.2. deki kesme kuvvetlerinin üç bileşeni bulunur;

1. Esas kesme kuvveti (F_c): Kesme hızı yönünde etki eder. En büyük kuvvet olup metal kesme işleminde harcanan gücün genelde %99' una karşılık gelir.
2. İlerleme kuvveti (F_f): Kesici takımın ilerleme yönündeki kuvvettir. Kesme kuvvetinin ekseriyetle %50' si kadardır fakat ilerleme hızının kesme kuvveti ile karşılaştırıldığında çok küçük olduğu için metal kesme işlemindeki gerekli gücün çok az bir kısmına tekabül eder.
3. Radyal kuvvet (F_r): İşlenen yüzeye dik etki eden kuvvettir. Bu kuvvette ilerleme kuvvetinin %50' sine tekabül eder (Sur 2008).

Bileşke kuvvet, kesme kuvvetlerinin vektörel toplamına eşittir ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

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

Günümüzde çok değişik malzemelerin imalatıyla birlikte üretilen bu yeni malzemelerin şekillendirilmesinde klasik talaşlı imalat yöntemleri yetersiz kalmaya başlamıştır. Bu sebeple yeni imalat yöntemleri geliştirilmiştir.

2.2 Alışılmamış İmalat Yöntemleri

Alışılmamış imalat yöntemleri olarak bilinen ve genellikle 2. Dünya savaşından sonra gelişerek uygulama alanı bulmuş imalat yöntemleridir. İşleme mekanizması olarak alışılmış imalat yöntemlerinden tamamen farklı özelliklere sahip, çağdaş teknolojiye vazgeçilmez ve birincil derecede rol oynayan işleme yöntemleridir. Bu yöntemler işleme ilkelerinin farklı olması ve tasarım mühendisliğine sağladıkları olanaklar ile günümüz ekonomisinde çok önemli etkisi olan minyatürleşme, olağanüstü malzemeleri kullanabilme ve esnek üretim olanakları sağlamışlardır (Erden).

Son yıllardaki değerlendirmelere göre geleneksel olmayan yöntemlerin toplam sayısı 70-80 dolaylarındadır. Bunlardan 50-55 kadarı laboratuvar aşamasını geçmiş ve endüstride uygulama alanı bulabilmiştir. Diğerleri ise henüz laboratuvar aşamasında, çok özel koşullarda özel işler ve işlemler için kullanılmaktadır (Erden).

Alışılmamış özel imalat yöntemleri, geleneksel yöntemlerden farklı olarak fiziksel temas ve göreceli hareket yerine, mekanik kuvvet uygulamadan, çeşitli enerji türlerini (kimyasal, elektro – kimyasal, ısı enerjisi vb...) kullanarak malzeme işleyen, aşındıran veya şekillendiren yöntemlerdir (Çaydaş ve Hasçelik 2004).

Alışılmamış imalat yöntemleri yaygın olarak malzemeyi işlemek için kullandıkları enerjiye göre sınıflandırılırlar;

1. Mekanik Enerji Kullanan Alışılmamış İmalat Yöntemleri: İş parçası üzerinden malzemeyi işlemek için mekanik enerjiyi kullanan yöntemlerdir. Çoğunlukla aşındırıcı parçacık ve tozların hızlandırılması ile oluşan kinetik enerjinin, çarpma ile gerilme oluşturması ve bu gerilmelerin malzeme işleme amacı ile kullanılması ilkesine dayanır. Ortak işleme ortamı su veya havadır. Tüm mekanik enerjili yöntemler malzemenin iletken ya da yalıtkan olmasından bağımsız olarak işleme olanağı sağlar (Erden).

2. Kimyasal Enerji Kullanan Alışılmamış İmalat Yöntemleri: Kimyasal enerji kullanan alışılmamış imalat yöntemlerinin ortak özelliği, kontrollü kimyasal aşınma ile hassas şekilde malzeme işlenebilmesidir. Genellikle, aşınması istenmeyen yüzeyler uygun bir koruyucu madde (maske) ile kaplanır. Açıkta kalan yüzeylere aşındırıcı kimyasal sıvı püskürtülür veya iş parçası bu sıvı içine daldırılır. İş malzemesinin sıvı ile temas süresi işleme miktarı ve/veya derinliğini belirler. İşleme hızı genellikle sıvı özelliklerine bağlı olmakla birlikte sıvı yoğunluğu tipik olarak 0.025 mm/dak doğrusal işleme hızları verecek şekilde ayarlanır (Erden).
3. Elektro Kimyasal Enerji Kullanan Alışılmamış İmalat Yöntemleri: Bu yöntemler elektrolitik bir sıvı içinde bulunan iki iletken elektrodun farklı elektromanyetik alan özelliklerine göre aşındırılması ilkesine dayanır. Düşük gerilim (6, 12-24 V) ve yüksek akım (1000, 3000, ve daha yüksek A) koşulları uygulanır. Yöntemin çok değişik endüstriyel uygulamaları vardır (Erden).
4. Isı Enerjisi Kullanan Alışılmamış İmalat Yöntemleri: İş parçasından malzeme kaldırmak (işleme) için yoğunlaştırılmış ısı enerjisi kullanan yöntemlerdir. Isıl enerji kaynağı olarak elektrik boşalımı, elektron ışını (hüzmesi) ve lazer ışını gibi çeşitli yöntemler kullanılır. Bütün yöntemlerde malzeme yüzeyinde oluşan odak noktasında ulaşılan sıcaklıklar, bilinen bütün malzemelerin erime ve buharlaşma sıcaklıklarının çok üzerindedir. Bu nedenle ısı enerjisi kullanan yöntemlerle bilinen bütün malzemeleri işlemek mümkündür. Bu gruba giren yöntemler, işleme mekanizması bakımından diğer gruplara göre daha fazla çeşitlilik gösterirler. Grup içinde özellikle Elektro-Erozyon (EDM) ve Lazer ile İşleme (LBM) çağdaş teknolojide çok önemli bir yer almıştır. Diğer yöntemlerin de (EBM, PAM) endüstriyel uygulamaları çok fazladır (Erden).

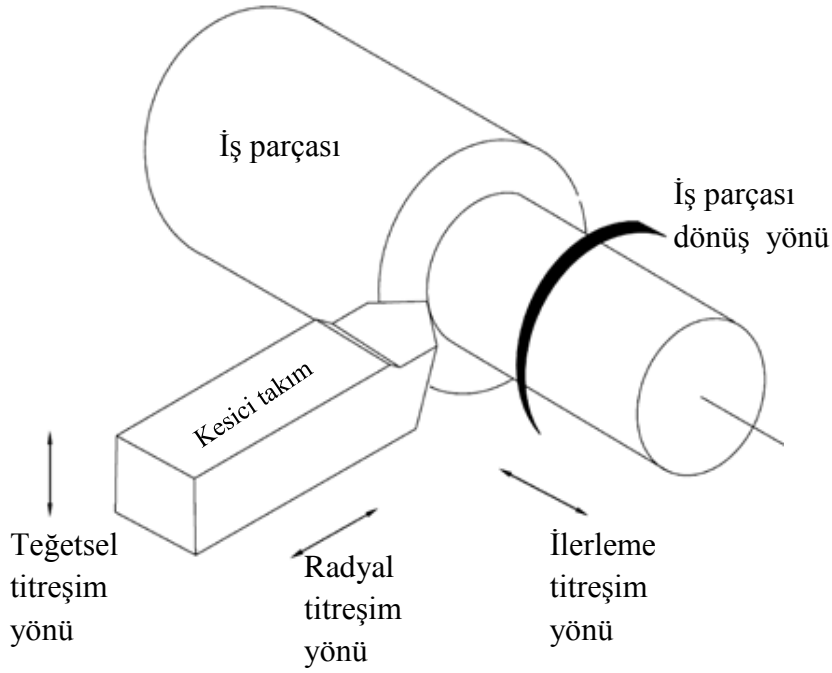
Alışılmamış imalat yöntemlerin sanayide en çok kullanılan ve bilinenleri su jeti, tel erozyon, derin delik delme ve elektro erozyondur.

2.3 Ultrasonik İmalat Yöntemleri

Yeni malzemelerin üretilmesi, yüksek teknolojili sanayilerin meydana gelmesini sağlamıştır. Üretilen bu yeni malzemeler, yüksek mukavemetli, paslanmaz ve ısıya dayanıklı çelik ve alaşımları, titanyum, seramikler, kompozitler ve diğer metalik

olmayan malzemelerdir. Bu malzemeleri şekillendirmek için düşük yüzey kalitesi ve ürün kalitesi açısından alışılmış imalat yöntemleri uygun değildir. (Babitsky and Wittenburg 2007). Bu gibi malzemeleri genellikle alışılmamış imalat yöntemleri ile işlenmektedir. Çok çeşitli yöntemler olmasına rağmen, son yıllarda ultrasonik yöntemin kullanılması giderek artmaktadır.

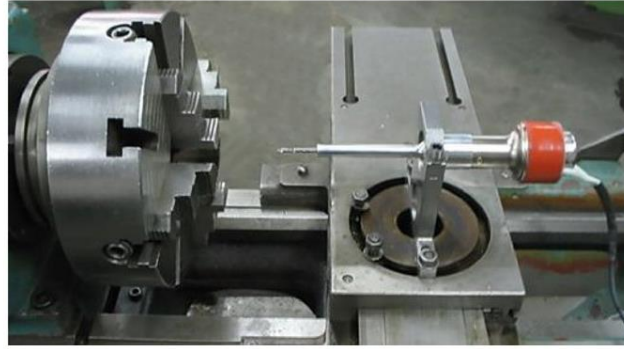
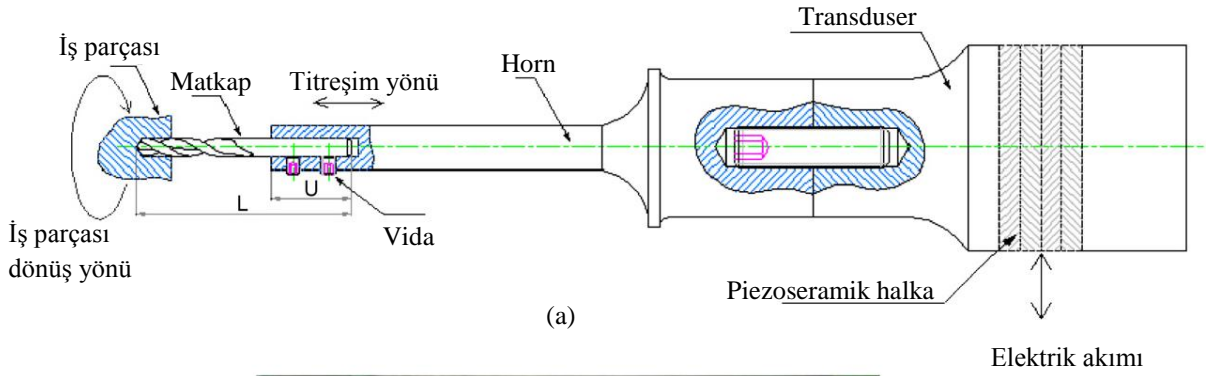
Ultrasonik imalat yöntemlerinde kesici takıma 19 kHz – 21 kHz aralığında titreşim gönderilerek iş parçasından talaş kaldırılır. Kesici takıma verilen titreşim yönleri Şekil 2.3’ de gösterilmiştir. Şekilde üç yönlü ultrasonik bir yöntem göstermektedir. Sadece ilerleme titreşim yönü kullanılarak yapılan ultrasonik yöntemlerde bulunmaktadır.



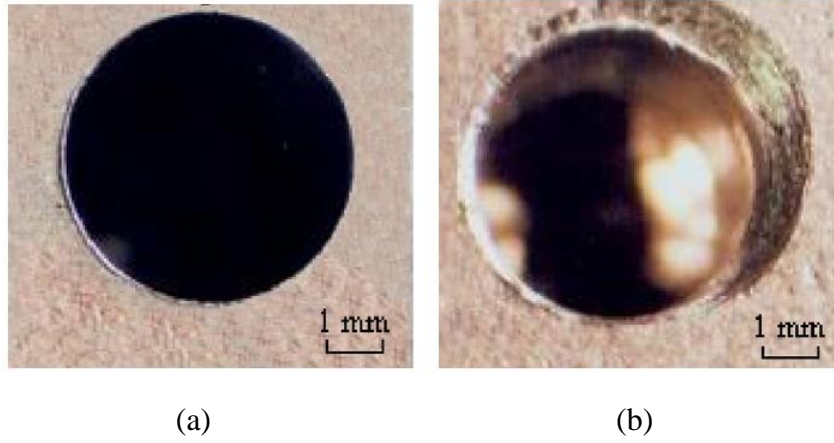
Şekil 2.3 Ultrasonik sistemlerde titreşim yönleri (Babitsky et al 2003).

Ultrasonik imalat yöntemi günümüzde sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Dünyada ultrasonik imalat ile ilgili çeşitli yayınlar ve ultrasonik imalat yöntemi kullanılarak yapılmış deneyler mevcuttur. Bu yöntemin sanayiye uyarlanması da diğer alışılmamış imalat yöntemlerine göre daha kolaydır. Ultrasonik imalat için bilindik takım tezgahları dönüştürülebilir. Bu sayede alışılmış imalat yöntemlerinin bilgi birikimi ile yeni bir teknoloji olan ultrasonik imalat bir arada kullanılmış olur.

Azarhoushang ve Akbari, yaptığı çalışmada Inconel 738 – LC malzemesini kullanmışlardır. Geleneksel delik delmede matkap ile iş parçası arasında oluşan sıcaklık ve çapaklanmayı, ultrasonik imalat yöntemi kullanarak %60' a varan iyileştirme sağlamışlardır. Kullandıkları ultrasonik sistem şekil 2.4' de gösterilmiştir. Resim 2.1' de ise ultrasonik yöntem ve klasik yöntem ile delinen malzemeler görülmektedir (Azarhoushang and Akbari 2007).

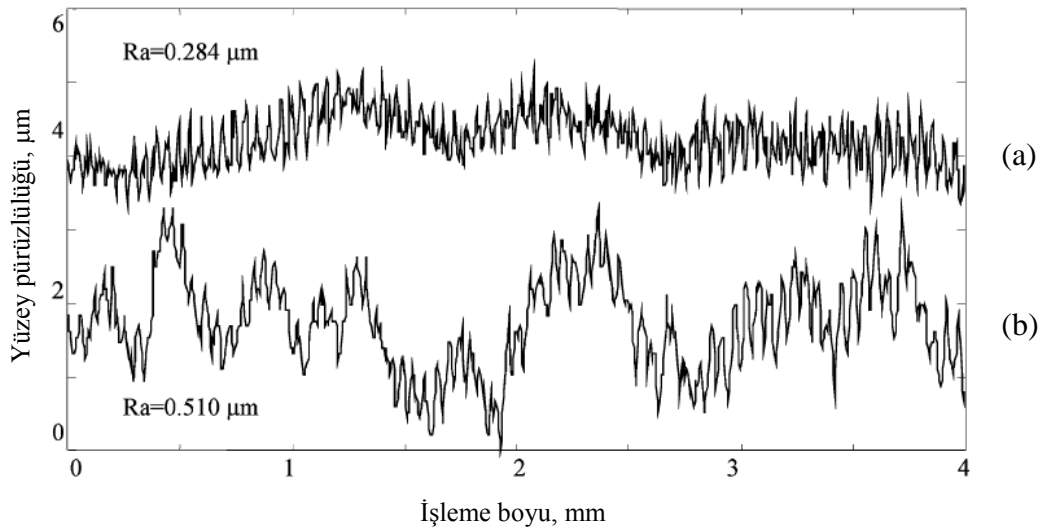


Şekil 2.4 Ultrasonik delik delme (a) Ultrasonik sistemin şematik görünüşü (b) Ultrasonik sistemin torna tezgahına bağlanmış görünüşü (Azarhoushang and Akbari 2007).



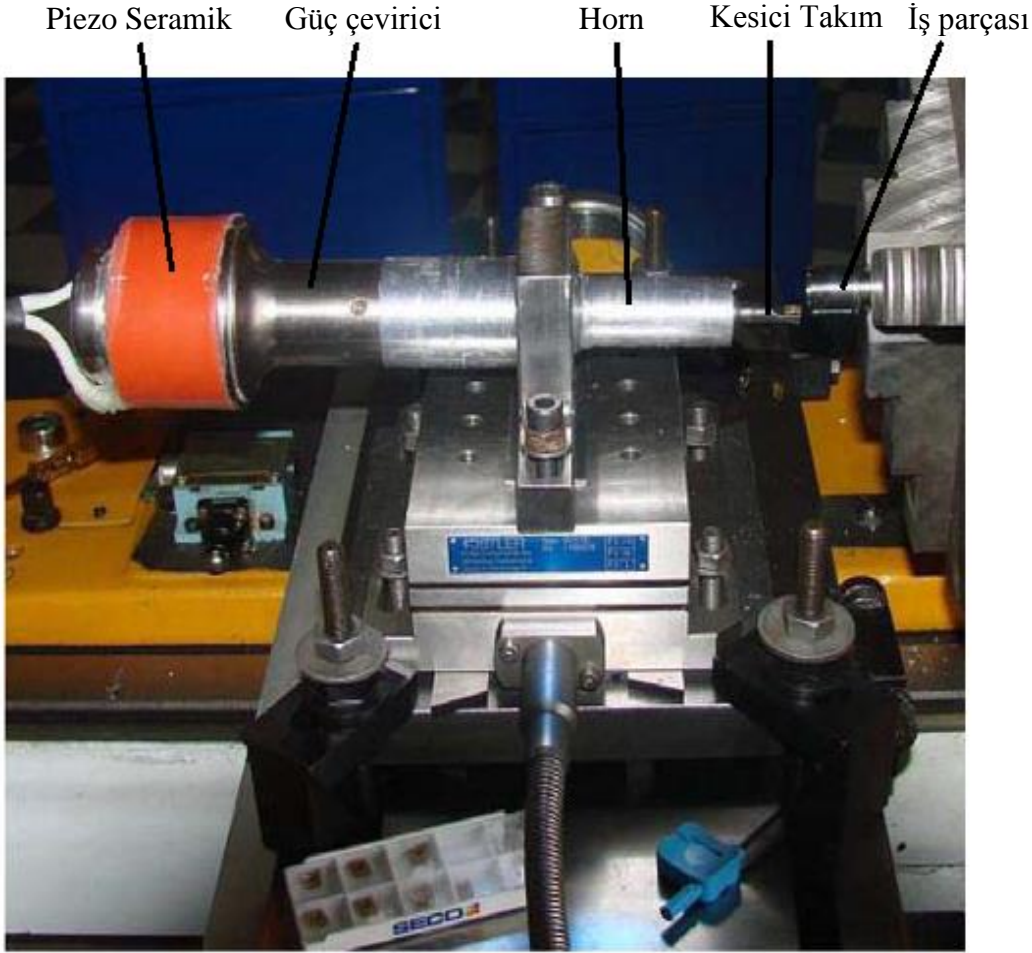
Resim 2.1 Ultrasonik delik delme ile klasik yöntem ile delik delmenin karşılaştırılması (a) Ultrasonik delik delme 250 dev/dk, 21 kHz, $f = 0,5$ mm/s (b) Klasik yöntem ile delik delme 250 dev/dk, $f = 0,5$ mm/s (Azarhoushang and Akbari 2007).

Babitsky ve arkadaşları uzay ve havacılık sanayinde kullanılan malzemelerden C263, Inconel 718 ve orta karbonlu çelikler üzerinde ultrasonik sistem kullanarak belirli kesme koşullarında, iş parçasının daireselliği ve yüzey pürüzlülüğünü klasik tornalama yöntemi ile karşılaştırmışlar ve %25 – 50 arasında iyileşme sağlamışlardır. Inconel 718 malzemesinin işlemeden sonraki yüzey pürüzlülük değeri şekil 2.5’ da gösterilmiştir (Babitsky et al 2003).



Şekil 2.5 Inconel 718 malzemesinin $v = 17$ m/dk kesme hızı ile elde edilmiş yüzey pürüzlülük değerleri . (a) Ultrasonik yöntem. (b) Klasik yöntem (Babitsky et al 2003).

Benzer bir çalışmada, Chegini ve Akbari gerçekleştirmiştir. Malzemeyi ultrasonik yöntem kullanarak yapılan tornalama işleminde iş parçasının yüzey hassasiyetini incelemiştir. Işık mikroskobu ile alınan yüzey pürüzlülük değerinde %30' luk iyileşme olduğu görülmüştür (Chegini and Akbari). Kullandıkları ultrasonik sistem resim 2.2' de gösterilmiştir.



Resim 2.2 Ultrasonik sistem (Chegini and Akbari).

