

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TORNA TEZGÂHLARINDA KESME
KUVVETLERİNİN ÖLÇÜMÜ İÇİN DİNAMOMETRE
TASARIMI VE İMALATI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hamza MELAYİM

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Dr.Öğr. Üyesi Sedat İRİÇ

Mart 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TORNA TEZGÂHLARINDA KESME
KUVVETLERİNİN ÖLÇÜMÜ İÇİN DİNAMOMETRE
TASARIMI VE İMALATI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hamza MELAYİM

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 04.03.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

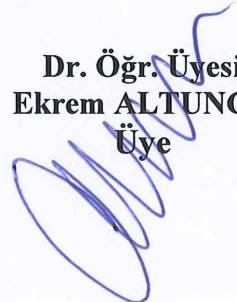
**Dr. Öğr. Üyesi
Sedat İRİÇ
Jüri Başkanı**



**Doç. Dr.
Murat ÖZSOY
Üye**



**Dr. Öğr. Üyesi
Ekrem ALTUNCU
Üye**



BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, Görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını. Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Hamza Melayim

04.03.2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlamasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikle beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Sedat İRİÇ'e teşekkürlerimi sunarım.

Kullanılacak malzeme ve deney cihazları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Utku Otomasyon Makine San. Ve Tic. Ltd. Şti genel müdürü Erkan ARSLAN'a teşekkür ederim.

Bu süreçte bana maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen aileme ve değerli arkadaşlarım Cüneyt BECERİKLİ ve Erdem AKMAN'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Literatür Taraması	1
BÖLÜM 2.	
ALÜMİNYUM	5
2.1. Alüminyumun Tarihçesi.....	5
2.2. Alüminyumun Özellikleri.....	6
2.2.1. Alüminyum alaşımlarının işlenebilirliği.....	10
2.2.2. Alüminyum ve alaşımlarının kullanım alanları	11
BÖLÜM 3.	
TALAŞLI İMALAT VE KESME KUVVETİ.....	14
3.1. Talaş Kaldırma Mekanizması	14
3.2. Tornalama.....	15
3.3. Talaş Kaldırmaya Etki Eden Faktörler	16
3.3.1. Takım geometrisi	16
3.3.2. Kesme hızı	18

3.3.3. Talaş derinliği ve ilerleme miktarı.....	18
3.3.4. Titreşimin etkisi	19
3.3.5. Kesme ve tezgâh gücü	20
3.3.6. Takım malzemesi, aşınması ve ömrü.....	20
3.3.7. Kesme kuvvetlerinin etkileri.....	22
3.3.7.1. Tornalama işleminde oluşan kesme kuvvetleri	22

BÖLÜM 4.

KUVVET ÖLÇÜMÜ VE ÖLÇME SİSTEMLERİ	26
4.1. Temel Prensip	26
4.2. Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi	27
4.3. Kuvvet Ölçme Sistemleri	29
4.3.1. Adaptif kuvvet ölçme sistemleri	29
4.3.2. Kuvvet dönüştürücüler ile kuvvet ölçme sistemleri	30
4.3.2.1. Yük hücresi (load cell)	30
4.3.2.2. Gerinim ölçer (strain-gage)	32
4.3.2.3. Gerinim ölçer malzemeleri ve yapıştırıcıları.....	33

BÖLÜM 5.

YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ.....	35
5.1. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler.....	37
5.1.1. Yüzey pürüzlülüğü parametreleri	40
5.1.2. Yüzey pürüzlülüğü ölçme yöntemleri.....	41
5.1.3. Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi	43
5.1.4. Ortalama çizgi (<i>M</i>) sistemi	44
5.1.5. Zarf sistemi (<i>E</i>)	45

BÖLÜM 6.

DİNAMOMETRE TASARIMI VE KULLANILAN MATERYAL VE METODLAR	46
6.1. Giriş	46
6.2. CAD ve Grafik Yazılımı	47
6.3. Sistem Donanımı	48

6.4. Torna Tezgâhı Dinamometresi	49
6.5. Yük hücreleri (Loadcell)	51
6.6. Sistem Kalibrasyonu.....	51
6.7. DasyLab Analiz Programı	51
6.8. Deneysel Çalışma	53
6.9. Deneylerde Kullanılan Takım Tezgahı	55
6.10. Yüzey Pürüzlülük Cihazı ve Ölçme Şartları	56
BÖLÜM 7.	
SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	57
7.1. Kesme ve İlerleme Kuvveti Deney Sonuçları	57
7.2. Yüzey Pürüzlülük Deney Sonuçları	62
7.3. Deneyler Sonucunda Elde Edilen Talaş Ve Kesici Uç Resimleri	64
BÖLÜM 8.	
SONUÇ VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	73

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Uygulanan alan
D	: İşlenmemiş malzeme çapı
E	: Elastisite modülü
F	: Uygulanan kuvvet
F_c	: Kesme kuvveti
F_f, F_v	: İlerleme kuvveti
F_r	: Radyal kuvvet
F_t	: Teğet açısı
F_n	: Normal kuvvet
F_a	: Eksenel kuvvet
GF	: Gage faktörü
N	: Devir sayısı
P_s	: Kesme gücü
P_m	: Tezgâh gücü
R	: Gerinim ölçerin deforme olmadan önceki direnci
T^n	: Takım ömrü
V	: Kesme hızı
V_s	: Giriş voltajı
V_o	: Çıkış voltajı
W	: Genişlik
α	: Arka talaş açısı
β	: Kama açısı
θ	: Kayma açısı
γ	: Talaş açısı
η_m	: Kinematik verim
σ	: Gerilme Kuvveti
ε	: Gerinim

ΔL : Orijinal boydaki değişim

ΔR : şekil değiştirme nedeniyle gerinim ölçer üzerinde oluşan direnç değişimi



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Alüminyum Alaşımlarının Kullanım Alanları ve Oranları.....	12
Şekil 3.1. Talaş Kaldırma İşleminin Kesit Görünüşü(a) Negatif Talaş Açısıyla Takım(b)	15
Şekil 3.2. Kesici Uç Yardımı ile Tornalama İşlemi	16
Şekil 3.3. Eğik Kesmenin Şematik Görünümü	16
Şekil 3.4. Takım Modeli ve Ortogonal Kesme.....	17
Şekil 3.5. Tornalama İşleminde Oluşan Kesme Kuvvet Bileşenleri.....	22
Şekil 3.6. Farklı Malzemeler İçin Kesme Hızının, Kesme Kuvvet Etkisi	23
Şekil 3.7. Kesme Kuvvetinin Talaş Açısına Göre Değişimi.....	24
Şekil 3.8. Talaşların Sınıflandırılması.....	25
Şekil 4.1. Transdüserler.....	28
Şekil 4.2. Akım, Kesme Kuvveti ve Motorun Dönme Açısı Sinyallerini Alan Sistem	30
Şekil 4.3. Kuvvete Maruz Kalan Yük Hücresinin Şekil Değişimi.....	31
Şekil 4.4. Tel ve Yaprak Tip Gerinim Ölçerler.....	33
Şekil 5.1. Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Parametrelerin Diyagramı.....	39
Şekil 5.2. Takım Uç Yarıçapı ve İlerleme Hızının Pürüzlülüğe Etkisi.....	40
Şekil 5.3. Yüzey Kalitesi İçin Sayısal Değerler	40
Şekil 5.4. Yüzey Pürüzlülük Profili	43
Şekil 5.5. Ortalama Çizgi Konumunun Belirlenmesi.....	45
Şekil 5.6. Zarf Eğrisinin Elde Edilişi	45
Şekil 6.1. Torna Dinamometresinin Solidworks Programında Görünümü	47
Şekil 6.2. Torna Dinamometresinin Solidworks Programındaki Patlatılmış Görüntüsü.....	48
Şekil 6.3. Torna Dinamometresinin Sistem Tasarımı	49

Şekil 6.4. Tornalamada Kullanılacak Dinamometre	50
Şekil 6.5. Tornada Kullanılacak Dinamometrenin Deney Anı	50
Şekil 6.6. Torna Tezgahında Oluşan Kuvvetin Bilgisayara Aktarılması İçin Oluşturulan Pano.....	52
Şekil 6.7. Veri Aktarımı Sağlayan Programın Yazılımı	53
Şekil 6.8. Deneylerde İşlenmiş Alüminyum Numunesi.....	53
Şekil 6.9. Numunelerin İşelenmiş Hallerinin Teknik Resimleri.....	54
Şekil 6.10. Deneylerde Kullanılan CNC Torna Tezgahı.....	55
Şekil 6.11. TİME TR-200 Portatif Ölçme Cihazı Teknik Özellikleri.....	56
Şekil 7.1. 1000 dev/dk – 0,5 mm Talaş Derinliği – 0,1 mm/sn İlerleme Hızı	58
Şekil 7.2. 1500 dev/dk – 0,5 mm Talaş Derinliği – 0,1 mm/sn İlerleme Hızı	58
Şekil 7.3. 2000 dev/dk – 0,5 mm Talaş Derinliği – 0,1 mm/sn İlerleme Hızı	59
Şekil 7.4. 1000 dev/dk – 0,5 mm Talaş Derinliği – 0,1 mm/sn İlerleme Hızı	59
Şekil 7.5. 1000 dev/dk – 1 mm Talaş Derinliği – 0,1 mm/sn İlerleme Hızı	60
Şekil 7.6. 1000 dev/dk – 1,5 mm Talaş Derinliği – 0,1 mm/sn İlerleme Hızı	60
Şekil 7.7. 1000 dev/dk – 0,5 mm Talaş Derinliği – 0,1 mm/sn İlerleme Hızı	61
Şekil 7.8. 1000 dev/dk – 0,5 mm Talaş Derinliği – 0,2 mm/sn İlerleme Hızı	61
Şekil 7.9. 1000 dev/dk – 0,5 mm Talaş Derinliği – 0,3 mm/sn İlerleme Hızı	61
Şekil 7.10. Yüzey Ölçümü yapılan bölgelerin gösterimi	62
Şekil 7.11. Devir sayısındaki artışın yüzey pürüzlülüğüne etkisi	63
Şekil 7.12. Talaş derinliğindeki artışın yüzey pürüzlülüğüne etkisi	63
Şekil 7.13. İlerleme hızındaki artışın yüzey pürüzlülüğüne etkisi	64
Şekil 7.14. Devir sayısındaki artışın talaş şekline ve kesici uca etkisi	64
Şekil 7.15. Talaş derinliğindeki artışın talaş şekline ve kesici uca etkisi	65
Şekil 7.16. İlerleme hızındaki artışın talaş şekline ve kesici uca etkisi	65

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Saf Alüminyumun Özellikleri.....	7
Tablo 2.2. Alüminyum İmalat Şekillerine Göre Mukavemet Özellikleri	8
Tablo 2.3. Alüminyumun Bazı Özelliklerinin Diğer Metallerle karşılaştırılması	9
Tablo 2.4. 5083 Alüminyum Alaşımının Kimyasal Özellikleri.....	13
Tablo 6.1. Tornada Kesme Şartları	54
Tablo 6.2. Takisawa Nex 110 CNC Torna Tezgahı Özellikleri.....	55
Tablo 6.3. Yüzey Pürüzlülük Ölçme Cihazı Teknik Özellikleri.....	56
Tablo 7.1. Devir sayısındaki artışın yüzey pürüzlülüğüne etkisi	62
Tablo 7.2. Talaş derinliğindeki artışın yüzey pürüzlülüğüne etkisi	62
Tablo 7.3. İlerleme hızındaki artışın yüzey pürüzlülüğüne etkisi	62

ÖZET

Anahtar kelimeler: Kesme Kuvveti, Dinamometre, Yüzey Pürüzlülüğü, İşlenebilirlik.