Ultrasonik kesme yönleri ile ilgili bir çalışma da, Celaya ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Celaya ve arkadaşları ultrasonik tornalamanın avantajları ve dezavantajları üzerine yaptıkları çalışmada yumuşak çelik kullanmışlardır. Ultrasonik titreşimi ise iki ayrı ayrı farklı yönlerde, kesme yönü ve ilerleme yönünde vererek yüzey pürüzlülüğünü ölçmüşlerdir. Yüzey kalitesinin ultrasonik tornalama ile daha iyi olduğunu

gözlemişlerdir (Celaya et al 2010). Celaya ve arkadaşlarının kullandıkları ultrasonik sistem resim 2.3' de gösterilmiştir.



(a)

(b)

Resim 2.3 Ultrasonik titreşim yönleri. (a) Kesme yönünde verilmiş ultrasonik titreşim (b) İlerleme yönünde verilmiş ultrasonik titreşim (Celaya et al 2010).

Azarhoushang ve Akbari, nikel ve titanyum tabanlı süper alaşımlar üzerinde yaptıkları delme işleminde, matkap ve iş parçası arasında sıcaklık oluşumu ve çapak oluşumu üzerine yaptıkları çalışmada, yüksek frekanslı titreşim ile delme işleminin, geleneksel yöntemle göre kıyaslamışlardır. Delik boy ölçülerinin karşılaştırılmasında ultrasonik yöntem ile delinen deliğin kalitesinin %60 daha iyi olduğunu göstermişlerdir (Azarhoushang and Akbari 2007).

Delik delmede benzer bir çalışmayı da, Neugebauer ve Stoll yapmıştır. Yapılan çalışmada matkabın delik çıkışında oluşturduğu çapak ve kesme kuvvetleri üzerine yoğunlaşmışlardır. Elde edilen deney sonuçlarına göre kesme kuvvetlerinde ve deliğin bittiği yerde çapak oluşumunda azalma olduğunu gözlemişlerdir (Neugebauer and Stoll 2004).

Bazı durumlarda iş parçası üzerinde taşlama gibi yüzey bitirme operasyonu gerekmektedir. Bu operasyonların maliyetli olması bakımından yeni uygulamalar geliştirilmektedir. Radecki ve arkadaşları yaptıkları çalışmada yeni bir ultrasonik sistem geliştirerek titreşim sönümlenme metodu ile takım tutucuyu ultrasonik sistem haline

çevirmişlerdir. Yapılan alın tornalama operasyonu sonrası yüzey pürüzlülüğünü ölçmüşler ve yüzey pürüzlülüğünün azaldığını tespit etmişlerdir (Radecki et al).

Voronina ve arkadaşları ultrasonik sistem tasarımı konusunda sayısal simülasyonlar kullanmışlardır. Simülasyon için Matlab ve Simülink tercih edilmiştir. Yapılan simülasyon ile gerçek bir ultrasonik sistem karşılaştırılmıştır. Yapılan simülasyon ile gerçek deneylerin birbirine uygun olduğu gözlenmiştir (Voronina et al 2008).

Ultrasonik sistemlerin gelişiminde bilgisayar denetimi ile gerçekleştirilmiştir. Babitsky ve arkadaşları piezoelektrik dönüştürücü için güç çevirici programını geliştirmişlerdir. Kesme işlemi sırasında kesme koşullarında, kesme bölgesine ultrasonik enerji vermişlerdir. Titreşim modu doğrusal olmayan ultrasonik dalga ile kesme işlemi sırasında kesici takımın bağlı olduğu ultrasonik sistemi burulma ile aktifleştirerek çalıştırmışlardır (Babitsky et al 2004).

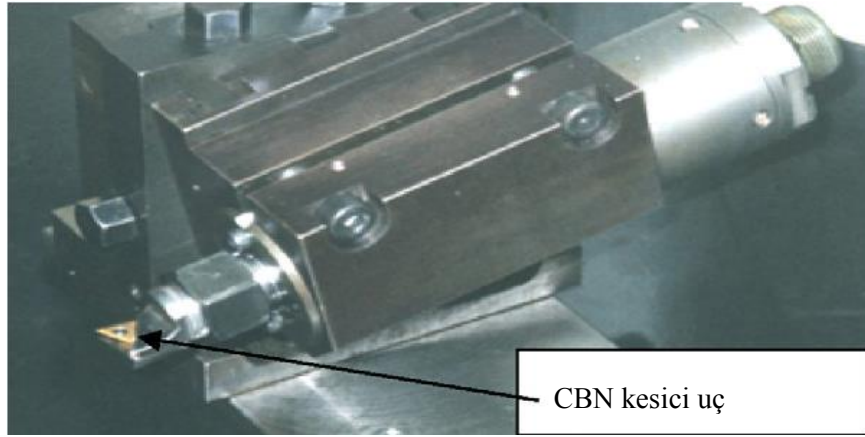
Özellikle havacılık ve uzay sanayinde kullanılan süper alaşımların işlenmesi oldukça zordur. Mitrofanov ve arkadaşları ultrasonik titreşim yardımı ile tornalama işlemini sonlu elemanlar yöntemi ile modellemişlerdir. Yüksek mukavemetli malzemelerin işlenmesinde ultrasonik sistemin daha güçlü ve üstün olduğu görülmüştür (Mitrofanov et al 2007).

Kesme işleminde kesici takım ile iş parçası arasında oluşan sıcaklıktan dolayı, kesici takım ve iş parçasının mikro yapılarında istenmeyen değişiklik olur. Hsu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada Taguchi yöntemi ile ultrasonik tornalamada, farklı kesme hızları, farklı talaş derinliklerinde, farklı malzemeleri işlemişlerdir. Deney sonuçlarına göre, Inconel 718 malzemesinde, yığıntı kenar oluşumu NX2525 sermet kesicide, TN35 tungsten karbür kesiciye göre daha az olduğunu gözlemişlerdir. Teğetsel kuvvet yönünde uygulana ultrasonik titreşim ile yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerinin azaldığını gözlemlenmişlerdir (Hsu et al 2008).

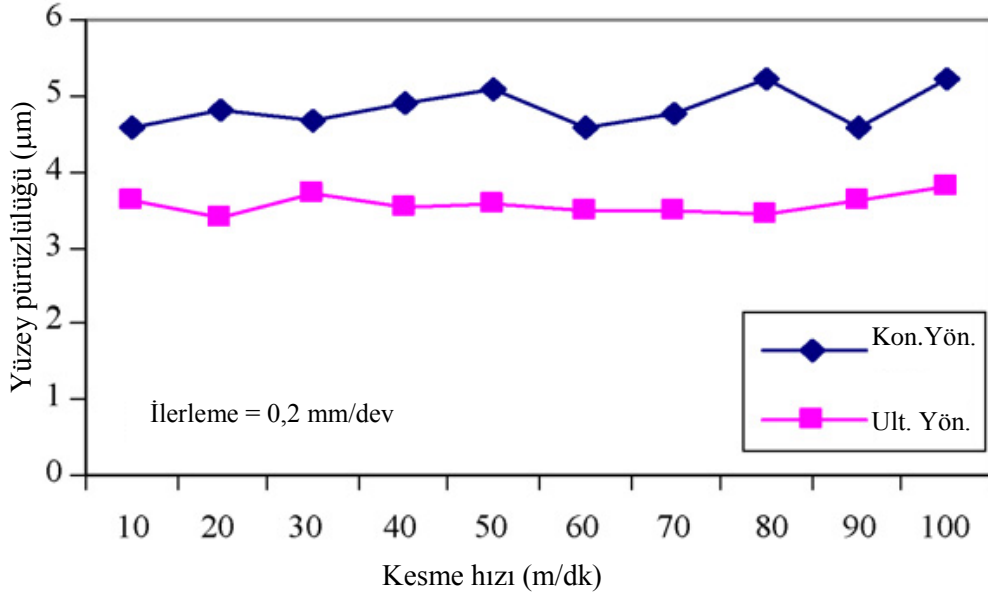
Yüzey pürüzlülüğünde önemli etkenlerden birisi de burun radüsüdür. Burun radüsünün ultrasonik titreşim ile işlenen malzemelere etkisini, Nath ve arkadaşları incelemişlerdir. Tungsten karbür kesici takım ile sert kesme işleminde ultrasonik sistem kullanarak

gerçekleştirmişlerdir. Farklı kesme parametrelerinde geleneksel yöntemle göre daha iyi yüzey kalitesinin olduğunu ve düşük kesme kuvvetleri olduğunu gözlemlemişlerdir (Nath et al 2009).

Tornalama işlemlerinde talaş oluşumu da önemlidir. Geleneksel ve ultrasonik tornalama yöntemlerinde oluşan talaşları, Nath ve arkadaşları incelemişlerdir. Kullandıkları sistem resim 2.4' te gösterilmiştir. Yapılan kesme operasyonlarında ultrasonik yöntem ile yapılan kesme işleminde yüzey pürüzlülüğünün daha iyi olduğu (şekil 2.6), oluşan kesme kuvvetlerinin daha düşük çıktığını gözlemlemişlerdir. Her iki tornalama yöntemlerinden elde edilen talaşlar resim 2.5' te gösterilmiştir. Ultrasonik yöntemde çıkan talaşlar daha büyük kıvrılma radüsüne sahiptir. Her iki kesme işleminde oluşan kesme kuvvetleri ise şekil 2.7' te gösterilmiştir. Ultrasonik işlemede kesme kuvvetleri daha düşük çıktığını gözlemlemişlerdir (Nath et al 2007).



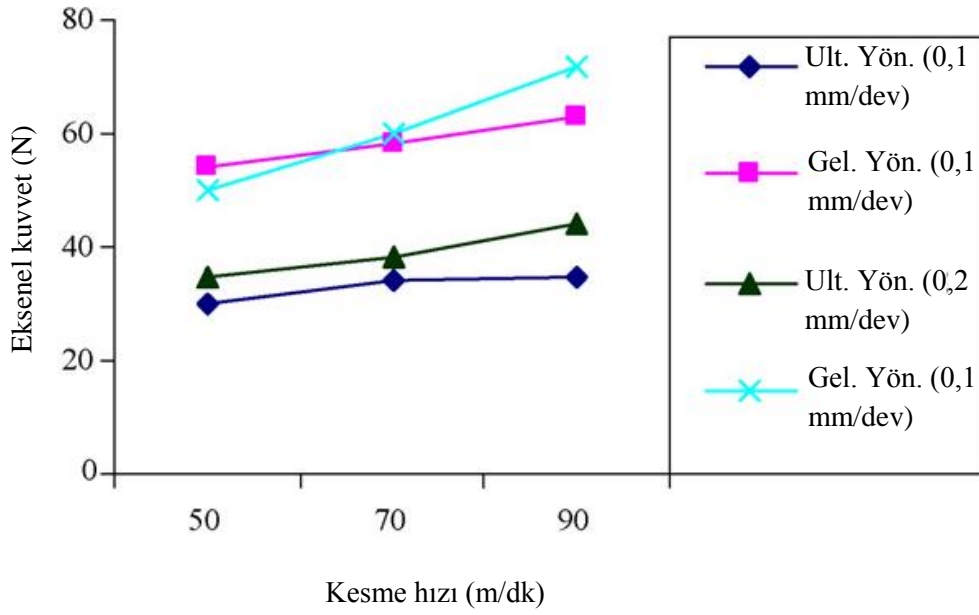
Resim 2.4 Kullanılan ultrasonik sistem (Nath et al 2007).



Şekil 2.6 Geleneksel ve ultrasonik işleme sonrası oluşan yüzey pürüzlülüğü (Nath et al 2007).

Kesme Hızı	Geleneksel yöntem	Ultrasonik yöntem
50 m/dk		
70 m/dk		
90 m/dk		

Resim 2.5 Geleneksel ve ultrasonik tornalama sonrası oluşan talaşlar (Nath et al 2007).



Şekil 2.7 Geleneksel ve ultrasonik tornalama sonrası oluşan aksenal kesme kuvvetleri (Nath et al 2007).

Ultrasonik sistemler sadece tornalama ve delik delme operasyonlarında kullanılmamaktadır. Diğer talaşlı üretim yöntemlerine de kolaylıkla uygulanabilir. Frezeleme için Kuo, sonlu elemanlar yöntemi ile ultrasonik frezeleme başlığı tasarlamıştır (Kuo 2008).

Ultrasonik yöntemlerin tasarlanmasında sonlu elemanlar yöntemi sıklıkla başvurulan bir yöntemdir. Mitrofanov ve arkadaşları, sonlu elemanlar yöntemi ile bir model geliştirip, kesme parametrelerini değiştirerek, kesme kuvvetlerini ve yağlamanın etkisini incelemişlerdir (Mitrofanov et al 2005).

Nath ve Rahman, Inconel 718 malzemesi üzerinde ultrasonik kesmenin titreşim frekansı, iş parçası malzemesi ve titreşim genliğinden etkilendiğini görmüşlerdir. Ancak bu üç etki arasında bir bağ kuramamışlardır. Yaptıkları deneylerde, geleneksel yöntemlere göre ultrasonik kesmede, yüzey kalitesinde artış, kesme kuvvetlerinde düşüş olduğunu görmüşlerdir (Nath and Rahman 2008).

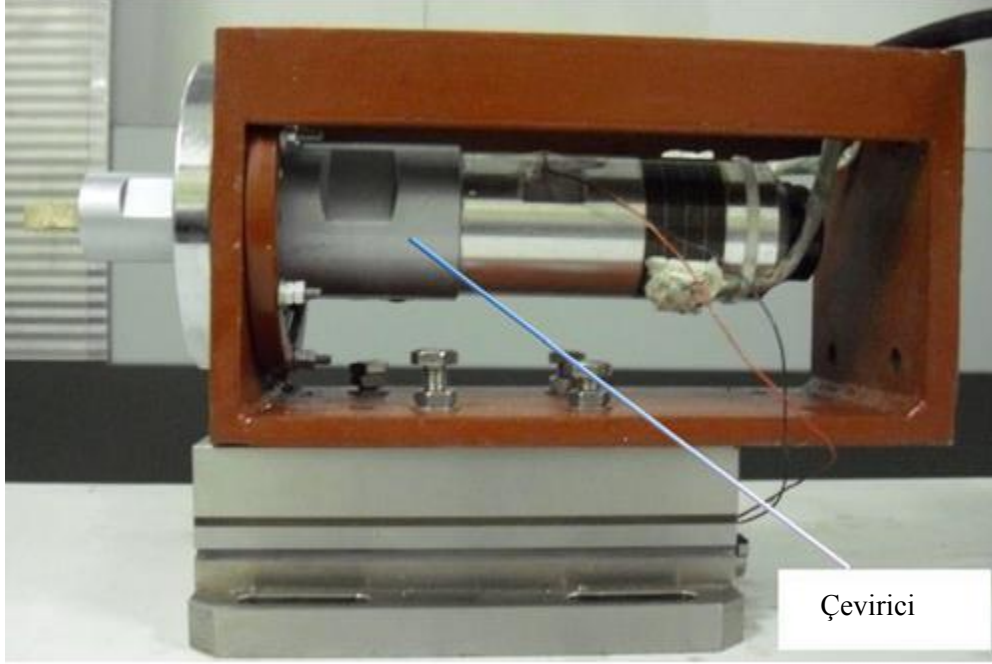
Liao ve arkadaşları Inconel 718 süper alaşımına delik delme üzerine çalışmışlardır. 31,8 KHz frekansında aksenal titreşim vererek yaptıkları deneyde, delik kalitesinde geleneksel yöntem ile delik delme ile arasında çok fark olmadığını saptamıştır. Ancak

titreşim frekansını artırmanın veya azaltmanın delik kalitesine etki ettiğini görmüştür (Liao et al 2007).

Talaş kaldırma sırasında oluşan sıcaklık ve artık gerilmelerin ultrasonik tornalama nasıl olduğu konusunda Mitrofanov ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, Inconel 718 malzemesi kesme işlemi sırasında kesici takıma 20 KHz frekansında titreşim uygulamışlardır. Sıcaklık dağılımlarında ve artık gerilmelerde ultrasonik tornalamada, geleneksel tornalamaya göre azalma olduğunu gözlemişlerdir (Mitrofanov et al 2004).

Ultrasonik tornalamada burun radüsünün yüzey pürüzlülüğüne etkisini Xiao ve arkadaşları yaptıkları deneylerde incelemişlerdir. Geleneksel tornalamada keskin kesici takımların kesme gücünü olumsuz etkilediği ve kesme sürecinin istikrarsız olduğunu gözlemişlerdir. Kesici takıma uyguladıkları ultrasonik titreşim ile keskin uçlu kesici takımın da kesme gücüne ve kesme işleminin istikrarını olumsuz etkilediğini görmüşlerdir. Ancak büyük burun radüsüne sahip kesici takımlarda ultrasonik tornalamanın kesme esnasında daha düzenli olduğunu görmüşlerdir (Xiao et al 2003).

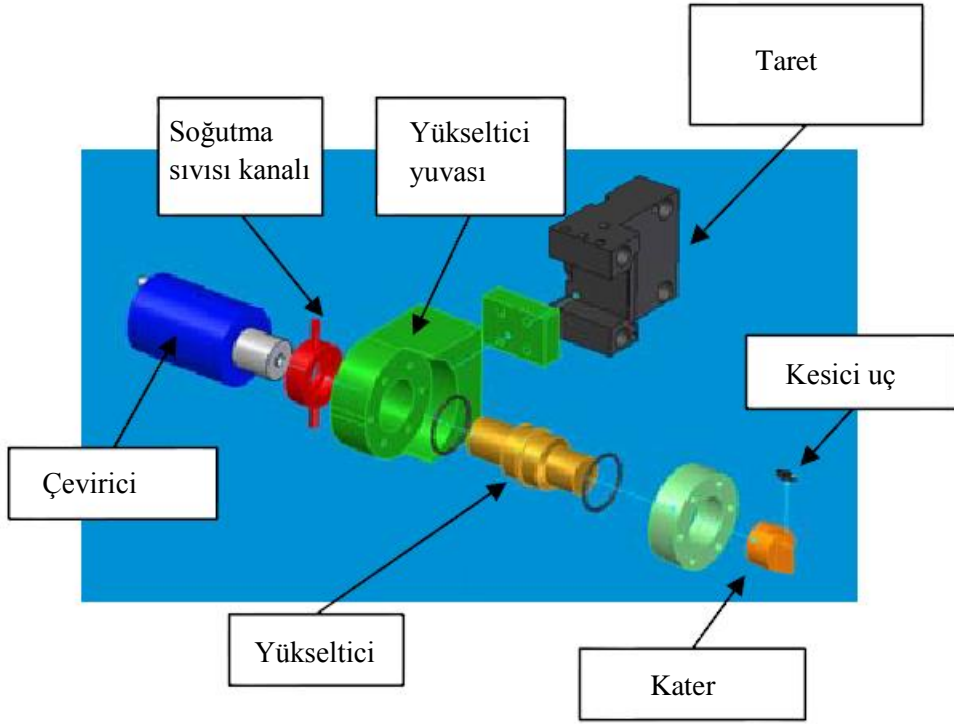
Günümüzde finiş operasyonları için mikro talaş kaldırma önem kazanmıştır. Ultrasonik yöntem ile mikro frezeleme üzerine Shen ve arkadaşlarının kanal frezeleme için yaptıkları çalışmada, dik ve yan duvarların yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda yüzey pürüzlülüğünde önemli ölçüde gelişme olduğunu görmüşlerdir. Shen ve arkadaşlarının kullandıkları ultrasonik freze başlığı resim 2.6' da gösterilmiştir (Shen et al 2011).



Resim 2.6 Ultrasonik freze başlığı (Shen et al 2011).