Bu çalışmada cnc torna tezgâhına uyumlu bir dinamometre tasarımı ve imalatı yapılmış olup, tasarlanan dinamometre ile 5000 serisi alüminyumun devir sayısı, talaş derinliği ve ilerleme hızına bağlı olarak elde edilen kesme ve ilerleme kuvveti deneysel olarak incelenmiştir. Tasarlanan dinamometrenin deneyleri doğrulaması amacıyla aynı şartlar ve parametrelerde işlemler tekrarlanıp çıkan deney numunelerinin yüzey pürüzlülükleri de incelenmiştir.

Deney sırasında standart boyda alüminyum numuneleri önce devir sayısı parametleri, ardından talaş derinlikleri, en son ise ilerleme hızı parametreleri değiştirilerek kesme ve ilerleme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülükleri değerleri incelenmiştir. Devir sayısı parametreleri incelenirken 0,5 mm talaş derinliği ve 0,1 mm ilerleme hızı sabit tutularak 1000 dev/dk - 1500 dev/dk – 2000 dev/dk parametrelerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Ardından 1000 dev/dk ve 0,1 mm/sn ilerleme hızı sabit tutularak 0,5 mm - 1 mm - 1,5 mm talaş derinlikleri parametrelerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Son deneylerde ise 1000 dev/dk ve 0,5 mm talaş derinliği sabit tutularak 0,1 mm/sn – 0,2 mm/sn ve 0,3 mm/sn ilerleme hızları parametreleri değiştirilip deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler yapıldığı sırada tüm veriler DasyLab 2016 analiz programı yardımıyla kayıt altına alınmıştır.

Deney sonuçları incelendiğinde devir sayısının artması sonucunda kesme ve ilerleme kuvvetlerinin azaldığı fakat talaş derinliği ve ilerleme hızları arttıkça kesme ve ilerleme kuvvetinin arttığı gözlemlenmiştir. Yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçlarından da alınan değerler bu sonuçları destekler niteliktedir.

DESIGN AND MANUFACTURING A DYNAMOMETER TO MEASURE THE CUTTING FORCE IN A LATHE

SUMMARY

Keywords: Cutting Force, Dinamometer, Surface Roughness, Machinability

In this study, it has been aimed to design and manufacture an appropriate dinamometer which is suitable for a turning lathe. Additionally, cutting forces and feed rate were reviewed for 5000 series aluminium. The surface roughness of parts which were used during testing has been reviewed by repeating the test under the same conditions and parameters so that designed dinamometer can confirm the results of application.

During testing, the parts made of aluminium with standard length were used by changing firstly the parameters of revolution per minute, then cutting depth and finally feed rate. After tests were finished, cutting forces and feed forces were analyzed. The tests were carried out in three steps. In first step, the tests were carried out respectively with the parameters of 1000 rpm, 1500 rpm and 2000 rpm under constant values of 0,5 mm cutting depth and 0,1 mm feed rate. In second step, the tests were carried out respectively with the parameters of 0,5 mm, 1 mm and 1,5 mm cutting depths under constant values of 1000 rpm and 0,1 mm/s feed rate. In last step, the tests were carried out respectively under the parameters of 0,1 mm/s, 0,2 mm/s and 0,3 mm/s feed rates under constant values of 1000 rpm and 0,5 mm cutting depth. All data obtained during tests have been recorded by means of analyzing program DasyLab 2016.

It has been observed that increase in revolution per minute causes decrease in cutting force and feed rate according to the experimental results. On the other hand increase in cutting depth and feed rate causes increase in cutting force and feed rate. Results obtained from measurement of surface roughness support above clarified results.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Sürekli gelişmekte olan toplumda insanın üzerindeki yükün robotlara aktarılması ve hemen hemen tüm alanlarda bilgisayarlardan faydalanılması üretim kalitesini hızlı bir biçimde arttırmıştır. Bu doğrultuda ulaşılan imkânlar ile birlikte çok karmaşık ve hassasiyet derecesi yüksek olan makine parçalarına ihtiyaç duyulmuştur.

Bu kapsamda talaşlı imalat yöntemleriyle imal edilen parçaların maliyetinin düşürülmesi ve kalitesinin arttırılmasına yönelik yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. Bu çalışmaların başında ise kesme kuvvetlerinin tespiti ve analiz edilmesi çok önemli bir yer tutmaktadır.

Bu sebeple imalatın gerçekleştiği tüm alanlarda emniyetli bir çalışma ortamının gerçekleşmesi, imalatı yapılacak olan sistemlerin kaliteli, uzun ömürlü ve daha düşük maliyetli olabilmesi için sisteme etki eden tüm kuvvetlerin hassas olarak ölçülmesi gerekmektedir.

Yapılan bu tez çalışması, var olan kaliteyi daha da arttırmak adına güzel bir örnek teşkil eder.

1.1. Literatür Taraması

Literatürde kuvvet ölçümü için geliştirilen birçok dinamometre bulunmaktadır. Bu dinamometreler genel olarak yük hücresi (load cell) ve gerinim ölçer (strain-gage) esaslı olarak çalışırlar.

1984 yılında Shaw, Cook ve Loeven torna, freze ve taşlama tezgâhlarındaki oluşan kesme kuvvetlerini ölçmek için gerinim ölçer (strain gage) esaslı bir dinamometre

tasarlamış ve imal etmişlerdir. Dört adet sekiz köşeli halka kullanılmış ve gelen kuvvetleri bu halkalarla karşılayarak ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Gerinim ölçerler doğrudan takım üzerinde kullanılmamıştır. Ölçme bölgesini üzerinde taşıyacak bir takım tutucu tasarlanmıştır. Gerinim Ölçerler kesici kenardan belirli bir uzaklığa yerleştirilmiştir (Shaw, 1984).

1986 yılında Karabaylar, Gerinim Ölçer ve komparatör esaslı dinamometreler imal etmişlerdir. Bu dinamometreler ile ölçümler yapmışlar ve bunun sonucunda standartlara uygun testler yapılabileceğini ortaya koymuşlardır (Karabay ve Karabay, 1986).