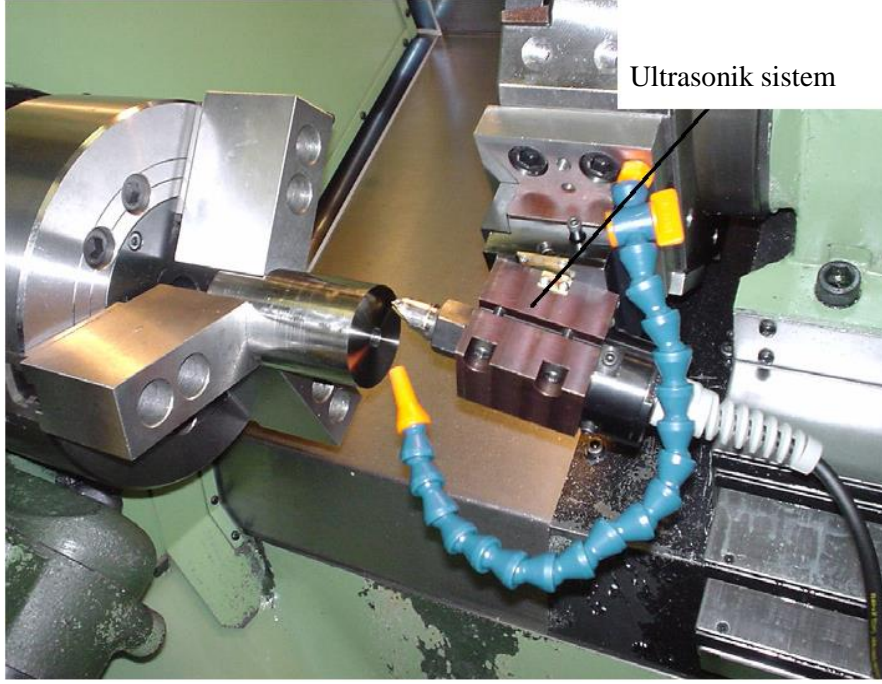
Overcash ve Cuttino yaptıkları çalışmada ultrasonik sistem tasarımı yapmışlardır. Yaptıkları sistemde 40 kHz frekans ve 0 – 10 mm arasında genlik kullanmışlardır. Yaptıkları yeni sistem ile geleneksel yöntemi karşılatırmışlardır. Yeni sistemin geleneksel yöntemde oluşan yüzey pürüzlülüğüne göre daha iyi yüzey kalitesi elde etmişlerdir (Overcash and Cuttino 2009).

Günümüzde karmaşık şekilli iş parçalarının birkaç bağlama yerine, tek bağlamada işlenebilmesi için çok eksenli CNC tezgahlar üretilmiştir. Lauwers ve arkadaşları C eksenli bir CNC torna tezgahı için bir ultrasonik sistem geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri ultrasonik sistem şekil 2.8’ de gösterilmiştir. Yeni sistem ile enerji tüketimi ve verimli işleme konusunda çalışmışlardır (Lauwers et al).



Şekil 2.8 C eksenli CNC torna için ultrasonik sistem tasarımı (Lauwers et al).

Titanyum alaşımlarının ultrasonik yöntemler ile tornalanması ile ilgili Koshimizu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada CNC tornanın taretine monte ettikleri ultrasonik sistem ile alın tornalama operasyonu gerçekleştirmişlerdir (resim 2.7). Yaptıkları deneyde kesici takıma 19 kHz frekans uygulamışlardır. İşlenen titanyum alaşımının yüzey pürüzlülüğü, geleneksel yöntemlere göre daha iyi olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca kesme kuvvetleri ve talaş oluşumunu da incelemişlerdir. Kesme kuvvetlerinde azalma, talaşın ise daha düzenli kıvrıldığını görmüşlerdir (resim 2.8).



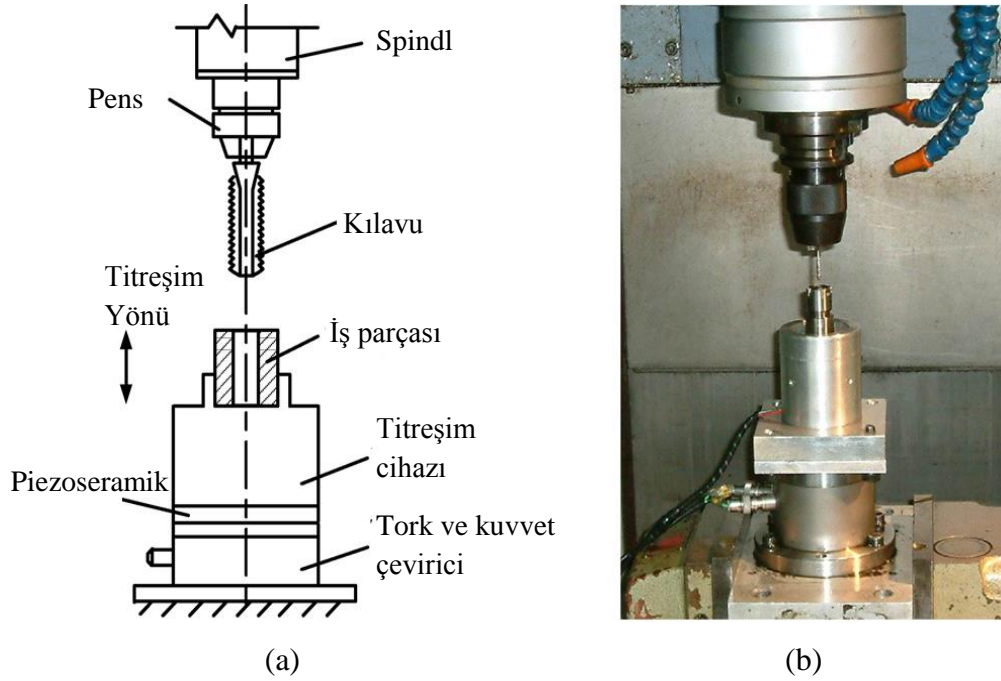
Resim 2.7 CNC torna için ultrasonik sistem (Koshimizu et al).



Resim 2.8 Oluşan talaş biçimleri (Koshimizu et al).

Zhou ve arkadaşları, geleneksel tornalama ile ultrasonik tornalama operasyonunu karşılaştırmışlardır. Buldukları sonuçlar ultrasonik tornalama ile yapılan deneylerde yüzey pürüzlüğünün daha iyi olduğu, kesme kuvvetlerinin daha düşük olduğu ve kesici takım aşınmasının daha iyi olduğu yönündedir (Zhou et al 2003).

Ultrasonik sistemler üzerine bir çalışmada kılavuz çekme üzerine yapılmıştır. Kuo yaptığı çalışmada titreşimi kılavuza değil de, iş parçasına vererek kılavuz çekme operasyonunu gerçekleştirmiştir (şekil 2.9). Ultrasonik yöntem ile çekilen kılavuzda daha düşük torka ihtiyaç duyulmuştur. Açılan dişler ise geleneksel yöntemle göre daha düzgün çıkmıştır (Kuo 2007).



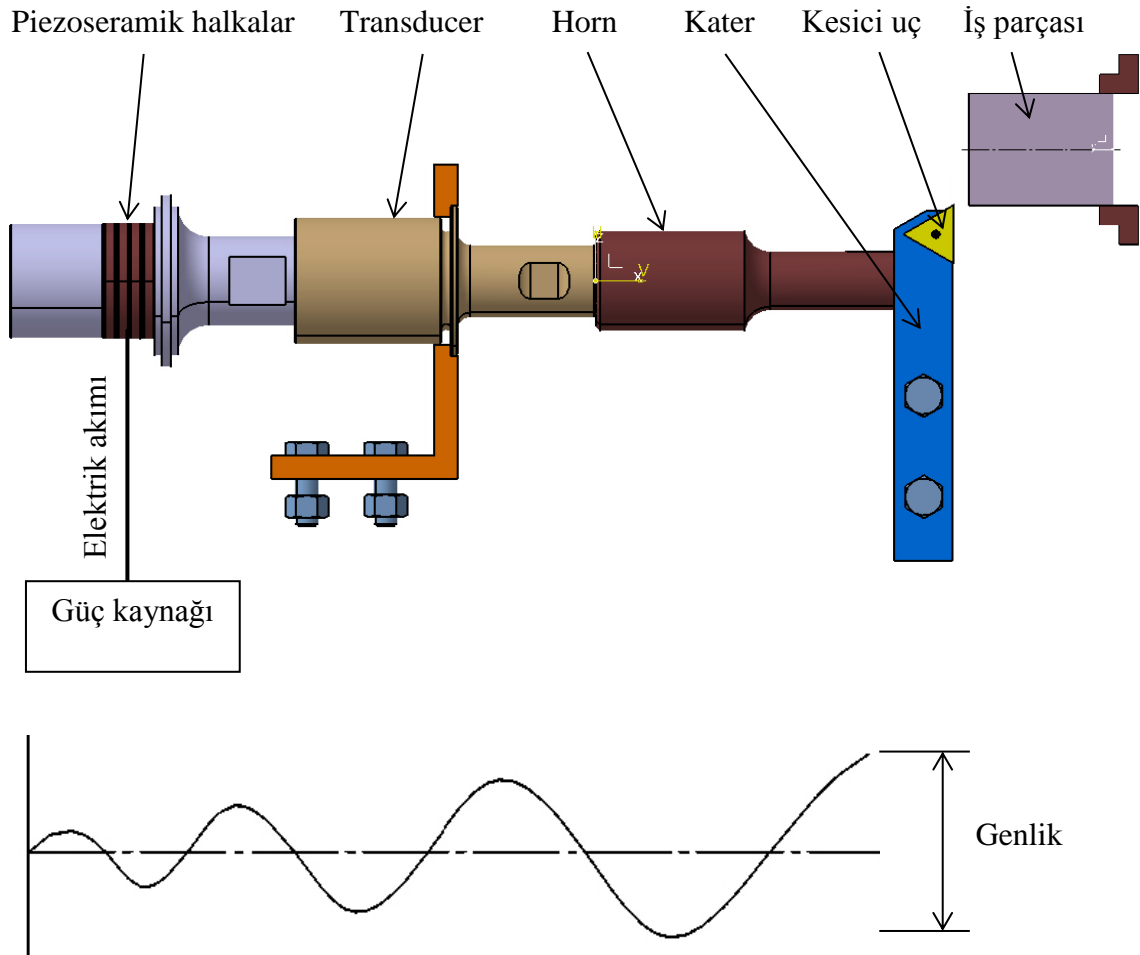
Şekil 2.9 Kılavuz çekmek için ultrasonik sistem. (a) Şematik görüntü (b) Gerçek görüntü (Kuo 2007).

3. MATERYAL ve METOT

Ultrasonik tornalama deneyleri için Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi bünyesinde bulunan talaşlı üretim laboratuvarı kullanılmıştır. Ultrasonik tornalama deneyleri için AISI 310 paslanmaz çelik kuru kesme şartlarında tornalanmıştır.

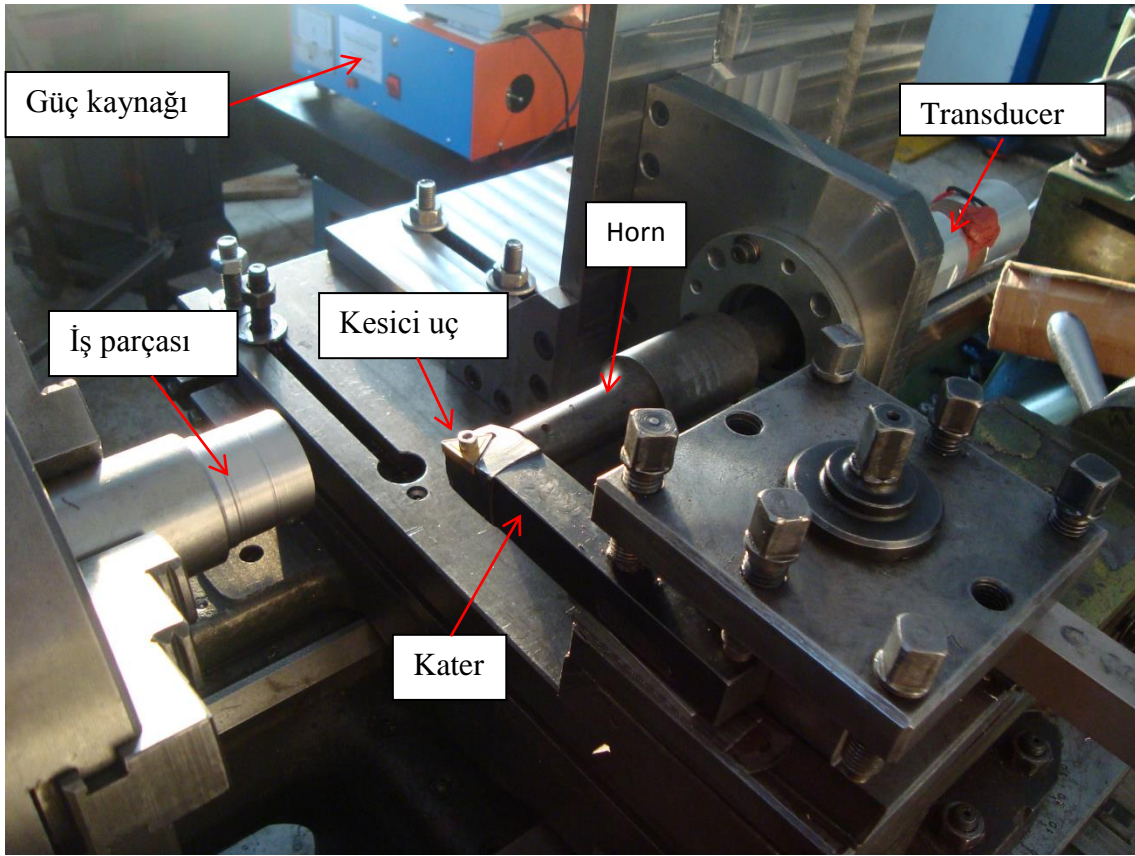
3.1 Ultrasonik Sistem

Ultrasonik sistem için güç kaynağı, buster ve horn kullanılmıştır. Sistemin şematik görünümü şekil 3.1’ de gösterilmiştir. Bu sistem aparatlar yardımı ile universal bir torna tezgâhına monte edilmiştir. Monte edilen sistem resim 3.1’ de verilmiştir.



Şekil 3.1 Ultrasonik sistemin şematik görünümü.

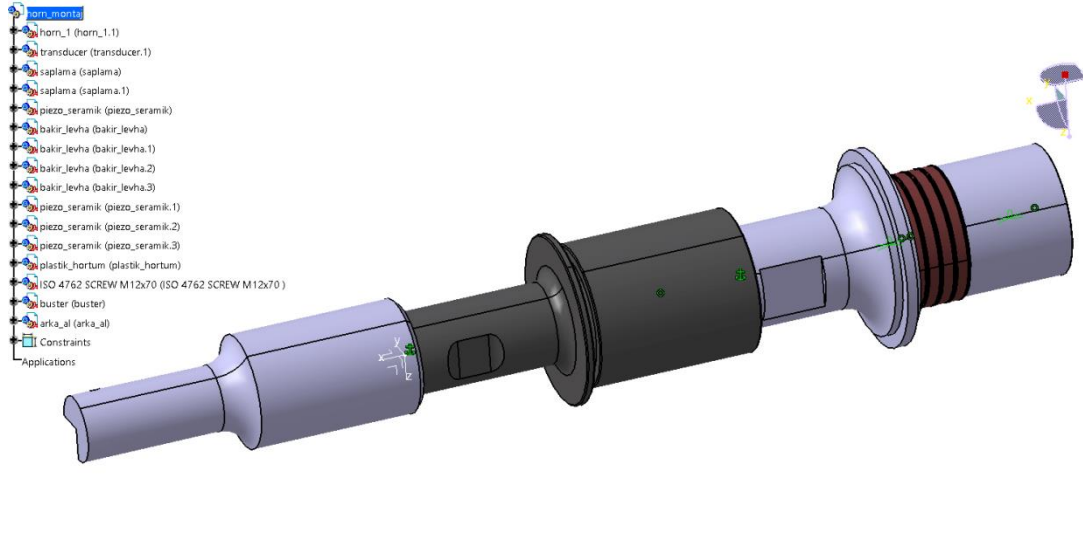
Piezoseramik halkalar 20 KHz frekansta titreşim vermek için seçilmiştir. Bu halkaların ürettiği genlik yaklaşık 0,2 μm civarındadır. Sistemde kullanılan transducer ise piezoseramik halkaların ürettiği küçük genlikteki titreşimleri çok büyük genliklere çıkarmak için kullanılmaktadır. Sistemde kullanılan horn, transducer de olduğu gibi sistemdeki genlikleri daha büyük seviyelere çıkarmaktadır. Ultrasonikte ihtiyaç olan en büyük genlik hornun uç kısmında oluşmaktadır. Buradaki genlik yaklaşık 15 – 20 μm civarındadır.



Resim 3.1 Üniversal torna tezgahına monte edilen ultrasonik sistem.

3.2 Horn Tasarımı

Ultrasonik sistemin mekanik parçalarının üç boyutlu görüntüsü şekil 3.2’ de verilmiştir. Ayrıca kullanılan malzemeler ve mekanik özellikler çizelge 3.1’ de verilmiştir. Ultrasonik sistemin bir parçası olan hornun tasarımı ilk olarak yapılmıştır. Horn üç boyutlu olarak bir CAD programında modellenmiştir. Modelleme işleminden sonra ANSYS programına aktarılarak, doğal frekansları ve mod şekilleri elde edilmiştir.

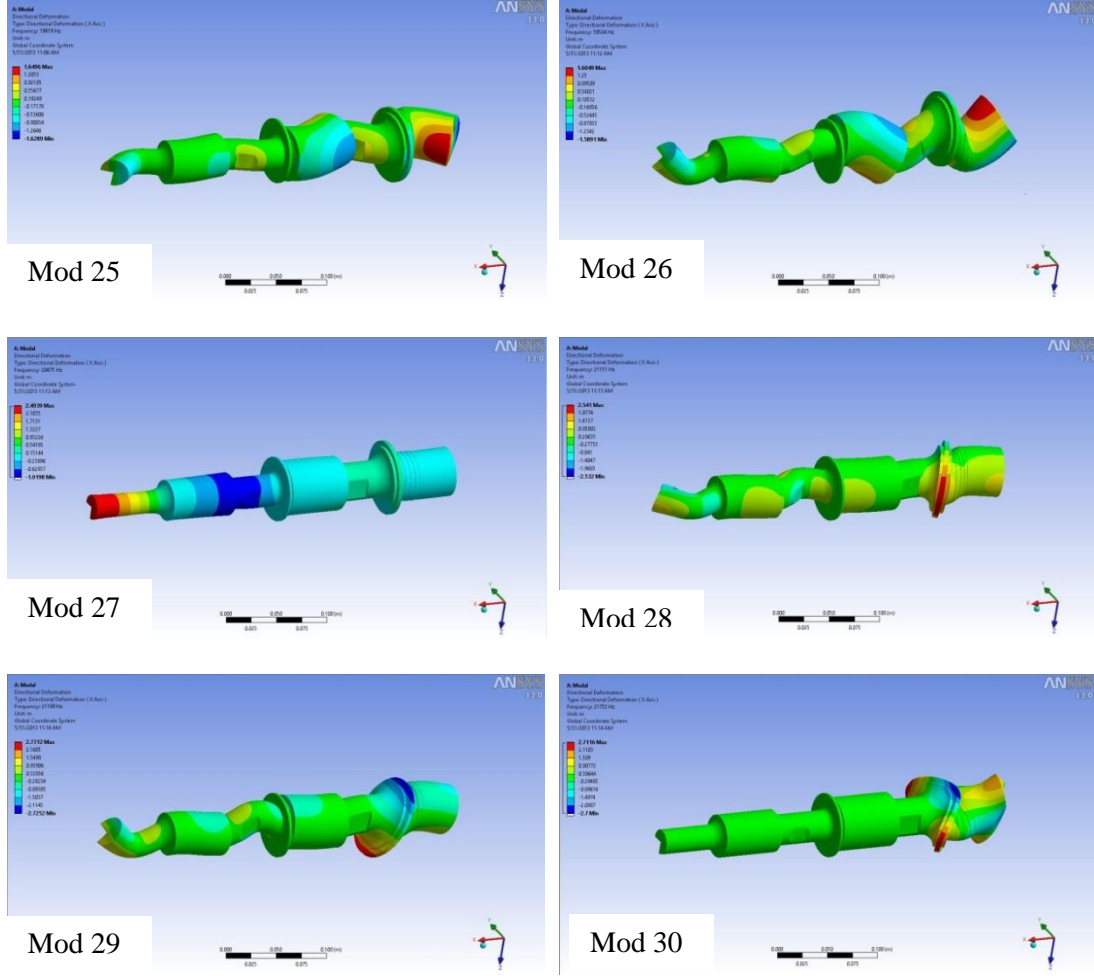


Şekil 3.2 Ultrasonik sistemin mekanik parçaları.

Çizelge 3.1 Horn ve sistemde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri

Malzemenin Adı	Elastite Modülü (MPa)	Özgül Ağırlığı (kg/m ³)	Possion Oranı
Alüminyum	71000	2770	0,33
Bakır	11000	8300	0,34
Çelik	200000	7850	0,3
Piezo Seramik	50000	8000	0,36
Polietilen hortum	1100	950	0,42

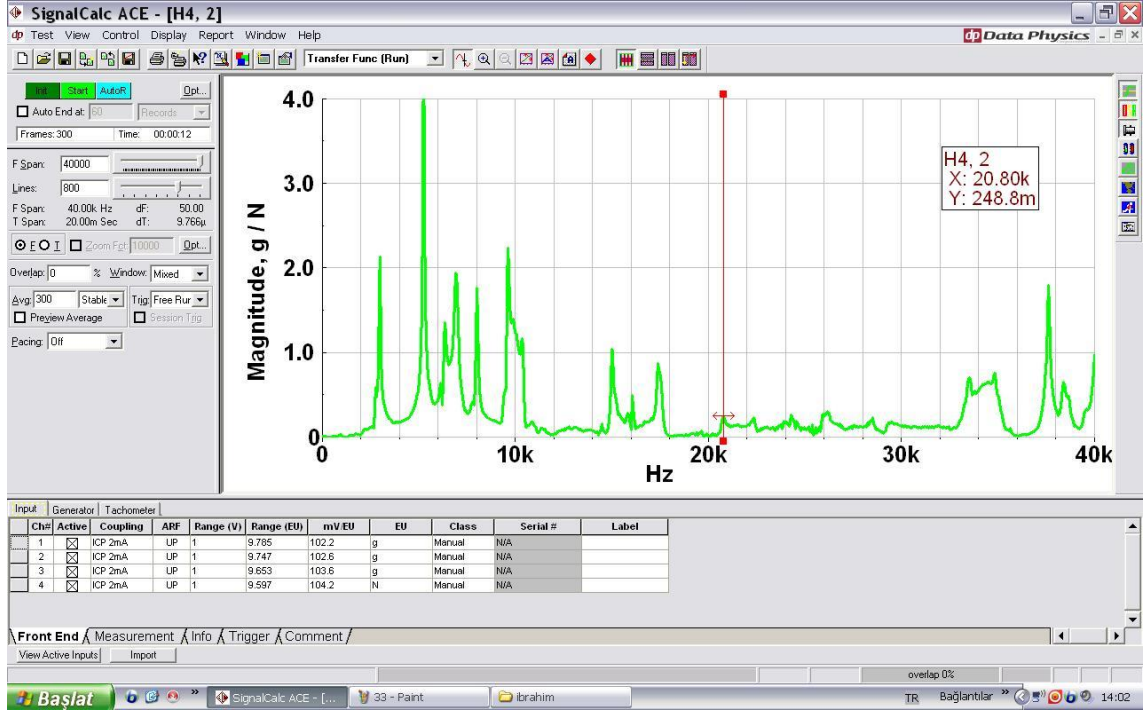
Ultrasonik tornalama için gerekli olan frekans değeri 20 - 21 Hz olmalıdır. Tasarlanan sistemin analizi gerçekleştirildiğinde 27. modda yaklaşık istenilen frekans mevcuttur. 27. frekans boyuna mod şeklini vermektedir. Bulunan frekans değeri şekil 3.3' gösterilmiştir. Ansys ile yapılan analiz sonuçlarını, laboratuvar da denenmiştir ve sonuçlar birbiri ile uyumludur. Laboratuvar da yapılan deney sonucu şekil 3.4'te verilmiştir. Frekansın 20 Hz civarında olduğu kısımlarda pikler oluşmuştur ve bu pikler istenilen modun bulunduğunu gösterir. Deneysel ve nümerik olarak elde edilen frekans değerleri çizelge 3.2' de verilmiştir.



Şekil 3.3 Ultrasonik sistemin farklı frekanslardaki mod şekilleri.

Çizelge 3.2 Ultrasonik sistemin farklı modlarda elde edilen frekans değerleri

Modlar	ANSYS ile bulunan frekans değerleri (Hz)	Deneysel olarak bulunana frekans değerleri (Hz)
25	19419	
26	19524	
27	20475	20800
28	21151	
29	21199	
30	21753	



Şekil 3.4 Sistemin laboratuvar ortamında modal analizi.

3.3 Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Bu tez çalışmasında hem ultrasonik yardımıyla hem de konvansiyonel tornalama ile deneyler yapılmıştır. Deneyler AISI 310 paslanmaz çelik kullanılmıştır. Deneyler süresince TNMG 220408 666X kesici takım tercih edilmiştir. Kullanılan kesici takım resim 3.2’ de verilmiştir. Deneyler yapılırken kullanılan malzemenin kimyasal özellikleri çizelge 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.3 AISI 310 paslanmaz çeliğin kimyasal özellikleri

Çelik Türü	Kimyasal Bileşim (% Ağırlıkça)						
	C	Cr	Ni	Si	Mn	S	P
AISI 310	0,2	25	21	2	2,0	0,030	0,045

Kesici uç ve katere ait, boşluk açıları ve yanaşma açısı çizelge 3.4'te verilmiştir. Deneyle yapılrken yanaşma açısı 90° olarak ayarlanmıştır.



Resim 3.2 TNMG 220408 666X kesici uç ve kateri.

Çizelge 3.4 TNMG 220408 kesici uç ve katere ait geometrik özellikler.

Açılımlar	Değerler
Kesme kenarı açısı	90 derece
Boşluk açısı	7.5 derece
Gövde boyutları	25 x 25

Deneylede kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği gibi kesme parametreleri kullanılmıştır. Deneylede kullanılan kesme parametreleri çizelge 3.5' te verilmiştir. Deneylede soğutma sıvısı kullanılmamıştır.

Çizelge 3.5 Deneylerde kullanılan kesme parametreleri

Deney No	İşleme Yöntemi	Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme (mm/dev)	Talaş Derinliği (mm)
1	Ultrasonik	30	0,08	0,2
2	Konvansiyonel			0,2
3	Ultrasonik			0,3
4	Konvansiyonel			0,3
5	Ultrasonik		0,14	0,2
6	Konvansiyonel			0,2
7	Ultrasonik			0,3
8	Konvansiyonel			0,3
9	Ultrasonik		0,20	0,2
10	Konvansiyonel			0,2
11	Ultrasonik			0,3
12	Konvansiyonel			0,3
13	Ultrasonik	60	0,08	0,2
14	Konvansiyonel			0,2
15	Ultrasonik			0,3
16	Konvansiyonel			0,3
17	Ultrasonik		0,14	0,2
18	Konvansiyonel			0,2
19	Ultrasonik			0,3
20	Konvansiyonel			0,3
21	Ultrasonik		0,20	0,2
22	Konvansiyonel			0,2
23	Ultrasonik			0,3
24	Konvansiyonel			0,3
25	Ultrasonik	90	0,08	0,2
26	Konvansiyonel			0,2
27	Ultrasonik			0,3
28	Konvansiyonel			0,3
29	Ultrasonik		0,14	0,2
30	Konvansiyonel			0,2
31	Ultrasonik			0,3
32	Konvansiyonel			0,3
33	Ultrasonik		0,20	0,2
34	Konvansiyonel			0,2
35	Ultrasonik			0,3
36	Konvansiyonel			0,3

3.4 Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri

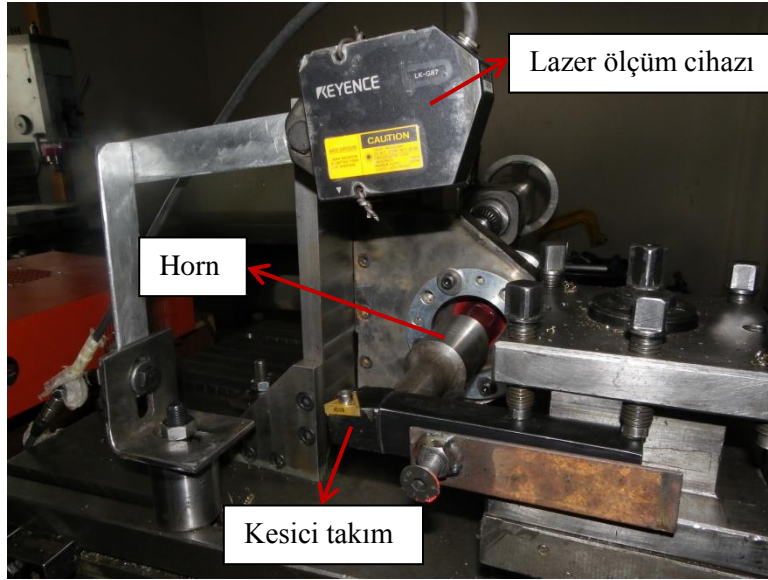
Yapılan ultrasonik ve konvansiyonel tornalama işlemlerinden sonra pertometre ile yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür (resim 3.3). Ölçümler tornalanan yüzeylerin 5 değişik noktasından alınan değerlerin aritmetik ortalamaları alınarak yapılmıştır.



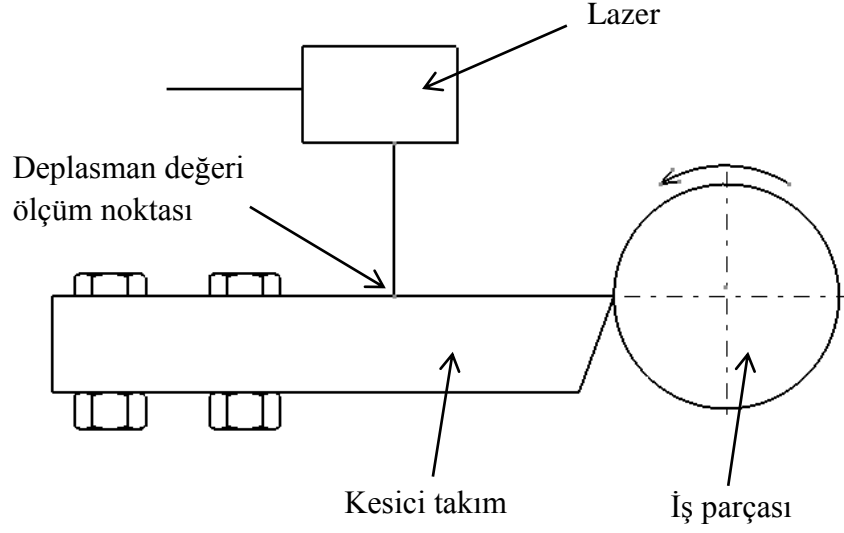
Resim 3.3 Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı (int 1, int 2).

3.5 Takım Deplasman Değerlerinin Belirlenmesi

Tornalama deneyleri yapılırken, kesici takımında meydana gelen yer değiştirmeler de ölçülmüştür. Yer değiştirmeler bilgisayar bağlantılı lazer ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir (resim 3.4).



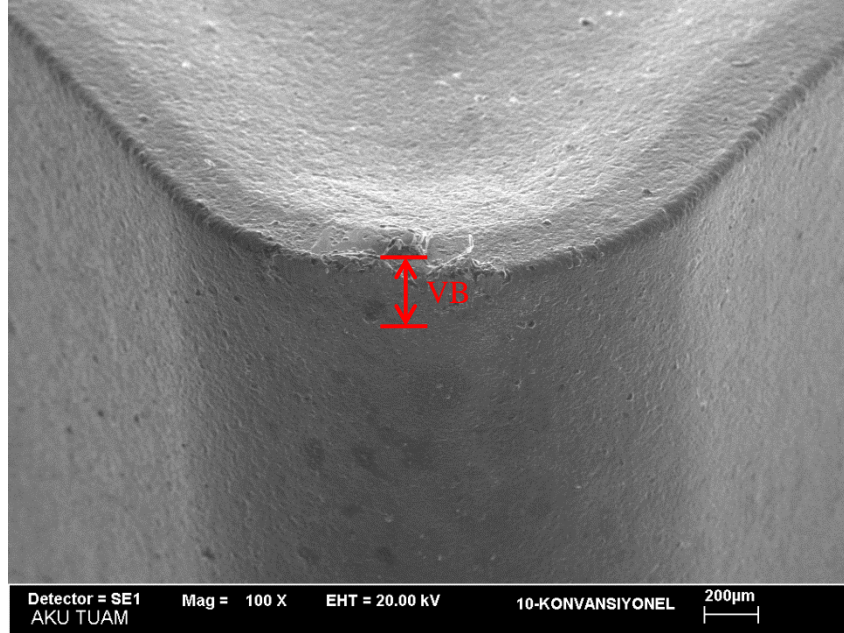
Resim 3.4 Lazer ölçüm cihazı ve torna tezgahına montajı.



Şekil 3.5 Deplasman değerlerinin ölçümünün şematik görünümü.

3.6 Kesici Takım Aşınmasının Belirlenmesi

Ultrasonik ve konvansiyonel tornalama ile yapılan deneyler sonucunda kesici uç aşınmaları SEM mikroskobunda incelenmiştir. Tornalama esnasında çıkan talaşlar toplanarak, talaş oluşumları gözlenmiştir. Kesici takımında oluşan aşınmaların ölçülmesi şekil 3.6' da gösterilmiştir.



VB: Kesici takım aşınma miktarı (μm).

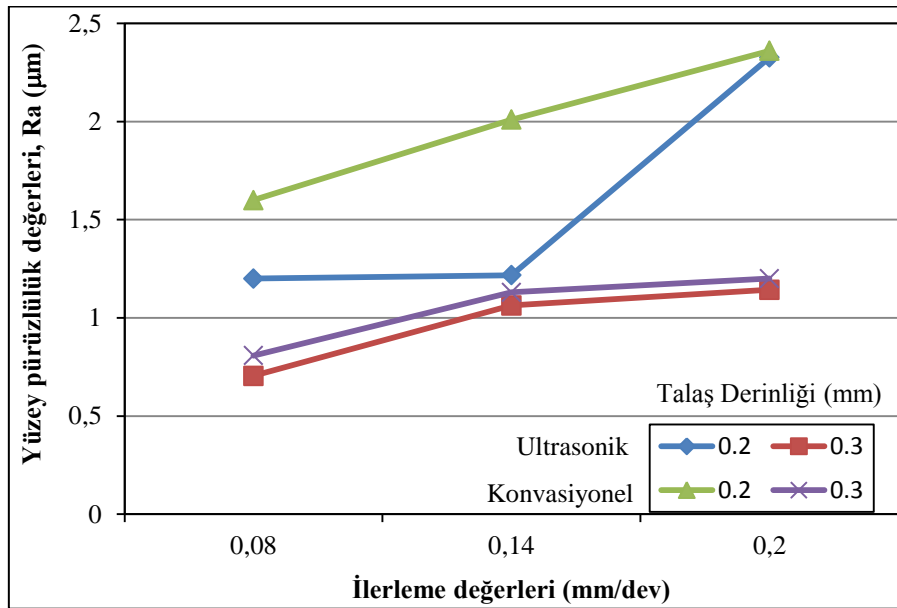
Şekil 3.6 Kesici takım aşınmasının ölçülmesi.

4. DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA

4.1 Yüzey Pürüzlülüklerinin Belirlenmesi

Yüzey pürüzlülüklerinin belirlenmesi için, çizelge 3.4' teki veriler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün talaş derinliği ile ilerleme miktarına göre değişimleri ve talaş derinliği ile kesme hızlarına göre değişimleri incelenmiştir.

Yüzey pürüzlülüğünün ilerleme ve talaş derinliğine bağlı değişimi şekil 4.1' de verilmiştir. Hem ultrasonik hem de konvansiyonel tornalama işlemlerinde ilerleme hızının artması ile yüzey pürüzlülüklerinin arttığı görülmüştür. Talaş derinliği 0,2 mm, 0,14 mm/dev ilerlemede yüzey pürüzlülük değeri çok az miktarda artmış, ilerleme miktarı 0,2 mm/dev' de en yüksek pürüzlülük değerini almıştır. ilerleme hızı 0,2 mm/dev' e bağlı olarak, ultrasonik titreşimin, kesici ucun sıcaklığını artırması sebebi ile talaşın, takım ile iş parçası arasında sıvanması, yüzey pürüzlülüğünde ani bir artmaya neden olmuştur.

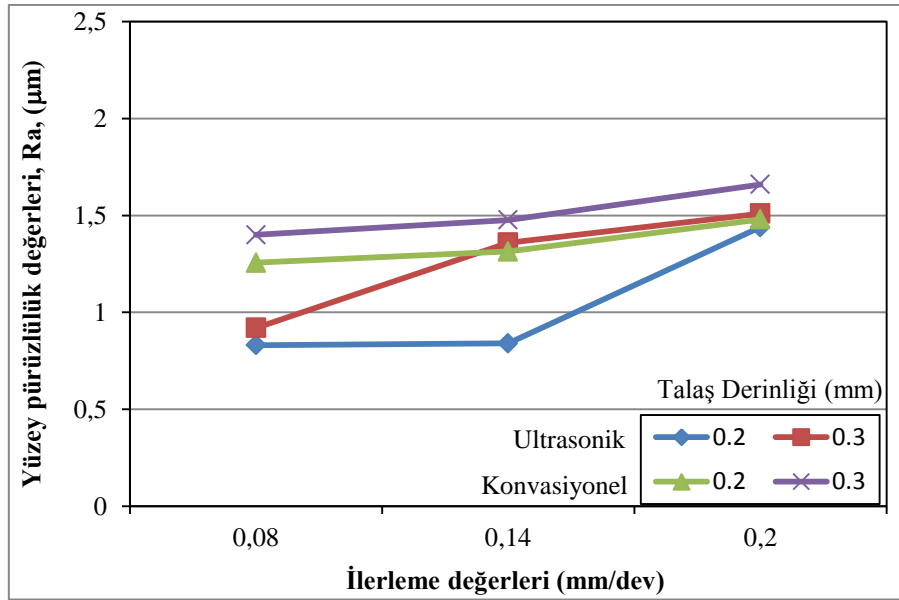


Şekil 4.1 Yüzey pürüzlülüğünün talaş derinliği ve ilerleme miktarına bağlı değişimi (V=30 m/dk).

Talaş derinliği 0,2 mm, 0,08 mm/dev ve 0,14 mm/dev ilerleme değerlerinde ultrasonik tornalamada elde edilen yüzey pürüzlülüğünün, konvansiyonel tornalamaya göre oldukça iyi olduğu görülmüştür. Talaş derinliği 0,3 mm iken ultrasonik ve

konvansiyonel işlemede yüzey pürüzlülük değerleri birbirine yakındır. Ancak ultrasonik tornalama ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri daha iyidir.

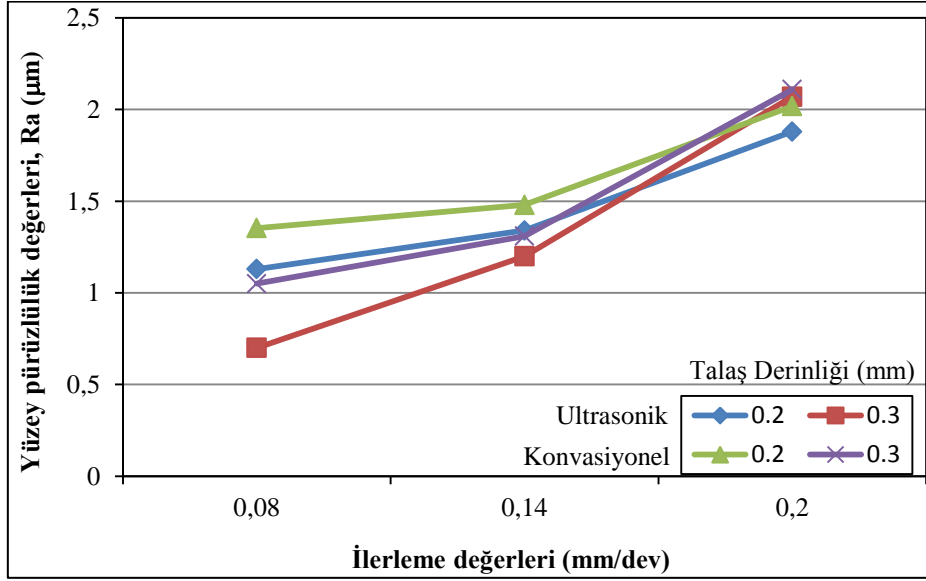
Şekil 4.2 incelendiğinde $V=60$ m/dk kesme hızı için tüm işleme yöntemleri, ilerleme değerleri ve talaş derinliklerinde, ilerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünde genel olarak artış gözlenmiştir. En küçük yüzey pürüzlülük değeri ultrasonik yöntem ile talaş derinliği 0,2 mm, ilerleme 0,08 mm/dev' de görülmüştür. Talaş derinliği 0,2 mm için 0,20 mm/dev ilerleme hızında ultrasonik tornalamada ani bir artış olmuştur. Ancak ultrasonik tornalama ile konvansiyonel tornalamada elde edilen yüzey pürüzlülük değeri birbirine yakındır.



Şekil 4.2 Yüzey pürüzlüğünün talaş derinliği ve ilerleme miktarına bağlı değişimi ($V=60$ m/dk).

İlerleme miktarları 0,08 mm/dev ve 0,14 mm/dev ilerleme hızında, talaş derinliği 0,2 mm' de ultrasonik tornalama ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri, konvansiyonel tornalamaya göre iyidir. Talaş derinliği 0,3 mm için bütün ilerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değeri de artmış, ultrasonik tornalama ile konvansiyonel tornalama benzer eğilim göstermiştir. Bütün ilerleme hızları için, 0,3 mm talaş derinliğinde ultrasonik tornalama ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü, konvansiyonel tornalamaya göre daha iyidir.