1987 yılında Aksoy, Ay ve Otmanbölük, gerinim ölçme esasına dayalı bir dinamometre imal etmişlerdir. Bu dinamometre ile torna tezgâhında oluşan kesme kuvvetlerini ölçmüşlerdir. Teorik hesaplarla testler sonucunda elde edilen verilerin çok yakın oluşu dinamometrenin güvenilirliğini arttırmıştır (Aksoy vd., 1987).

1991 yılında Inasaki ve Sukvittayawong, tornalamada oluşan kesme kuvvetlerini ölçmek için KISTLER marka bir dinamometreden yararlanmışlardır. Özellikle deneyi, kesme kuvvetlerine bağlı olarak takım ömrünü tayin etmek için gerçekleştirmişlerdir (Inasaki ve Sukvittayawong, 1991).

1993 yılında Kavlak, normal ve kesme kuvvetlerini ölçmek için bir dinamometre tasarlamıştır. Bu dinamometre ile standartlara uygun ölçümler yapmıştır. Buna rağmen kalibrasyonun kesinliğinden söz edememiştir (Kavlak, 1993).

1995 yılında Hamid ve Ali, KISTLER 9557b tipi bir dinamometre kullanarak kesme kuvvetlerini birçok değişkenden faydalanarak belirlemişlerdir. Takımın iş parçasına temasından sonra belirlenmiş kısa sürelerde geçici dinamik kuvvet davranışı verilerini alarak zaman ve frekans analizleri yapmışlardır (Hamid ve Ali, 1995).

1996 yılında Korkut, gerinim ölçme esasına dayalı bir dinamometre tasarlamış ve imal etmiştir. Kuvvetlerin algılanabilmesi için malzemelerin elastik

deformasyonundan yararlanmıştır. Ölçme köprülerinden elde ettiği gerilim farkları çok küçük olduğundan işlem amplifikatörü kullanması zorunlu olmuştur. Özellikle kesme ve ilerleme kuvvetleri için yeterli ölçümler yapmasına karşın radyal kuvvetlerin ölçülmesi için gerekli olan yükleme sınırlarına girmemiştir. Tasarım, donanım ve yazılımda yer vermesine rağmen sonuçlarda yer vermemiştir (Korkut, 1996).

2006 yılında Özdemir yük hücresi (load cell) esasına dayanan ve tornada kesme kuvvetlerini ölçmek amacı ile bir dinamometre tasarımı ve imalatı yapmıştır. Ölçülen değerler güvenilir olmakla birlikte kalibrasyon konusunda belli sıkıntılar oluşmuştur (Özdemir, 2006).

İmal edilen parçaların yüzey kalitelerinin belirlenmesinde ve bu yüzey kalitelerinin geliştirilmesinde, yüzey pürüzlülüğü önemli rol oynar. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü, aşınma, sürtünme, yorulma dayanımı, ısı iletimi ve yağlama gibi ürün kalitesinin artırılması için gerekli olan fonksiyonel karakteristik özellikleri etkilemektedir. Parçanın yüzey pürüzlülüğü ne kadar az ise yüzey kalitesi o kadar yüksektir. İşlenmiş parça yüzeylerinin tribolojik özellikleri, yüzey dokusundan birinci derecede etkilenmektedir. Yüzey pürüzlülüğü sadece tribolojinin geleneksel konuları olan aşınma, sürtünme ve yağlama konularında değil aynı zamanda sızdırmazlık, elektrik, ısı iletimi, hidrodinamik gibi farklı alanlarda da dikkat edilmesi gereken önemli bir faktördür (Demir, Ulaş ve Zeyneli 2009).

İş parçasının istenilen kalitede üretilerek malzeme israfının önlenip maliyetleri düşürmek ve kesici takımın ömrünün uzun olabilmesi için kesme şartlarının iyi belirlenmesi gerekmektedir. Bunu gerçekleştirebilmek için bilim adamları sürekli olarak kesici takımın ömrüne etki eden faktörler ile iş parçasının kalitesinin belirlenmesinde etkili olan faktörleri araştırmaktadır. Uzun zamandan beri yapılan bu çalışmalar göstermektedir ki; Tornalamada iş parçası yüzey kalitesini ve kesici takım ömrünü etkileyen birçok durum ve etken vardır. Üretilen ürünün kalitesi ve kesici takımın ömrünü etkileyen etkenler; ilerleme hızı, kesme hızı, kesici takımın geometrik özellikleri, kesme derinliği, kesici takımın kaplaması, iş parçası ve kesici

takım rijitliği gibi faktörler hem üretilen ürünün yüzey kalitesini hemde kesici takımın ömrünü arttırmaktadır. Aynı zamanda maliyetleri düşürüp enerji sarfiyatını azaltmaktadır. Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda doğru parametrelerin seçilmesi kalite ve maliyet açısından oldukça önemlidir. (Ay ve Kalyon 2011).

Bu tezde tasarlanmış ve imalatı yapılmış olan dinamometrelerde kuvvetleri ölçmek için gerinim ölçer (strain-gage) esas alınmıştır. Buradaki amaç, düşük maliyetlerde olabildiğince yüksek verimli ürünler ortaya çıkarmaktır.

Yapılan literatür taramasında tornalama işlemlerinde kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü ile ilgili pek çok çalışmanın yapıldığı ve halen yapılmakta olduğu gözlenmiştir. Ancak deney malzemesi olarak 5083 alüminyumun fiziksel ve mekaniksel özellikleriyle ilgili çalışma yapılmasına rağmen güvenilir bir dinamometre tasarımı ve imalatı yapıp bu dinamometre ile malzemenin işlenebilirliğiyle ilgili çalışmaya rastlanmamıştır. Bu amaçla ”Torna tezgâhlarında kesme kuvvetlerinin ölçümü için dinamometre tasarımı ve imalatı” adlı çalışmanın farklı kesme parametrelerinde işlenmesi ile oluşan yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri incelenerek literatüre katkıda bulunabileceğı düşünülmüştür.