Şekil 4.3 incelendiğinde, bütün ilerleme hızları ve talaş derinliklerinde yüzey pürüzlülük değerlerinde artma olmuştur. İlerleme hızı 0,2 mm/dev' de bütün talaş derinliklerinde ultrasonik ve konvansiyonel tornalamada yüzey pürüzlülük değerleri birbirine oldukça yakındır. İlerleme hızının azalması ile birlikte bütün talaş derinliklerinde ultrasonik tornalama ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin, konvansiyonel tornalamaya göre iyileştiği görülmüştür.

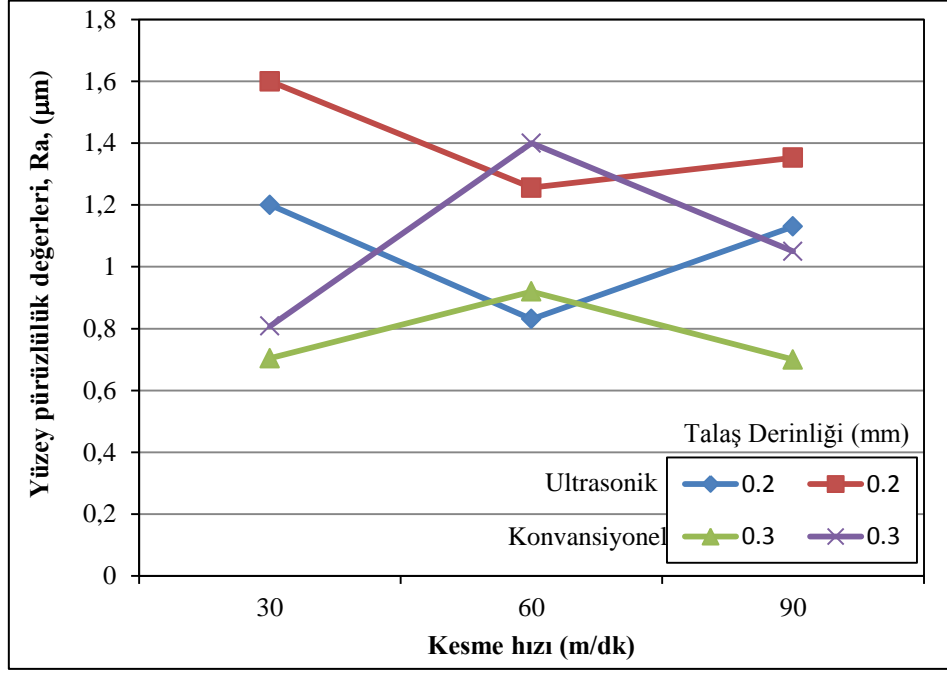


Şekil 4.3 Yüzey pürüzlüğünün talaş derinliği ve ilerleme miktarına bağlı değişimi (90 m/dk).

En iyi yüzey pürüzlülük değeri, ilerleme hızı 0,08 mm/dev' de ve talaş derinliği 0,3 mm ile ultrasonik tornalama ile elde edilmiştir. Bütün kesme hızları ve ilerleme hızları için, talaş derinliğinin artması ile birlikte yüzey pürüzlülük değerlerinde azalma gözlenmiştir.

Yapılan yüzey pürüzlülük deneylerinin kesme hızına bağlı olarak incelemek gerekir. Bütün ilerleme hızları için, kesme hızının artması ile birlikte yüzey pürüzlülük değerleri benzer eğilim göstermiştir.

Şekil 4.4 incelendiğinde talaş derinlikleri 0,2 mm ve 0,3 mm için, bütün kesme hızlarında ultrasonik tornalama ile konvansiyonel tornalama benzer eğilim göstermişlerdir. Ancak ultrasonik tornalama ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri konvansiyonel tornalamaya göre daha iyidir.

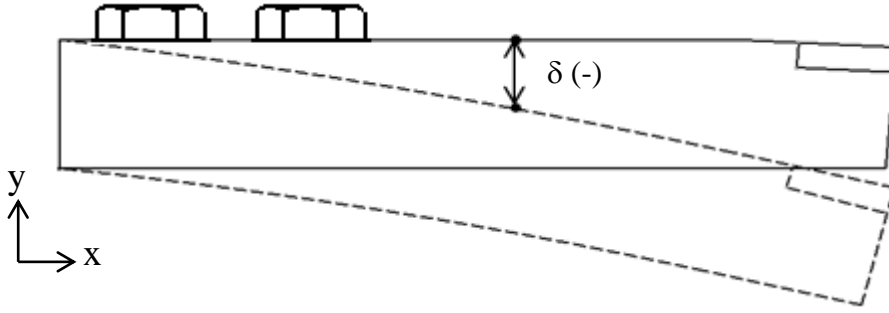


Şekil 4.4 YüzeY pürüzlüğünün talaş derinliği ve kesme hızına bağlı değişimi ($f=0,08$ mm/dev).

Kesme hızı 30 m/dk ve talaş derinliği 0,2 mm'de yüzeY pürüzlülük değeri en yüksek iken, 60 m/dk kesme hızında en düşük değeri almıştır. Ancak kesme hızını 90 m/dk' ya çıkarıldığında yüzeY pürüzlülük değeri tekrar bir artış görülmüştür. Talaş derinliği 0,3 mm'de kesme hızı 30 m/dk' da yüzeY pürüzlülük değeri en düşük değeri, kesme hızı 60 m/dk' da ise en yüksek değeri almıştır. Kesme hızı 90 m/dk' da ultrasonik tornalama ile en iyi yüzeY pürüzlülük değeri elde edilmiştir. Talaş derinliğinin artması ile birlikte, yüzeY pürüzlülük değeri azalmıştır. Bütün kesme hızı ve talaş derinliklerinde, ultrasonik tornalama ile elde edilen yüzeY pürüzlülük değeri, konvansiyonel tornalamaya göre daha iyidir.

4.2 Kesici Takım Yer Değiştirmesinin Belirlenmesi

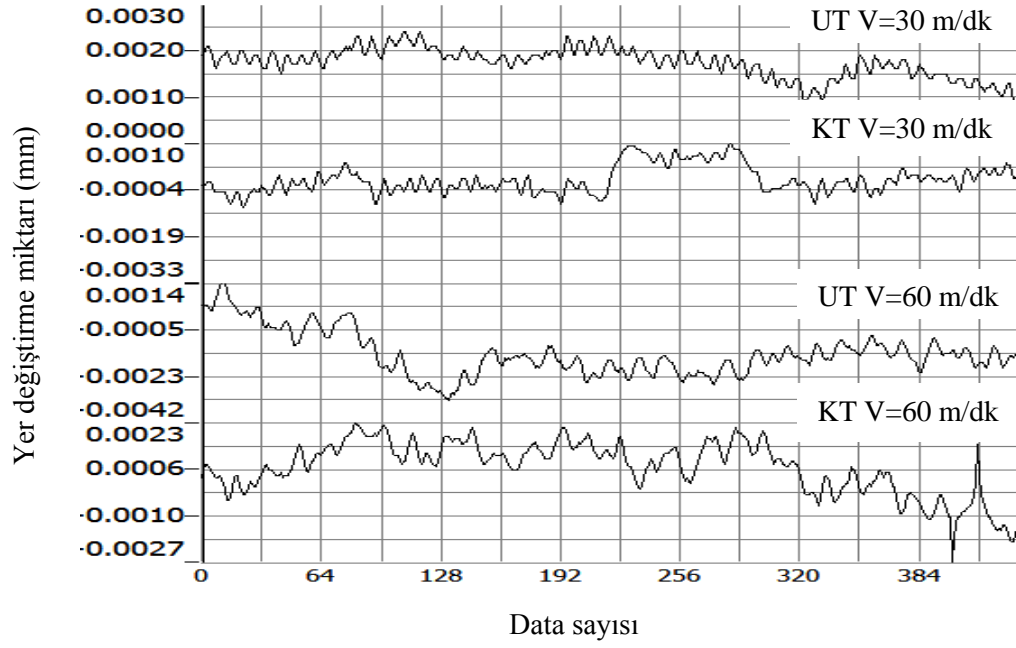
Kesme kuvvetlerinin etkisi altında y yönünde kesici takımda meydana gelen deplasmanlar (yer değiştirme) deneysel olarak belirlenmiştir. Şekil 4.5' te kesici takımda meydana gelen yer değiştirmenin Şematik gösterimi verilmiştir. Burada δ takım tutucu üzerindeki yer değiştirme miktarını vermektedir. Çıkan talaşlar veri almayı zorlaştırdığı için, yer değiştirmeler takım tutucu üzerinden alınmıştır.



δ (-): Kesici takımın yer değiştirme miktarı (mm)

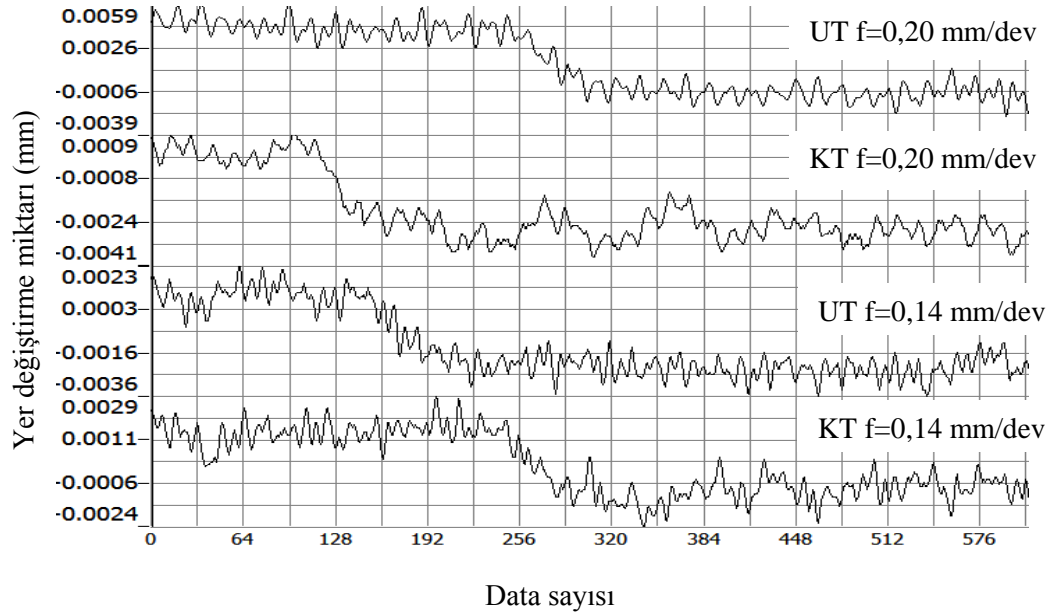
Şekil 4.5 Kesici takım yer değiştirmesinin Şematik gösterimi.

Şekil 4.6' da ilerleme hızı 0,08 mm/dev ve talaş derinliği 0,3 mm' de farklı kesme hızlarında oluşan kesici takımın yer değiştirme miktarları gösterilmiştir. Benzer biçimde Şekil 4.7' de kesme hızı 60 m/dk ve talaş derinliği 0,3 mm' de farklı ilerleme hızlarında oluşan kesici takımın yer değiştirme miktarları gösterilmiştir.



UT: Ultrasonik tormalama, KT: Konvansiyonel tormalama

Şekil 4.6 Ultrasonik ve konvansiyonel tormalama işleminde elde edilen takım yer değiştirme miktarları ($f=0,08$ mm/dev, $a_p=0,3$ mm).

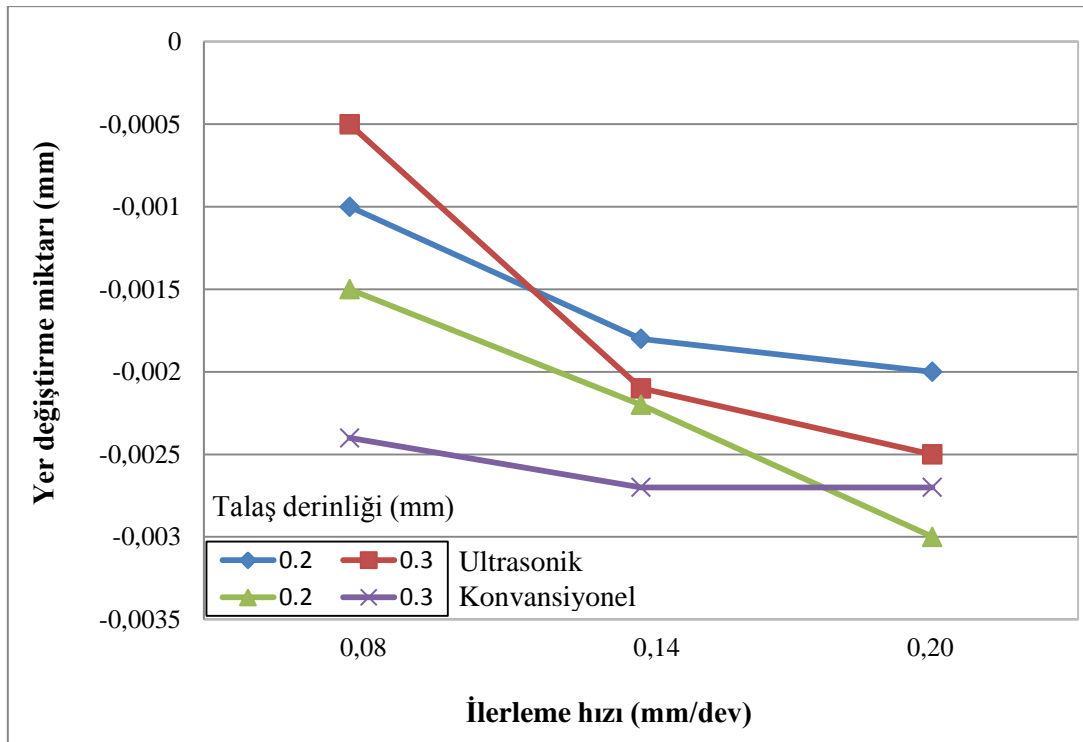


UT: Ultrasonik tormalama, KT: Konvansiyonel tormalama

Şekil 4.7 Ultrasonik ve konvansiyonel tormalama işleminde elde edilen takım yer değiştirme miktarları ($V=60$ m/dk, $a_p=0,3$ mm).

Şekil 4.6 ve şekil 4.7’ de görüldüğü üzere ultrasonik tornalama ile oluşan kesici takımın yer değiştirme miktarı, konvansiyonel tornalamaya göre daha kararlıdır.

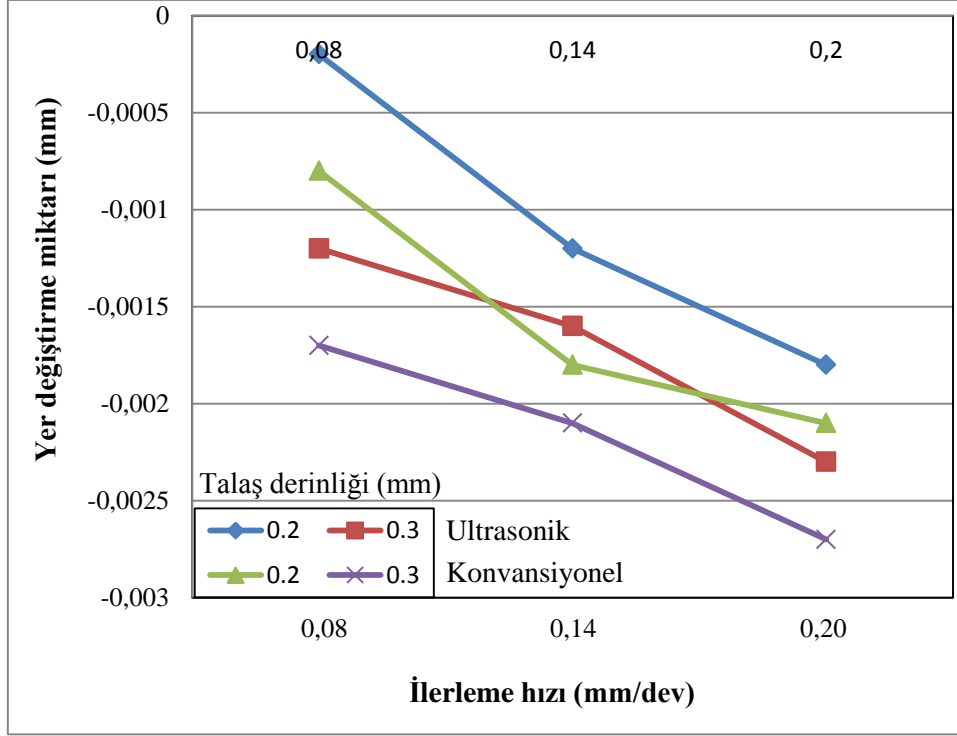
Şekil 4.8 incelendiğinde, aynı talaş derinliklerinde kesici uç yer değiştirmelerinin yönelimleri genel olarak aynıdır. Bununla birlikte kesici ucun yer değiştirmeleri ultrasonik tornalamada, konvansiyonel tornalamaya göre daha azdır. İlerleme hızının artması ile birlikte bütün işleme yöntemlerinde kesici ucun yer değiştirmeleri artmıştır. Kesme hızı 30 m/dk için en yüksek deplasman değeri, ilerleme hızı 0,2 mm/dev, talaş derinliği 0,2 mm olarak konvansiyonel tornalamada ölçülmüştür. En düşük kesici uç yer değiştirmesi ise talaş derinliği 0,3 mm, ilerleme hızı 0,08 mm/dev ile ultrasonik tornalamada ölçülmüştür.



Şekil 4.8 İlerleme miktarına ve talaş derinliğine bağlı takım tutucunun yer değiştirmesi (V=30 m/dk).

Şekil 4.9 incelendiğinde aynı talaş derinliklerinde kesici uç yer değiştirmelerinin yönelimleri genel olarak aynıdır. Her iki işleme yönteminde de ilerleme hızının artması ile birlikte kesici ucun yer değiştirmesi artmaya neden olmuştur. Konvansiyonel tornalamada elde edilen kesici ucun yer değiştirmeleri, ultrasonik tornalamaya göre

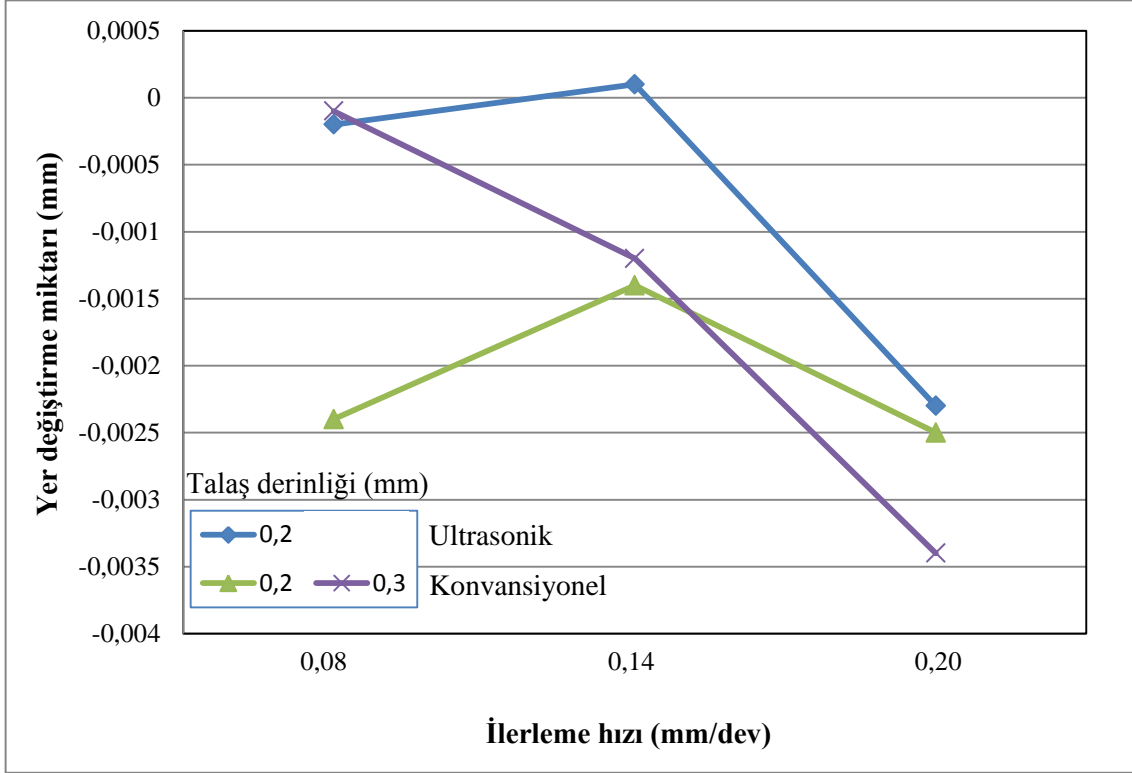
daha fazladır. Talaş derinlikleri göre ilerleme hızları göz önüne alındığında, konvansiyonel tornalama ile ultrasonik tornalama ile elde edilen kesici ucun yer değiştirmeleri arasındaki fark genel olarak aynıdır.