BÖLÜM 2. ALÜMİNYUM

2.1. Alüminyumun Tarihçesi

Eski tarihlerde insanlar, alüminyum tuzlarını, kan durdurucu olarak ve boyalarında renklerini sabitleştirmede kullanmışlardır. Günümüzde alüminyum hala tıpta kan durdurucu ve damar büzücü olarak kullanılmaktadır. 1827 yılında Friedrich Wöhler susuz alüminyum klorünü potasyum ile karıştırarak alüminyumı ayırtıran ilk kişi olmuştur; fakat alüminyum metalini 1825’lerde saf olmayan bir formda ilk olarak Danimarkalı bir fizikçi ve kimyacı olan Hans Christian Oersted elde etmiştir. Bu yüzden literatürde ve kaynaklarda alüminyumı ilk bulan kişi olarak Oersted’in adı geçmektedir. 1846 tarihinde Fransız Henri Saint-Claire Deville ise Wöhler’in metodunu, potasyuma göre daha az maliyetli olan sodium kullanarak geliştirmiştir (Şahin, 2001).

Günümüzde alüminyum elde etmede bütün dünyada kullanılan yöntem Hall-Heroult yöntemidir. Bu yöntemi 1886 yılında Amerikalı Charles Martin Hall alüminyum elektrolitik bir işlemle elde etmesiyle ortaya çıkmıştır ve o yıl patent başvurusu yapmıştır. Bu buluştan tamamen habersiz Fransız Paul Heroult’da aynı tekniği Avrupa’da geliştirmiştir. Bu yüzden bu yönteme Hall-Heroult adı verilmiştir. Üretimi kolaylaştıkça maliyeti ucuzlayan alüminyum metali ilk zamanlar pahalıya mal olmuştur. Öyle ki, Amerika'daki Washington anıtının zirvesinin alüminyumdan yapılması kararlaştırılmış ve o tarihte yaklaşık 30 gram alüminyumun maliyeti o projede çalışan bir işçinin günlük ücretinin iki katı değerindeydi.

2.2. Alüminyumun Özellikleri

Alüminyum hafif metaller grubunda yer alır ve günümüzde teknik anlamda en çok kullanılan metallerden biridir. Doğada bileşikler halinde bulunur ve yerkabuğunun % 8'ini oluşturur. Alüminyum; magnezyum, potasyum, lityum ve berilyum elementleri ile birlikte hafif metaller grubunda yer alır. Özgül ağırlığı 3.8 gr/cm³ den küçük olan elementler hafif metaller grubunda yer alır. Alüminyum ise hafiflik sıralamasında magnezyum ve berilyumdan sonra gelir. Hafif metaller arasında alüminyum ve magnezyum en önemlileridir. Ayrıca alaşımlarında mukavemeti önemli miktarda artarken yoğunluğu az miktarda artar. Yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, korozyona dayanıklılığı, imal kolaylığı ve diğer metaller ile yüksek çekme mukavemetine sahip alaşımlar oluşturabilmesi alüminyumun önemini gittikçe artırmaktadır. Isı ve ışığı çok iyi yansıtmakta olup, manyetik değildir (Eruslu vd., 2000).

Alüminyumun fiziksel özellikleri diğer elementlerin çok az ilavesinden bile büyük oranda etkilenir. Tablo 2.1.'de % 99,95 saflıktaki alüminyumun özellikleri bulunmaktadır.

Tablo 2.1. Saf alüminyumun özellikleri (Sun, 1998).

Fiziksel Özellik	Değeri
Atom numarası	13
Atom ağırlığı	26,97 gr/mol
Kristal yapısı yüzey merkezli kübik (YMK) yoğunluğu	2,7 gr/cm ³
Ergime noktası	660 °C
Yeniden kristalleşme sıcaklığı	150 °C–300°C
Buharlaşma noktası	2450 °C
Katı halden sıvı hale geçerken meydana gelen hacim büyümesi (%)	6,5
Özgül ısısı	0,224 cal/gr (100°C)
Elastisite modülü	72x10 ³ MPa
Poisson oranı	0,33
Kayma modülü	27x10 ³ MPa
Çekme mukavemeti	40-90 MPa
Akma mukavemeti	10-30 MPa
Kopma uzaması %	30-40

Alüminyumun atom numarası 13'tür ve periyodik cetvelin üçüncü grubunda yer alır. Atom ağırlığı 26,97 olan alüminyumun atom çapı 1,43 Å°, iyon çapı ise 0,86 Å° dır. Metaller electron dizilişlerine bağlı olarak bileşik oluştururlar. Alüminyumda aynı şekilde bileşik oluşturur. Elektron yapısı incelendiğinde 1s yörüngesinde iki elektronla doymuş K seviyesi e 2s yörüngesinde iki elektronla doymuş L seviyesi ile karakterize edilir ve atomun dış M seviyesinde üç elektron bulunur. İki 3s ve biri 3p yörüngesindedir. Bu sebeple alüminyumun değeri üçtür (Yılmaz, 2002).

Alüminyum alaşımlarından bazıları yumuşak çelikle kıyaslanabilecek kadar sağlamdır. Alüminyum sıfır derecenin altında da şekil değiştirme kabiliyetine sahiptir (Eruslu vd, 2000). Alüminyum kolayca preslenebilir, bükülüp uzatılıp rulo haline getirilebilir, ergitilip dökülebilir, haddelenebilir, preslenebilir ve çekilebilir. Ayrıca ısı altında rahatlıkla işlenip şekillenidirilebilir, çekiçle dövülebilir veya uygun

bir kalıptan çekilerek istenilen şekiller verilebilir (Kaplan, 1990).

Alüminyum ve alaşımlarının mukavemet özellikleri malzemenin saflığına ve imal edilme yöntemlerine göre farklılıklar gösterir. Alüminyumun imalat sekline göre mukavemet özellikleri Tablo 2.2.'de görülmektedir.