Şekil 4.9 İlerleme miktarına ve talaş derinliğine bağlı takım tutucunun yer değiştirmesi (V=60 m/dk).

Kesme hızı 60 m/dk için en yüksek deplasman değeri, ilerleme hızı 0,2 mm/dev, talaş derinliği 0,3 mm olarak konvansiyonel tornalamada ölçülmüştür. En düşük kesici uç yer değiştirmesi ise talaş derinliği 0,2 mm, ilerleme hızı 0,08 mm/dev ile ultrasonik tornalamada ölçülmüştür.

Şekil 4.10 incelendiğinde ise, kesici ucun yer değiştirme miktarları daha düzensizdir. Bütün işleme yöntemleri için ilerleme hızı arttıkça, kesici ucun yer değiştirmeleri önce azalmış, daha sonra tekrar artmıştır. En düzenli keçisi uç yer değiştirmesi talaş derinliği 0,3 mm ile konvansiyonel tornalama ile elde edilmiştir.



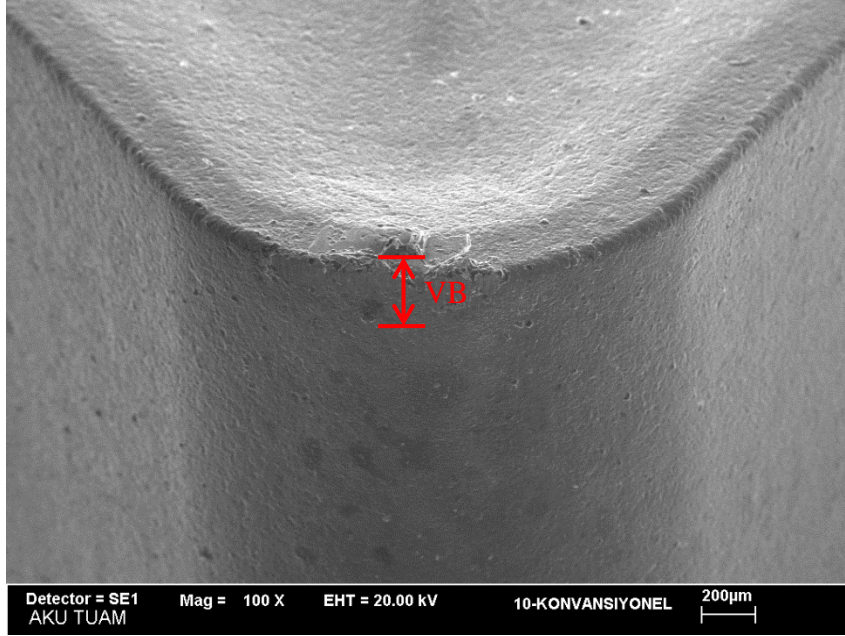
Şekil 4.10 İlerleme miktarına ve talaş derinliğine bağlı takım tutucunun yer değişimi ($V=90$ m/dk).

Talaş derinliği 0,2 mm' de ölçülen kesici ucun yer değişiminde ultrasonik tornalamada elde edilen değerler, konvansiyonel tornalamaya göre daha azdır. Talaş derinliği 0,3 mm' de ise konvansiyonel tornalama ile elde edilen değerler, ultrasonik tornalamaya göre daha azdır. En düşük kesici uç yer değişimi ilerleme hızı 0,08 mm/dev, talaş derinliği 0,3 mm ile konvansiyonel tornalama ile ölçülmüştür. En yüksek kesici uç yer değişimi ise hızı 0,2 mm/dev, talaş derinliği 0,3 mm ile ultrasonik tornalamada elde edilmiştir. Talaş derinliği 0,3 mm için ultrasonik tornalama için hiçbir ilerleme hızında takım tutucu yer değişimi ölçülemedi.

4.3 Kesici Takım Aşınmasının Belirlenmesi

Kesici takımlarda aşınma, kesici takımın uç bölgesinde meydana gelen fiziksel, kimyasal veya fiziksel – kimyasal değişimlerdir. Kesici takım aşınmasına neden olan en büyük etken kesme hızıdır. Talaş kaldırma esnasında kesici takım ile iş parçası arasında

kesme hızına bağlı olarak yüksek sıcaklık oluşumu ile aşınma meydana gelir. Bunun yanında talaş derinliği ve ilerleme hızı da kesici takım aşınmasına etki eden faktörler arasındadır. Şekil 4.11’ de kesici takım aşınmasının nasıl ölçüldüğü gösterilmektedir.

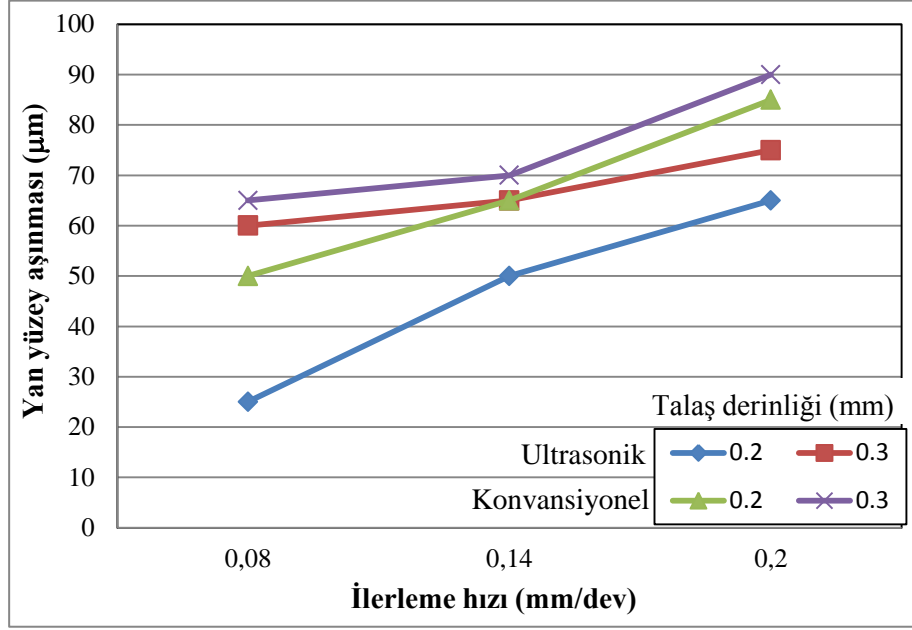


VB: Kesici takım aşınma miktarı (μm).

Şekil 4.11 Kesici takım aşınması ölçümü.

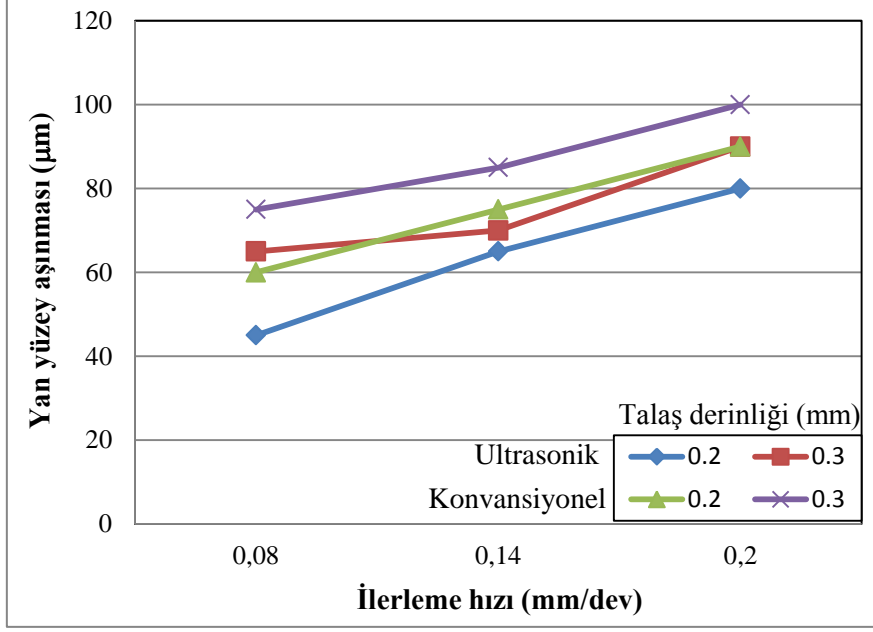
Yapılan bütün ultrasonik ve konvansiyonel tornalama deneylerinde, kesici uçta yanak aşınması görülmüştür. Bununla birlikte, bütün konvansiyonel tornalamada deneylerinde yığıntı kenar (BUE) oluşmuştur. Ancak ultrasonik tornalama deneylerinde yığıntı kenar oluşumu görülmemiştir.

Şekil 4.12 incelendiğinde, kesme hızı 30 m/dk’ da genel olarak ultrasonik tornalama ile oluşan aşınmanın, konvansiyonel tornalama ile aşınmaya göre daha azdır. Bütün tornalama deneyleri için, ilerleme miktarı arttıkça aşınma miktarı da artmıştır. Kesme hızı 30 m/dk ve talaş derinliği 0,2 mm’ de bütün ilerleme hızları için oluşan ultrasonik ve konvansiyonel tornalama ile aşınma miktarları arasındaki fark daha fazladır. Talaş derinliği 0,3 mm için ise aşınma miktarları birbirine yakındır. En düşük aşınma miktarı ilerleme hızı 0,08 mm/dev ve talaş derinliği 0,2 mm ile ultrasonik tornalamada oluşmuştur. En yüksek aşınma miktarı ise ilerleme hızı 0,20 mm/dev ve talaş derinliği 0,3 mm ile konvansiyonel tornalamada ölçülmüştür.



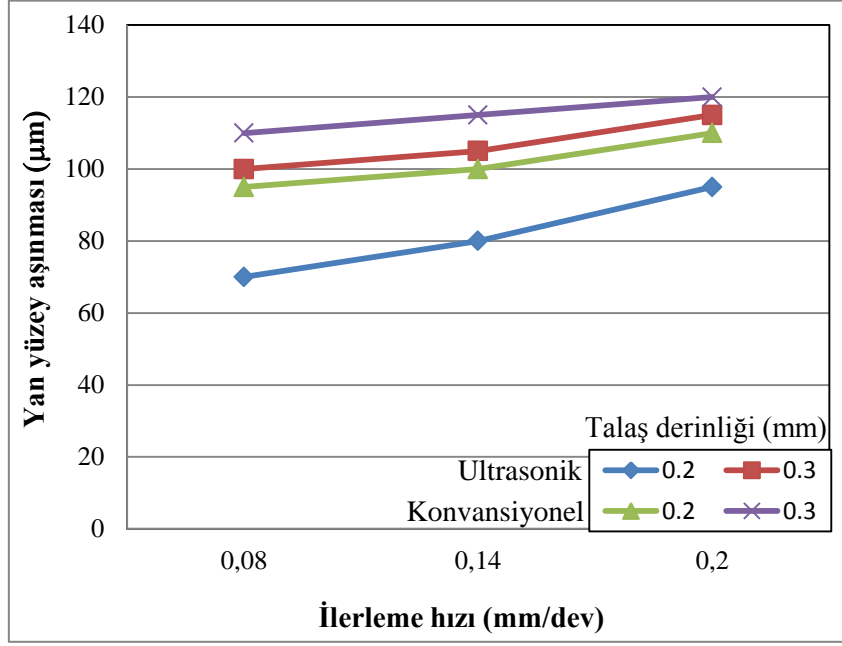
Şekil 4.12 İlerleme miktarı ve talaş derinliğine bağlı kesici uçta meydana gelen aşınma miktarları (V=30 m/dk).

Şekil 4.13 incelendiğinde, kesme hızı 60 m/dk' da bütün ilerleme hızları ve talaş derinlikleri için, ilerleme miktarı ve talaş derinliği arttıkça aşınma miktarları da artmıştır. Yapılan deneyler sonucunda bütün ilerleme hızları ve talaş derinliklerine göre konvansiyonel tornalama ile oluşan aşınma miktarı, ultrasonik tornalama ile oluşan aşınma miktarından büyüktür. Ancak aynı talaş derinlikleri ve ilerleme hızları için aşınma miktarlarında yaklaşık 10 µm – 15 µm fark vardır. İlerleme hızı 0,14 mm/dev ve ultrasonik tornalama için talaş derinliği 0,2 mm ve 0,3 mm, konvansiyonel tornalama için ise talaş derinliği 0,2 mm' de aşınma miktarları birbirine yakındır. Kesme hızı 60 m/dk için en düşük aşınma miktarı 0,08 mm/dev ve talaş derinliği 0,2 mm ile ultrasonik tornalamada oluşmuştur.



Şekil 4.13 İlerleme miktarı ve talaş derinliğine bağlı kesici uçta meydana gelen aşınma miktarları (V=60 m/dk).

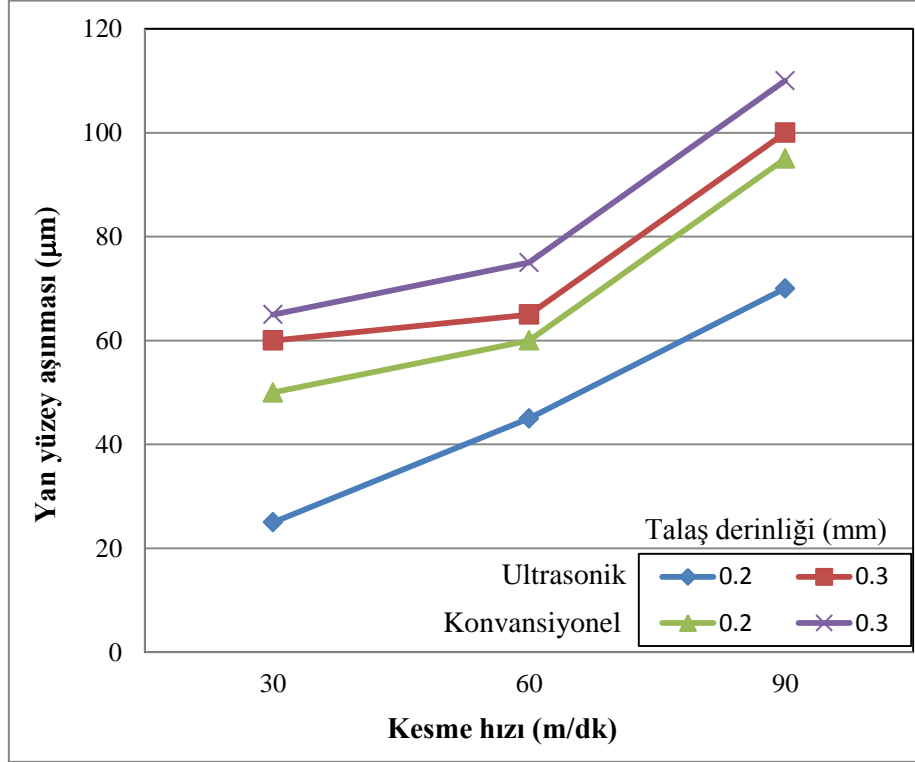
Şekil 4.14 incelendiğinde, kesme hızı 60 m/dk' da bütün ilerleme hızları ve talaş derinlikleri için, ilerleme hızı ve talaş derinliği arttıkça, aşınma miktarları da artmıştır. Talaş derinliği 0,2 mm için, bütün ilerleme hızlarında konvansiyonel tornalama ile ultrasonik tornalama arasındaki aşınma miktarı farkı yaklaşık 15 µm – 20 µm arasındadır ve aşınma miktarlarındaki en büyük fark bu talaş derinliğinde ölçülmüştür. Konvansiyonel tornalama için talaş derinliği 0,2 mm ve ultrasonik tornalamada ise talaş derinliği 0,3 mm' de oluşan aşınma miktarları birbirine yakındır.



Şekil 4.14 İlerleme miktarı ve talaş derinliğine bağlı kesici uçta meydana gelen aşınma miktarları (V=60 m/dk).

Kesme hızı 90 m/dk' da en düşük aşınma miktarı ilerleme hızı 0,08 mm/dev ve talaş derinliği 0,2 mm ile ultrasonik tornalama ile oluşmuştur. En yüksek talaş aşınma miktarı ise ilerleme hızı 0,02 mm/dev ve talaş derinliği 0,3 mm ile konvansiyonel tornalamada ölçülmüştür. Ancak ilerleme hızı 0,2 mm/dev ve talaş derinliği 0,3 mm parametrelerinde ultrasonik tornalama ile konvansiyonel tornalama ile oluşan aşınma miktarları birbirine yakındır.

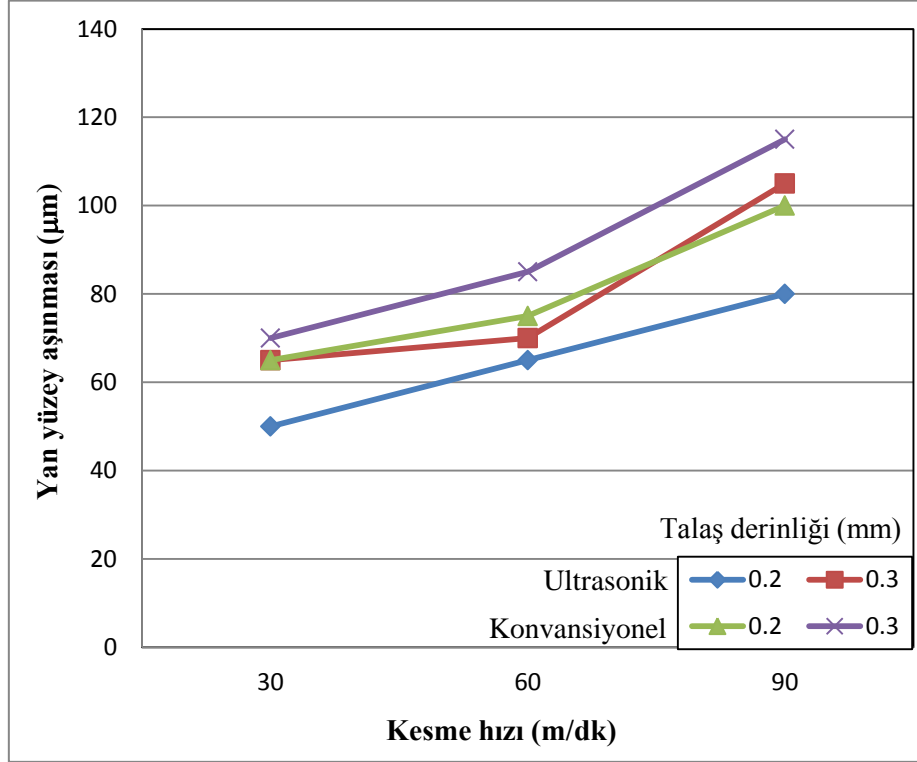
Aşınma miktarlarının değişimi kesme hızının değişimine göre incelenecek olursa, şekil 4.15' te de görüleceği üzere, kesme hızı arttıkça aşınma miktarları da artmıştır. İlerleme hızı 0,08 mm/dev ve talaş derinliği 0,2 mm' de ultrasonik tornalama ile oluşan aşınma miktarları lineer artış göstermiştir. Diğer parametrelerde elde edilen aşınma miktarları ise, kesme hızı 30 m/dk' dan, kesme hızı 60 m/dk' ya çıkarıldığında aşınma miktarı az, kesme hızı 60 m/dk' dan, kesme hızı 90 m/dk' ya çıkarıldığında aşınma miktarları ani bir şekilde artmıştır.



Şekil 4.15 Kesme hızına ve talaş derinliğine bağlı kesici uçta meydana gelen aşınma miktarları ($f=0,08$ mm/dev).