Tablo 2.2. Alüminyumun imalat şekillerine göre mukavemet özellikleri.

	Döküm Al.	Hadde Al.	Is.İş.Tb.Tut.Al.
Çekme Muk., (kg/ mm ²)	9-12	18-28	7-11
Akma mukç, (kg/mm ²)	3-4	16-24	5-11
Uzama,(%)	18-25	3-5	30-40
Büzülme,(%)	40-55	60-85	80-95
Sertlik (Brinell, BSD)	24-32	45-60	80-95

Alüminyum dinamik dayanıklılığı ve statik dayanıklılığı saf olma derecesine göre değişir. Saf halde dinamik dayanıklılığı, statik dayanıklılığının 0,4-0,5 katıdır (Eruslu vd., 2000).

Alüminyum havada oksijen ile temas etmesi halinde, çok kısa süre içerisinde oksijenle birleşerek (Al_2O_3) alüminyum oksit oluşturur. Bu birleşmenin neticesinde bütün yüzeyi renkli alümin tabakası kaplanır. Bu özellik alüminyumun korozyona karşı mukavemetini arttırmaktadır (Eruslu vd., 2000). Oluşan bu oksit tabakası su ile yıkayarak çıkartılamaz. Alüminyumun soğuk şekil değiştirmesi korozyon mukavemetini düşürmektedir. Alüminyumun korozyon mukavemetini düşüren bir diğer etken ise saflık derecesinin azalmasıdır. Alüminyuma eklenen her bir element korozyona karşı olan mukavemeti azaltmaktadır (Eruslu vd., 2000).

Alüminyum yumuşak bir metaldir ve demirden de üç kat daha hafiftir. Diğer metallerin katılmasıyla alaşımlandırıldığında, yoğunluğu az miktarda artmasına karşın mekanik dayanımında önemli oranda artışlar meydana gelmektedir. Magnezyum ve berilyumdan sonra en hafif metal olan alüminyumun yoğunluğu $2,7g/cm^3$ 'dür. Hem sıvı hem de katı alüminyumun yoğunluğu artan saflık derecesi ile

orantılı olarak düşmektedir (Yılmaz, 2002).

Alüminyumun en önemli özelliklerinden biride elektriği iyi iletmesidir. Alüminyumun iletkenliği bakırın iletkenliğinin %60'ı kadardır, fakat alüminyumun yoğunluğu düşük olduğundan dolayı birim kütleye düşen iletkenlikte bakırdan daha yüksek iletkenliğe sahiptir (Yılmaz, 2002). Alüminyumun ısı iletkenliği saflık derecesine bağlı olarak artar. Bu %99,9 alüminyumlu bir metal için 200°C'de 0,5 cal/cms°C ve %99,7 alüminyumlu bir metal için 0,531 cal/cms°C'dir (Yılmaz, 2002). Alüminyumun en önemli ve yaygın olarak kullanılmasını sağlayan özelliklerinden birisi de korozyona karşı yüksek dirence sahip olmasıdır. Kimya ve gıda sanayinde, inşaat sektöründe ve ev eşyalarında bu denli kullanılmasının başlıca nedeni alüminyumun bu özelliğidir. En önemli mekanik özelliği esneklik katsayısıdır. Alüminyumun esneklik katsayısının değeri çeliğinkinin 1/3'üne eşittir. Bu bakımdan çelik yerine alüminyum kullanılacak olan alanlarda esnemenin çeliğe göre üç kat daha fazla olacağı göz önüne alınmalıdır. Alüminyumun bazı özellikleri diğer metallerle karşılaştırmalı olarak Tablo 2.3.'de verilmiştir (Yılmaz, 2002).

Özellik	Al	Cu	Fe	Zn	Mg
Özgül ağırlık (g / cm ³)	2,7	8,94	7,87	4,1	1,74
Elektrik direnci(Ohm.mm ² /2).10 ²	2,66	1,68	9,8	6,0	4,46
Isı iletkenliği (cal/ cm ² /cm°C	0,52	0,92	0,19	0,27	0,37
Isıl genleşme katsayısı (mm/mm°C).).10 ⁻⁵	24	16,7	11,9	33	25,7
Ergime sıcaklığı °C	660	1083	1535	420	651
Yanma ısısı (kcal/kg)	6970	-	1600	1270	6000
Uzama (%)	43	50	48	-	-
Sertlik (BHN)	19	25	70	-	-

Tablo 2.3. Alüminyumun bazı özelliklerinin diğer metallerle karşılaştırılması (Yılmaz, 2002).

2.2.1. Alüminyum alaşımlarının işlenebilirliği

Bir malzemenin istenilen boyutlarda, istenilen biçimde ve yüzey kalitesinde işlenmesinin zorluğunu ve kolaylığını gösteren kavrama işlenebilirlik denir (Stephenson ve Agapiou, 2006; Boothroyd ve Knight, 2006). Bir malzemenin işlenebilirliğini etkileyen en önemli faktörler mekanik özellikleri ve işleme parametreleridir. İşlenebilirlik malzemenin işlenmesi sırasında oluşan talaş şekillerini, yüzey pürüzlülüklerini ve kesme kuvvetlerini etkilemektedir (Kalpakjian ve Schmid, 2010; Grover, 2010; Black ve Kosher, 2008; Grzesik, 2008).

İşlenebilirlik terimi talaşlı işlemlerde de yaygın olarak kullanılmasına rağmen, tek boyutlu bir özellik olmayıp karmaşık boyutların oluşturduğu bir sistem özelliğidir (Şahin, 2000). Kesici takım ve iş parçası malzemelerinin, işlem ortamı ve tezgâh ile oluşturduğu talaşlı üretim işlemi, kesme koşullarıyla birlikte iş parçası yüzey kalitesini ve maliyet faktörünü göz önünde tutarak işlenebilirliği belirler (Şahin, 2000). İyi işlenebilir bir malzemenin talaşlı işlenmesinde kısa sürede yüksek talaş hacmi ile işlenmesi ve yeni oluşan yüzeyin düşük yüzey pürüzlülüğü göstermesi dolayısıyla kaliteli olması beklenir. Aynı zamanda takım malzemesinin işlem esnasında az aşınması ve böylece uzun ömürlü olması beklenir. İyi işlenebilirlik daima maliyet faktörünü göz önünde tutarak talaşlı işlemin ekonomik olmasını ön görür. İşlenebilirlik adı altında aranan nitelikler, genelde karşıt karakterde olup ilgili kesme operasyonuna bağlı kalınarak optimum verim alınacak şekilde belirlenir (Şahin, 2000). İşlenebilirlik için önemli kriterler şunlardır:

- Takım ömrü: Standart kesme koşulları altında, takımın kabul edilebilir bir miktar aşınmasına kadar geçen süre veya bu süre içerisinde kaldırılan talaş hacmi (V_t).
- Kesme kuvvetleri: Talaşlı işlem sürecinde takım üzerine etkili olan kuvvetlerdir (F , F_c , F_t , F_s , F_n)
- Yüzey kalitesi: Talaşlı işlem sonrası iş parçası malzemesinin yüzey pürüzlülüğü (R_a , R_y , R_z)
- Talaş oluşumu: Talaşlı işlem esnasında iş parçası malzemesinden alınan talaş şekli.

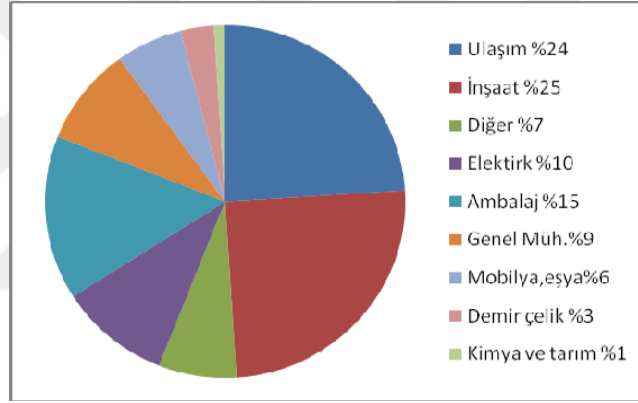
Saf alüminyumun işlenmesi, alüminyum alaşımlarının işlenmesinden daha zordur. Saf alüminyumun işlenirken uzun tel tel talaşlar çıkar ve bunların aşındırıcı özelliği nedeniyle yüzey kalitesinin kötüleşmesine neden olur (Şahin,2000). Çoğu alüminyum alaşımları, yüksek kesme hızlarında işlendiklerinde, iyi yüzey kalitesi ve uzun takım ömrü verirler. Genellikle, sertleşmiş ve temperlenmiş alaşımlar, tavllanmış alaşımlardan daha kolay işlenir ve daha iyi yüzey meydana getirirler (Şahin,2000). Silisyum içeren alaşımları işlemek daha zordur çünkü talaş kaymadan ziyade, yırtılır ve bu nedenle kötü yüzey elde edilir. Genelde, alüminyum alaşımlarını işlemek için fazla talaş derinliği ve ilerleme miktarıyla soğutma sıvısı da kullanılır. Uzun takım ömrü ve daha iyi yüzey kalitesi elde etmek için tornalama, frezeleme ve delme işlemleri yüksek hızlarda yapılır (Şahin,2000).

Al alaşımlarının işlenmesinde genellikle kesme kuvvetleri düşüktür, kesme hızı arttırıldığında ise kesme kuvvetleri az miktarda düşmektedir. Ancak düşük hızlarda saf alüminyum işlendiğinde daha yüksek kesme kuvveti meydana gelmektedir. Takım talaş ara yüzeyi temas alanı çok büyük olduğunda, yüksek ilerleme kuvveti (F_f) düşük kayma düzlemi açısına ve çok kalın talaşların oluşmasına yol açmaktadır. Bu da, yüksek kesme kuvveti (F_c) ve fazla güç sarfıyatı ortaya çıkmasına neden olur (Şahin, 2000). Bu etki, alaşım yaparak veya soğuk çekme ile özellikle düşük hızlarda, azaltılır. Genellikle, çoğu alüminyum alaşımlarının (döküm ve çekme alaşımlar), sahip olduğu düşük kayma dayanımlarına rağmen işlenmesi saf alüminyumdan daha kolaydır (Şahin, 2000).

2.2.2. Alüminyum ve alaşımlarının kullanım alanları

Gün geçtikçe karmaşık hale gelen üretim yöntemleri, hızla değişen tüketici talepleri, hızla artan nüfus ve doğal enerji kaynaklarının tükenme tehlikesiyle birlikte, insanoğlu birçok sektörde şimdiye kadar kullanılmayan malzemeler ve üretim yöntemlerini kullanmaya mecbur kalmıştır. Alüminyum alaşımları endüstriyel alanda kullanılmaya başlama tarihi yeni olmasına rağmen üretim alanında ve sanayide hızlı bir şekilde yer almıştır (Dündar, 2003).

Alüminyum ve alaşımları rekabet etmek zorunda olduğu geleneksel malzemeler ve imalat yöntemleriyle kıyaslamada farklı ölçütlere de ihtiyaç duymaktadır. Spesifik mukavemet, spesifik rijitlik ve şekillendirme esnasında sergilediği süreksiz akma gibi kavramlarla ifade edildiğinde geleneksel malzemelere kıyasla alüminyum alaşımları eşdeğer, kimi zaman da daha üstün performans sergilemektedir. Alüminyumun bu özellikleri otomotiv ve imalat sektörü için tercih sebebi olmaktadır. Taşımacılık sektöründe hafifliğine bağlı olarak yakıt tasarrufu sağlayıp maliyetlerin azaltılması, ulusal ve uluslararası platformlarda taşıt araçlarının emisyon miktarına getirilen düzenlemeler ile taşımacılık sektörü için alüminyum en iyi alternatif malzeme haline getirmiştir (Dündar, 2003). Şekil 2.1.'de sektörlere göre kullanım oranları verilmiştir.