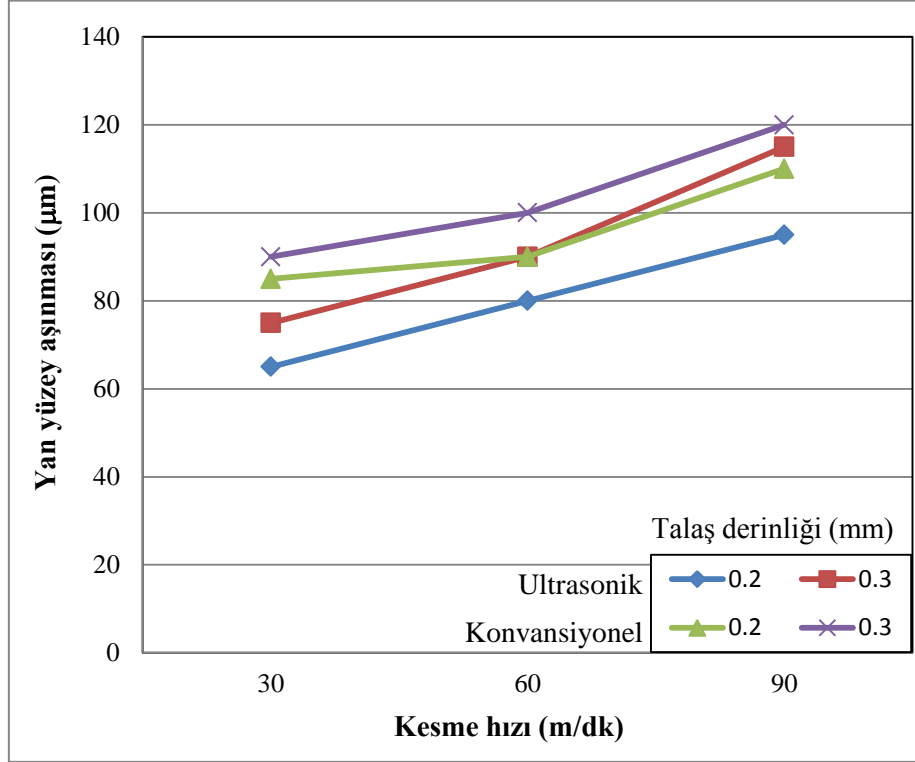
En düşük aşınma, bütün kesme hızları için, talaş derinliği $a_p=0,2$ mm ile ultrasonik tornalama ile oluşmuştur. Diğer işleme parametreleri ile oluşan aşınma miktarları ise birbirine yakındır.

Şekil 4.16 incelendiğinde kesme hızının artması ile birlikte aşınma miktarları da artmıştır. Talaş derinliği 0,2 mm' de ultrasonik tornalama ile oluşan aşınma miktarları kesme hızı arttıkça lineer eğilim göstererek artmıştır. Bütün kesme şartlarında aşınma miktarları birbirine yakın olarak ölçülmüştür. Kesme hızı 60 m/dk' da ve bütün talaş derinliklerinde oluşan aşınma miktarları arasındaki fark $5 \mu\text{m} - 10 \mu\text{m}$ ' dir. Ultrasonik tornalamada talaş derinli 0,3 mm ile oluşan aşınma miktarı ile konvansiyonel tornalamada talaş derinliği 0,2 mm' de meydana gelen aşınma miktarları birbirine eşittir. En düşük aşınma miktarı bütün kesme hızları için talaş derinliği 0,2 mm ile ultrasonik tornalamada oluşmuştur.



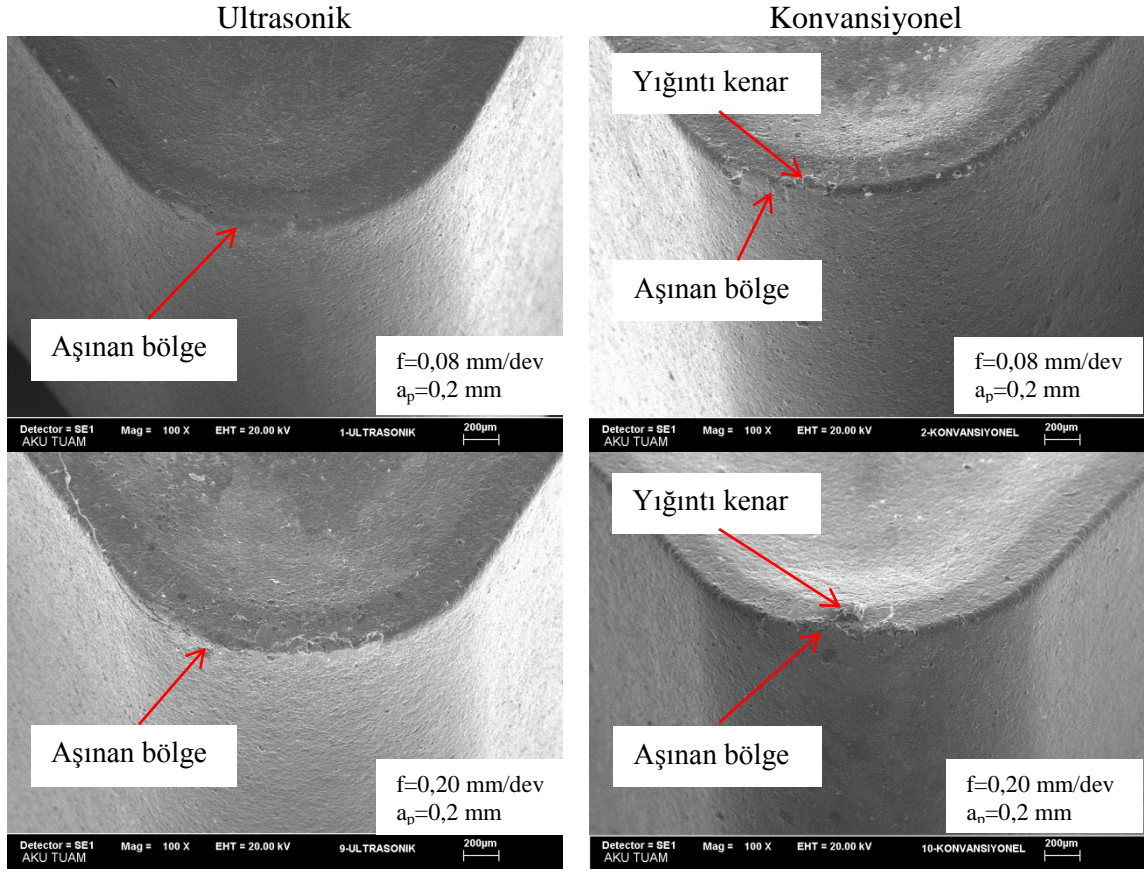
Şekil 4.16 Kesme hızına ve talaş derinliğine bağlı kesici uçta meydana gelen aşınma miktarları ($f=0,14$ mm/dev).

Şekil 4.17 incelendiğinde kesme hızı arttıkça, aşınma miktarı da artmıştır. Bütün talaş derinliklerinde kesme hızının artması ile birlikte aşınma miktarları lineere yakın olacak şekilde artmıştır. Kesme hızı 60 m/dk' da konvansiyonel tornalama için talaş derinliği 0,2 mm ile ultrasonik tornalama için 0,3 mm' de oluşan aşınma miktarları eşittir. Talaş derinlikleri ve kesme hızlarına bakılmaksızın, aşınma miktarları arasında fark 5 μm – 10 μm arasındadır. Aşınma miktarı en az olan işleme türü, talaş derinliği 0,2 mm olan ultrasonik tornalamada oluşmuştur. Diğer talaş derinlikleri ve işleme türleri birbirine yakın aşınma miktarları oluşmuştur.

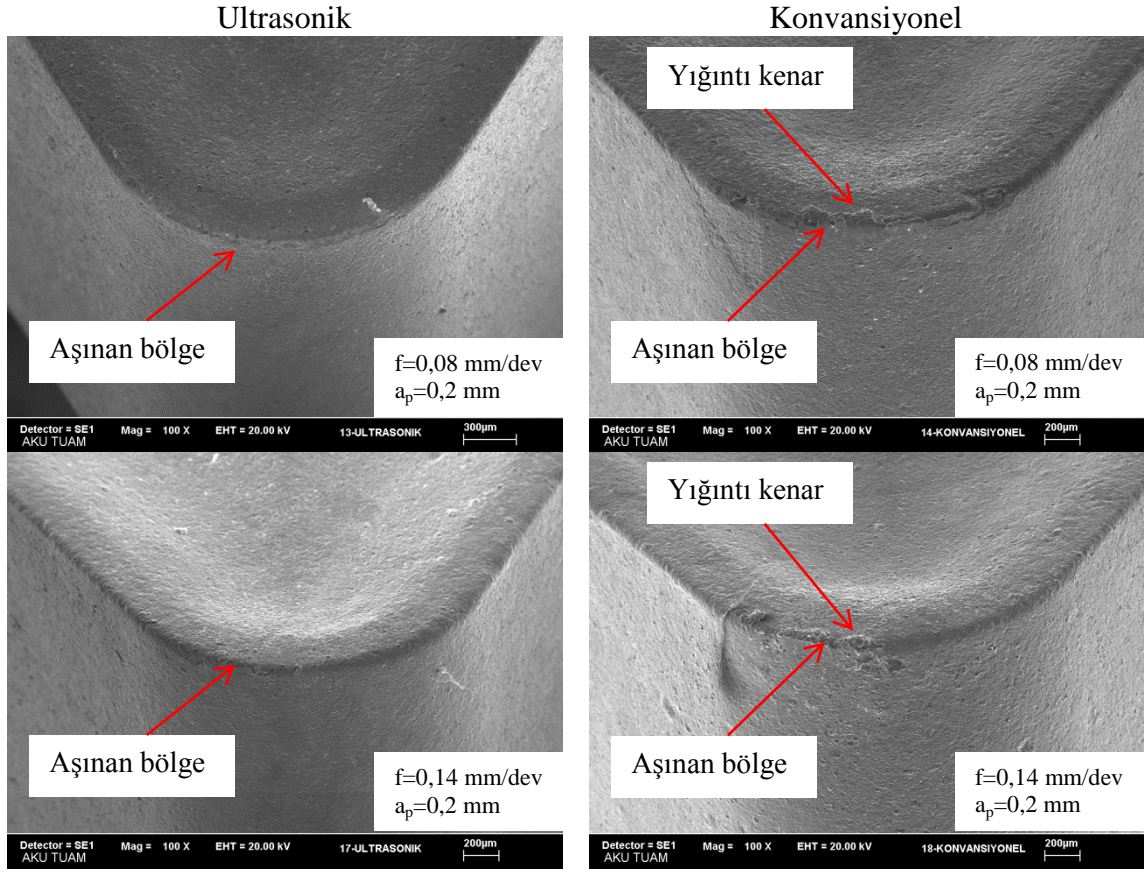


Şekil 4.17 Kesme hızına ve talaş derinliğine bağlı kesici uçta meydana gelen aşınma miktarları ($f=0,20$ mm/dev).

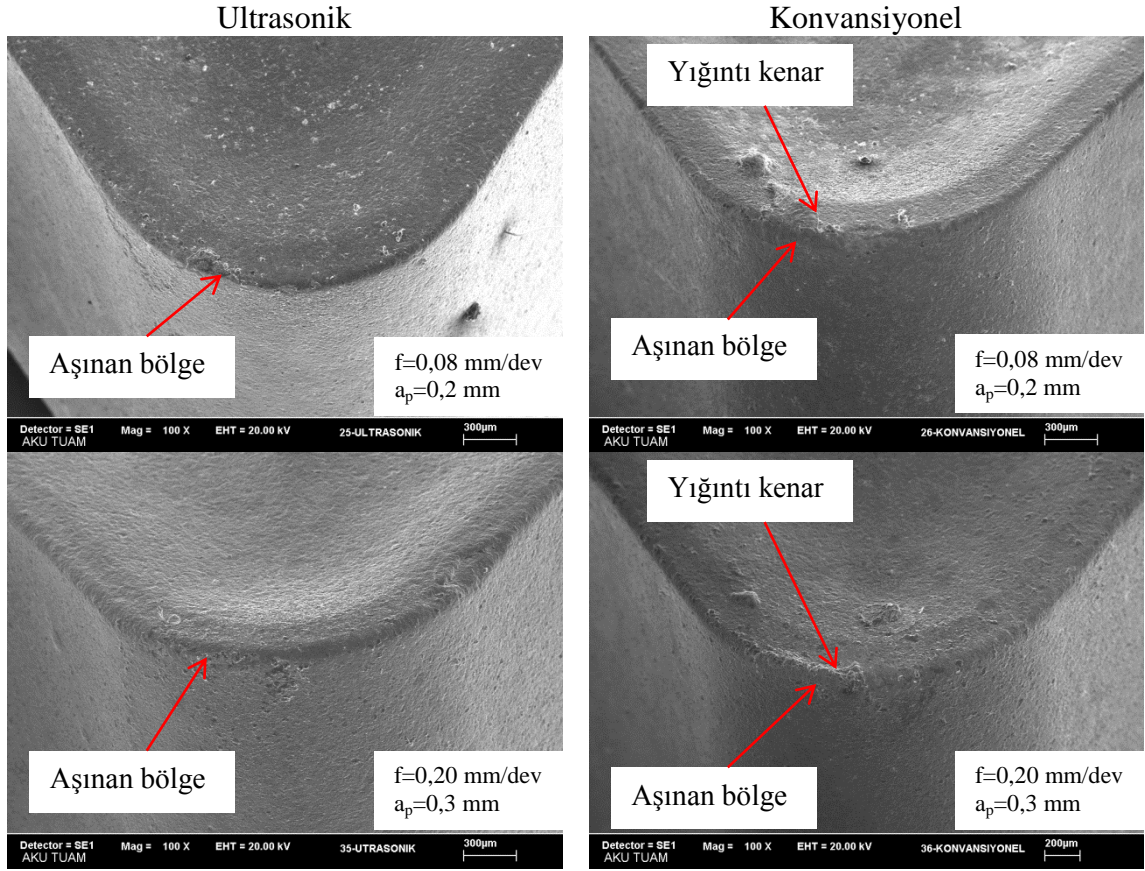
Yapılan deneylerde, konvansiyonel tornalamada aşınma miktarının daha fazla olmasının yanında, kesici uçta yığıntı kenar (BUE) oluşumu da görülmüştür. Farklı kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen aşınmaların SEM görüntüsü şekil 4.18, şekil 4.19 ve şekil 4.20' de verilmiştir. Bütün kesici takımlarda genellikle abrasive aşınma meydana gelmiştir.



Şekil 4.18 Kesme işleminden sonra takım yüzeyinde oluşan aşınmaların SEM görüntüsü ($V=30$ m/dk).



Şekil 4.19 Kesme işleminden sonra takım yüzeyinde oluşan aşınmaların SEM görüntüsü ($V=60$ m/dk).

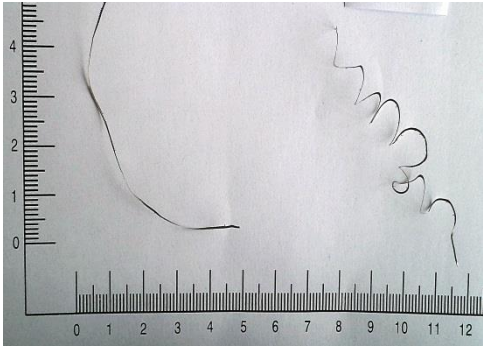
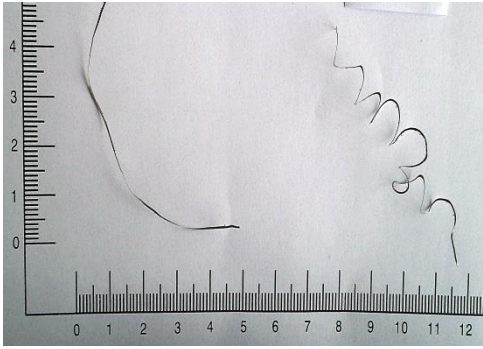
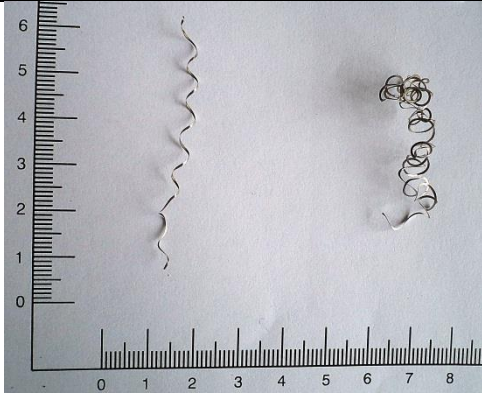
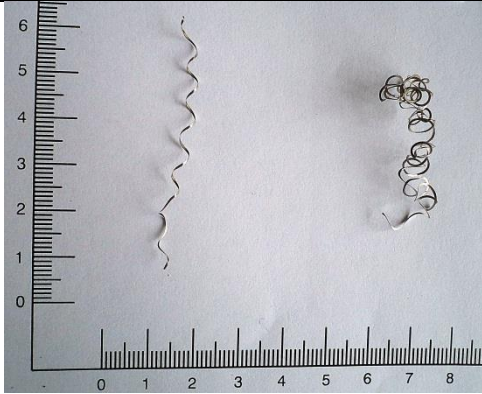
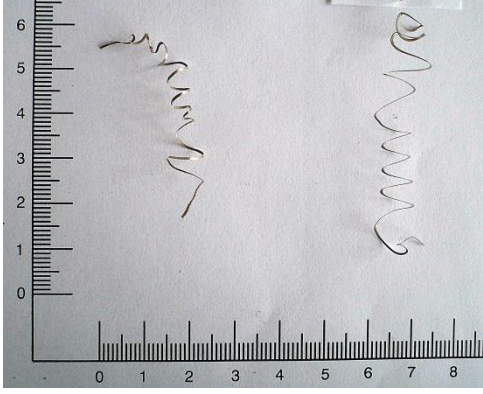
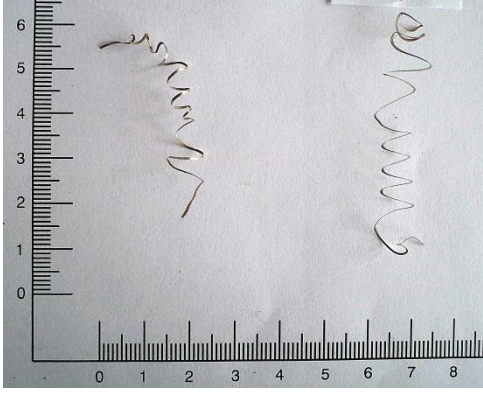


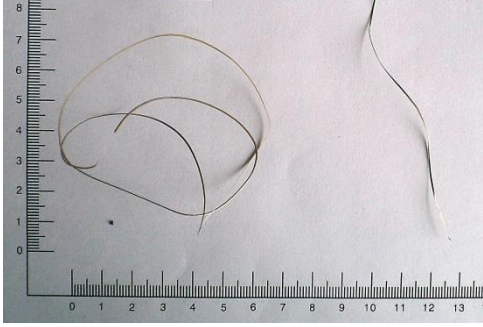
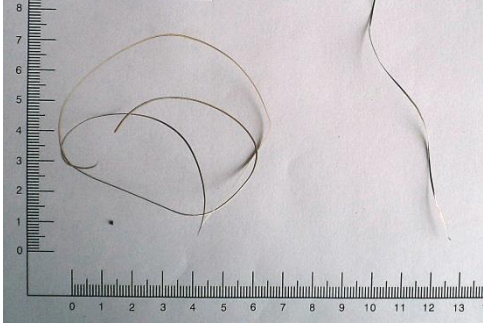




Şekil 4.20 Kesme işleminden sonra takım yüzeyinde oluşan aşınmaların SEM görüntüsü ($V=90$ m/dk).


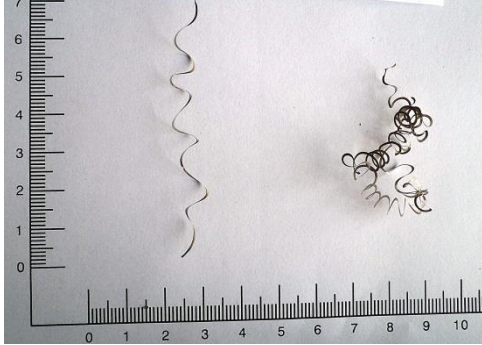
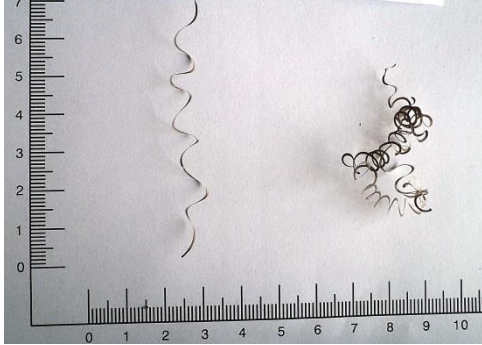
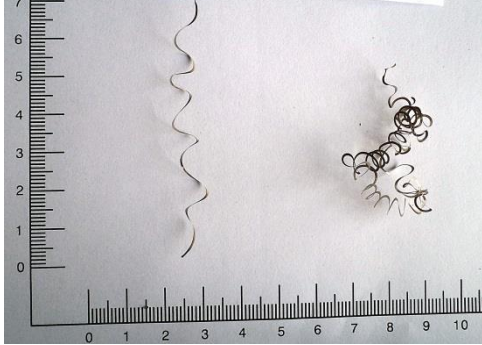








4.4 Talaş Oluşumunun Belirlenmesi

Talaş şeklini etkileyen en önemli faktör kesme hızıdır. Kesme hızının artması ile birlikte talaş formu düzensizleşir. Bunu nedeni kesme hızının artması ile birlikte takım talaş çifti arasında oluşan sıcaklığın artması olarak açıklanabilir. Sıcaklığın artması, talaşın kıvrılma yarıçapını etkiler.



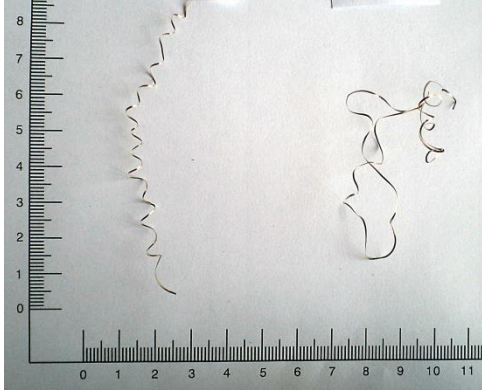
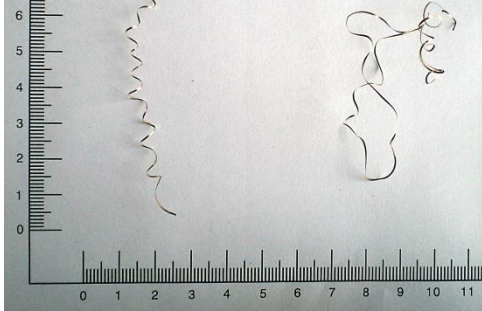








Genel olarak talaşları incelediğimizde konvansiyonel yöntem ile yapılan tornalama işleminde talaşların, ultrasonik tornalamaya göre daha fazla kıvrımlı olduğu görülmektedir. Konvansiyonel tornalamada talaşlar daha fazla süreklidir.

	Ultrasonik	Konvansiyonel	Ultrasonik	Konvansiyonel
	$a_p=0,2$ mm		$a_p=0,3$ mm	
$f=0,08$ mm/dev				
$f=0,14$ mm/dev				
$f=0,20$ mm/dev				

Resim 4.1 Ultrasonik ve konvansiyonel tornalama ile elde edilen talaş formları ($V=30$ m/dk).

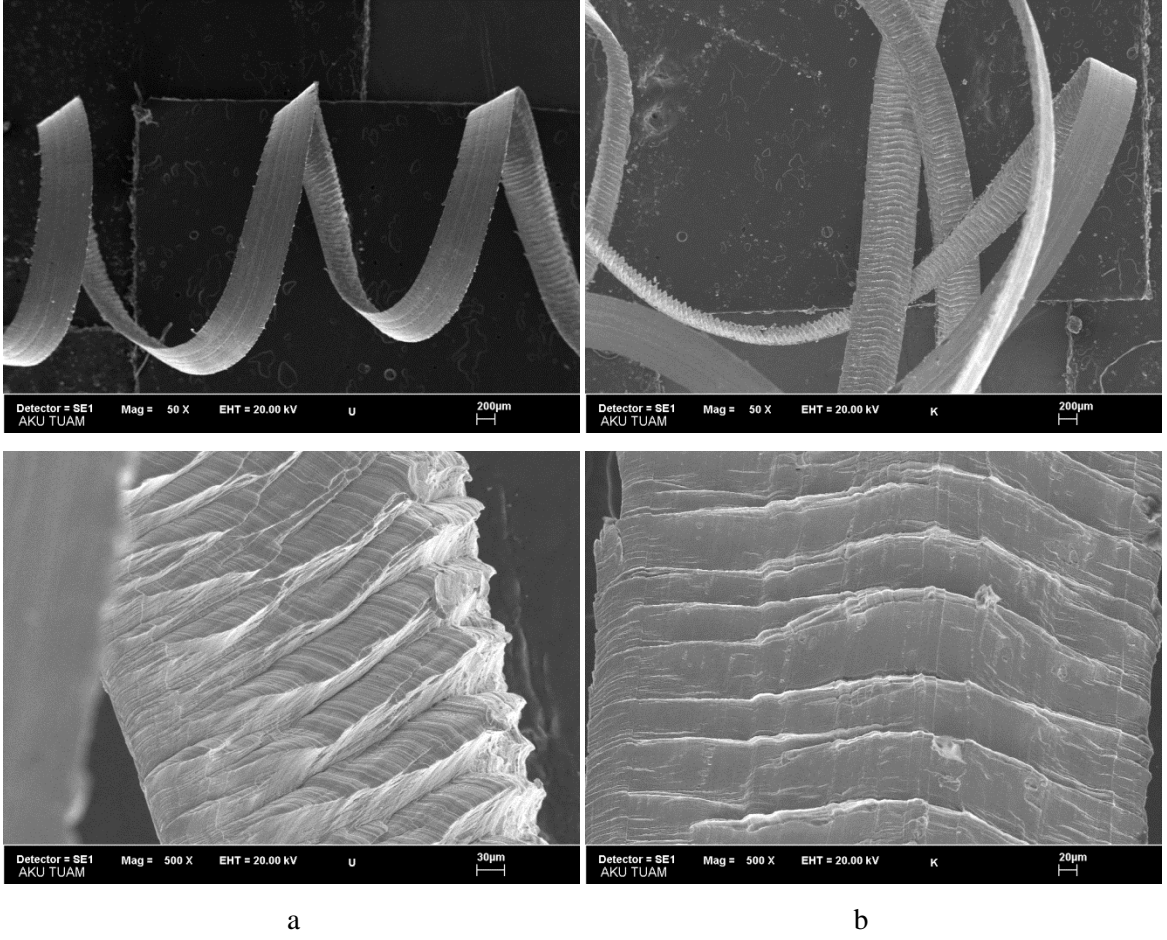
	Ultrasonik	Konvansiyonel	Ultrasonik	Konvansiyonel
	$a_p=0,2$ mm		$a_p=0,3$ mm	
$f=0,08$ mm/dev				
$f=0,14$ mm/dev				
$f=0,20$ mm/dev				

Resim 4.2 Ultrasonik ve konvansiyonel tornalama ile elde edilen talaş formları ($V=60$ m/dk).

	Ultrasonik	Konvansiyonel	Ultrasonik	Konvansiyonel
	$a_p=0,2$ mm		$a_p=0,3$ mm	
$f=0,08$ mm/dev				
$f=0,14$ mm/dev				
$f=0,20$ mm/dev				

Resim 4.3 Ultrasonik ve konvansiyonel tornalama ile elde edilen talaş formları ($V=90$ m/dk).

Ultrasonik ve konvansiyonel tornalama işleminde elde edilen talaşların SEM görüntüsü şekil 4.21' de verilmiştir. Fotoğraflar incelendiğinde tornalama işlemlerinden elde edilen talaşlar testere dişli görünümündedir. Konvansiyonel tornalama işleminde talaşların karmaşık ve sürekli olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, ultrasonik tornalama ile elde edilen talaşlar daha kısadır.



Şekil 4.21 Tornalama işleminde elde edilen talaşların SEM görüntüsü (a: ultrasonik, b: konvansiyonel, $V=30$ m/dk, $f=0,08$ mm/dev ve $a_p=0,3$ mm).

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada silindirik tornalama için ultrasonik sistem tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Sistem güç kaynağı, piezoseramik halkalar, transducer ve horndan meydana gelmektedir. Sistemdeki horn, kesici takıma dayalı bir şekilde torna tezgahına bağlanarak denemesi yapılmıştır. Deneyler için AISI 310 paslanmaz çelik, belirlenen kesme parametrelerinde (kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği) tornalanmıştır. Tornalanan iş parçası üzerinde yüzey pürüzlülük değeri, kesici takım aşınması, kesici takımında meydana gelen yer değiştirmeler ve talaş biçimleri incelenmiştir.

Yüzey pürüzlülüğü deneylerinden alınan sonuçlara göre, işleme biçimine bakılmaksızın sabit kesme hızında, farklı ilerleme miktarı ve talaş derinliklerinde, ilerleme miktarı ve talaş derinliği arttıkça yüzey pürüzlülük değeri artmıştır. Bununla birlikte ultrasonik tornalama ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri, konvansiyonel tornalamaya göre daha düşüktür. Babitsky ve arkadaşları da yüzey pürüzlülük değerleri için benzer sonuçlar elde etmişlerdir (Babitsky et al 2003). Yüzey pürüzlülük değerinin ilerleme hızı ve talaş derinliğine göre incelendiğinde, kesme hızları 30 m/dk ve 60 m/dk' larda ve talaş derinliği 0,2 mm' de ultrasonik tornalama için, yüzey pürüzlülük değeri önce azalmış daha sonra artmıştır. Diğer parametrelerde ise yüzey pürüzlülük değeri ilerleme hızı ve talaş derinliği arttıkça artmıştır. Bununla birlikte yüzey pürüzlülük değeri kesme hızı ve talaş derinliğine göre incelendiğinde bütün işleme yöntemlerinde talaş derinliği 0,2 mm' de yüzey pürüzlülük değeri önce azalmış daha sonra artmıştır. Talaş derinliği 0,3 mm' de tüm kesme hızlarında işleme yöntemine bakılmaksızın yüzey pürüzlülük değeri artmıştır.

Kesici takım üzerinde bir noktadan lazer ölçüm cihazı ile kesici takımında meydana gelen yer değiştirme değerleri alınarak incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre ultrasonik tornalamada meydana gelen yer değiştirme miktarları, konvansiyonel tornalamada meydana gelen yer değiştirmelerden daha küçüktür. Bütün kesme hızları ve işleme yöntemlerine göre, ilerleme ve talaş derinliği arttıkça genel olarak yer değiştirmeler de artmıştır. Ancak kesme hızı 30 m/dk, ilerleme miktarı 0,08 mm/dev' deki ultrasonik tornalamada talaş derinliği 0,3 mm' de oluşan yer değiştirme miktarı, talaş derinliği 0,2 mm' de oluşan yer değiştirme miktarından küçüktür. Kesme hızı 90 m/dk ve talaş derinlikleri 0,2 mm' de bütün işleme yöntemlerinde yer değiştirme miktarı önce

azalmış, daha sonra tekrar artmıştır. Deplasman değerleri kesme kuvvetlerinin büyüklüğü ile ilgilidir. Kesme kuvveti küçük ise deplasman değeri küçük, büyük ise deplasman değeri büyük olacaktır. Nath ve arkadaşları ultrasonik işlemede kesme kuvvetleri daha düşük çıktığını gözlemlemişlerdir (Nath et al 2007). Bu çalışmada da ultrasonik yöntem ile yapılan tornalama deneylerinde deplasman değerleri, konvansiyonel tornalamaya göre düşük çıkmıştır. Bunun sonucunda ultrasonik tornalamada oluşan kesme kuvvetleri, konvansiyonel tornalamaya göre daha küçüktür.

Kesici takım aşınması da benzer şekilde, kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak, ilerleme, kesme hızı ve talaş derinliği arttıkça kesici takım aşınma miktarları da bütün işleme yöntemleri için artmıştır. Bununla birlikte ultrasonik tornalama ile yapılan aşınma deneylerinde oluşan kesici takım aşınma miktarları konvansiyonel tornalamaya göre daha küçüktür. Genel olarak ultrasonik tornalama ile konvansiyonel tornalama ile oluşan aşınma miktarları arasındaki fark yaklaşık 10 μm – 15 μm civarına ölçülmüştür. Bununla birlikte tüm işleme yöntemlerinde kesici takımda yanak aşınması oluşmuştur. Ancak konvansiyonel tornalamada, kesici takımda yanak aşınmasının yanında yığıntı kenar (BUE)' de oluşmuştur.

Her iki işleme yöntemi için talaş oluşumları göz önüne alındığında, ultrasonik tornalama ile oluşan talaş biçimi helisel, konvansiyonel tornalama ile oluşan talaş biçimi ise karmaşık yapıdadır. Nath ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ultrasonik tornalama yönteminde elde edilen talaşların kıvrımlı, konvansiyonel tornalamayı ise karmaşık yapıda olduğunu görmüşlerdir (Nath et al 2007). Koshimizu ve arkadaşları da CNC torna ile yaptıkları ultrasonik tornalama deneylerinde benzer sonuçlar çıktığını görmüşlerdir.(Koshimizu et al).Her iki işleme yönteminde de testere tipli talaş oluşmuştur.

6. KAYNAKLAR

- A.V. Mitrofanov, N. Ahmed, V.I. Babitsky, V.V. Silberschmidt, (2005). Effect of lubrication and cutting parameters on ultrasonically assisted turning of Inconel 718. *Journal of Materials Processing Technology* **162–163**: 649–654.
- A.V. Mitrofanov, V.I. Babitsky, V.V. Silberschmidt, (2004). Finite element analysis of ultrasonically assisted turning of Inconel 718. *Journal of Materials Processing Technology* **153–154**: 233–239.
- Ainhoa Celaya, Luis Norberto López de Lacalle, Francisco Javier Campa and Aitzol Lamikiz, (2010). Ultrasonic assisted turning of mild steels. *International J. Materials and Product Technology, Vol. 37, Nos. 1/2*.
- Amir Goodarzvand Chegini, Javad Akbari. Ultrasonically assisted turning of NiTi based shape memory alloy. School of Mechanical Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran.
- Akkurt A. (2006). Aşındırıcılı su jeti uygulamaları ve üretimde yoğun kullanıma sahip malzemelerin delinmesi. *Trakya Univ J Sci, 7(2)*: **161-169**.
- B. Lauwers, N. Van Gestel, M. Vanparys, D. Plakhotnik, (2009). Machining of ceramics and ecological steels using a mill-turn centre equipped with an ultrasonic assisted tooling system. The Proceedings of MTTRF 2009 Annual Meeting.
- B. Azarhoushang, J. Akbari, (2007). Ultrasonic-assisted drilling of Inconel 738-LC. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* **47**: 1027–1033.
- Chandra Nath, Mustafizur Rahman, Ken Soon Neo, (2009). A study on the effect of tool nose radius in ultrasonic elliptical vibration cutting of tungsten carbide. *Journal of Materials Processing Technology* **209**: 5830–5836.
- Chandra Nath, M. Rahman, S.S.K. Andrew, (2007). A study on ultrasonic vibration cutting of low alloy steel. *Journal of Materials Processing Technology* **192–193**: 159–165.
- Chandra Nath, M. Rahman, (2008). Effect of machining parameters in ultrasonic vibration cutting. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* **48**: 965–974.

- C.Y. Hsu, Y.Y. Lin, W.S. Lee, S.P. Lo, (2008). Machining characteristics of Inconel 718 using ultrasonic and high temperature-aided cutting. *Journal of materials processing technology* **198**: 359–365.
- Çaydaş U. ve Hasçalık A., (2004). CNC Tel Erezyon Tezgahlarında Farklı Malzemelerin İşlenebilirliğinin Araştırılması. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* **Sayı: 6** Ekim 2004.
- Erden A. Alışılmamış (geleneksel olmayan) imalat yöntemleri. Mekatronik/Üretim Mühendisliği Bölümü Atılım Üniversitesi, Ankara.
- Gwo-Lianq Chern, Yuan-Chin Chang, (2006). Using two-dimensional vibration cutting for micro-milling. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* **46**: 659–666.
- Jerald L. Overcash, James F. Cuttino, (2009). Design and experimental results of a tunable vibration turning device operating at ultrasonic frequencies. *Precision Engineering* **33**: 127–134.
- Kei-Lin Kuo, (2008). Design of rotary ultrasonic milling tool using FEM simulation. *Journal of materials processing technology* **201**: 48–52.
- Kei-Lin Kuo, (2007). Experimental investigation of ultrasonic vibration-assisted tapping. *Journal of Materials Processing Technology* **192–193**: 306–311.
- K. Egashira, K. Mizutani. Ultrasonic Vibration Drilling of Microholes in Glass. Department of Mechanical Engineering, School of Biology-Oriented Science and Technology, Kinki University, Uchita, Wakayama, Japan.
- Ming Zhou, Y. T. Eow, B. K. A. Ngoi, and E. N. Lim, (2003). Vibration-Assisted Precision Machining of Steel with PCD Tools. *Materials and Manufacturing Processes Vol. 18, No. 5*, pp. **825–834**.
- M. Xiao, K. Sato, S. Karube, T. Soutome, (2003). The effect of tool nose radius in ultrasonic vibration cutting of hard metal. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* **43**: 1375–1382.
- N. Ahmed, A.V. Mitrofanov, V.I. Babitsky, V.V. Silberschmidt, (2007). Analysis of forces in ultrasonically assisted turning. *Journal of Sound and Vibration* **308**: 845–854.
- Peter P. Radecki, Walter A. Kruse, Aaron J. Welsh³, Erik A. Moro, Gyuhae Park, Matthew T. Bement. Improving a Turning Process Using Piezoelectric Actuators.

- Reimund Neugebauer, Andrea Stoll, (2004). Ultrasonic application in drilling. *Journal of Materials Processing Technology* **149**: 633–639.
- Rupinder Singh, J.S. Khamba, (2006). Ultrasonic machining of titanium and its alloys: A review. *Journal of Materials Processing Technology* **173**: 125–135.
- Shigeomi Koshimizu. Ultrasonic Vibration-Assisted Cutting of Titanium Alloy. Shizuoka Institute of Science and Technology. 2200-2 Toyosawa, Fukuroi, Shizuoka, Japan.
- S. Voronina, V. Babitsky, (2008). Autoresonant control strategies of loaded ultrasonic transducer for machining applications. *Journal of Sound and Vibration* **313**: 395–417.
- S. Voronina, V. Babitsky, A. Meadows, (2008). Modelling of Autoresonant Control of Ultrasonic Transducer for Machining Applications. ENOC 2008, Saint Petersburg, Russia, June, 30-July.
- Sur G., (2008). Karma Takviyeli Alüminyum Matriksli Kompozitlerin Üretimi, Mekanik Özellikler ve İşlenebilirliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Ankara.
- V.I. Babitsky, A.N. Kalashnikov, F.V. Molodtsov, (2004). Autoresonant control of ultrasonically assisted cutting. *Mechatronics* **14**: 91–114.
- V.I. Babitsky, A.N. Kalashnikov, A. Meadows, A.A.H.P. Wijesundara, (2003). Ultrasonically assisted turning of aviation materials. *Journal of Materials Processing Technology* **132**:157–167.
- Xue-Hui Shen, Jianhua Zhang, Dongliang Xing Xing, Yunfeng Zhao, (2012). A study of surface roughness variation in ultrasonic vibration-assisted milling. *Int J Adv Manuf Technol*, **58**:553–561.
- Y.S. Liao, Y.C. Chen, H.M. Lin, (2007). Feasibility study of the ultrasonic vibration assisted drilling of Inconel superalloy. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* **47**: 1988–1996.

6.1. İnternet Kaynakları

Erişim Tarihi

1. <http://www.megateknikmarket.com/?urun-21-marsurf-portatif-yuzey-puruzluluk-olcum-cihazlari---m300-c---m300-explorerer-yazilimi-hediye--->
08.05.2013
2. http://www.bilginogluendustri.com.tr/urunler_yuzey_puruzluluk_olcum_cihazlari_8_220surftest8221_sj8211401402-l-1-1-sayfa_id-333-g_id-16123-id-21621
08.05.2013
3. <http://www.directindustry.com/prod/keyence-deutschland/cmos-laser-displacement-sensors-64178-828299.html>
08.05.2013
4. <http://www.teknolojigunlugu.net/en-uygun-bilgisayar-markalari.html>
08.05.2013

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : İbrahim PAZARKAYA
Doğum Yeri ve Tarihi : KARAMAN / 26.06.1980
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (e-posta) : ibrahimpazarkaya@yahoo.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Selçuklu E.M.L / 1998
Ön Lisans : Sakarya Üniv. Sakarya M.Y.O / 2001
Lisans : Gazi Üniv. Tek. Eğt. Fak. Talaşlı Üretim Öğr. / 2006

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Hidroçınar Hidrolik San. Tic. Ltd. Şti (1994 - 1998)
Taşkar Teknik San. Tic. Ltd. Şti. (2002 - 2004)
Paradox Plastik San. Tic. (2004 - 2006)
Üstüner Plastik San. Tic. Ltd. Şti. (2006 - 2007)
Aker Model Döküm San. Tic. Ltd. Şti. (2007 - 2008)
Otimsa Otomotiv San. Tic. Ltd. Şti. (2008 - 2010)
Afyon Kocatepe Üniv. Afyon M.Y.O (2010 -)

Yayımları (SCI ve diğer) :

E. EKİCİ, İ. PAZARKAYA, E. NAS (2013). Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığı. Seçkin Yayıncılık San. Ve Tic. A.Ş. ISBN 978-975-02-2213-9. Ankara 2013.