Şekil 2.1. Alüminyum alaşımlarının kullanım alanları ve oranları (Yılmaz, 2003).

Hafif bir metal alüminyum bu özelliği sebebiyle otomotiv sektöründe yoğun şekilde kullanılmakta ve kullanımı gün geçtikçe artış göstermektedir. Otomobil sanayisinde motor parçalarının, gövde saclarının, radyöterlerin ve yapısal parçaların üretiminde alüminyum kullanılmaktadır. Gemi sanayinde gemi gövdesinde ve parçalarının üretiminde, tren ulaşım sisteminde yük taşıma ve yolcu kompartımanlarının yapımında ve uçaklarda alüminyumdan faydalanılır. Yeni kullanım sahası enerjinin gelecekte daha da değerli olacağı göz önünde bulundurulduğunda alüminyum piller geniş bir uygulama alanı bulacaktır. Alüminyum- sülfür pilleri bu kullanım alanlarının ilk örneklerini oluşturmaktadır. Bu piller ile 250 Wh/kg verimliliğe kadar çıkmak mümkün olmaktadır. Başka bir örnek olarak da alüminyum hava-yakıt pilleri gösterilebilir (Yılmaz, 2003).

Alüminyum alaşımlarının estetik amaçlı uygulamaları inşaat sektöründe diğer sektörlerdeki uygulamalara göre daha eski bir kullanım alanine sahiptir. İnşaat sektöründe kullanılan alüminyum ve alaşımları yüksek teknolojiye gerek duymadan kullanılabilmiştir fakat kullanım yerine göre alüminyumun mukavemet ve korozyon özelliklerinin ve çoğu zaman bu iki özelliğin bir arada kullanılmasının istenmesi durumunda alüminyum sektörü, üretim metodlarında ve imalat teknolojilerinde yeniden çalışmalar yapmak zorunda kalmış ve çalışmalar sonucunda hem alaşımlarda gelişme hemde imalat yöntemlerinde gelişme meydana gelmiştir (Dündar, 2003).

Deneyisel çalışmada kullanılan 5083 serisi alüminyum alaşımının son yıllarda kullanım alanı gittikçe artan alüminyum alaşımlarındandır. Yumuşak temperlerde şekillendirme kabiliyetleri yüksek olan 5083 serisi alüminyumun deniz atmosferinde, korozyona karşı yüksek direnç, düşük ve yüksek sıcaklıklara karşıda dayanıklılığı çok yüksektir. Hafiflik, çok iyi kaynak yapılabilme ve balistik özellikleri sayesinde bu alaşım çok değişik alanlarda yaygın olarak kullanılmasına imkan sağlar. Alüminyum 5083 alaşımının kimyasal analizi Tablo 2.4.'te verilmiştir.

Tablo 2.4. 5083 Alüminyum Alaşımının Kimyasal Özellikleri

	Mg	Mn	Cu	Si	Zn	Fe	Al
AA5083	4.7	0.86	0.04	0.09	0.21	0.05	Bal

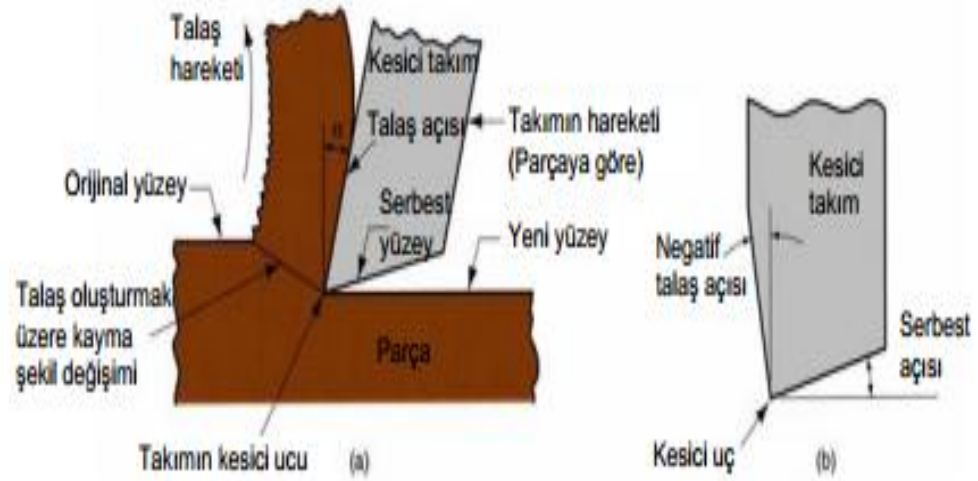
BÖLÜM 3. TALAŞLI İMALAT VE KESME KUVVETİ

Endüstriyel makine parçalarının birçoğu son kullanım formuna talaşlı imalatla işlenerek getirilmektedir. Talaşlı imalat işleminde iş parçasını istenilen geometriye getirmek için, hammadde formu ve istenilen geometriye bağlı olarak, üzerindeki fazlalıklar uygun takım tezgâhı, kesici takım ve kesme parametreleri kullanılarak alınır. Talaş kaldırmak suretiyle, istenilen ölçü, tolerans ve yüzey kalitesinde üretilirler. Uzay ve havacılık, otomotiv ve kalıp gibi endüstriyel alanlarda çoğu ürüne son şekil, talaşlı imalat işlemleriyle verilir (Köksal, 2000).

Talaşlı imalat işleminde kesme hareketi, iş parçasının kesici takım önündeki plastik deformasyonu ve deforme olan katmanın talaşa dönüşmesiyle gerçekleşir. Bu yöntem genellikle metallere şekil vermek için kullanılsada diğer malzemelerde bu yöntemle şekillendirilebilir (De Garmo, 1997).

3.1. Talaş Kaldırma Mekaniği

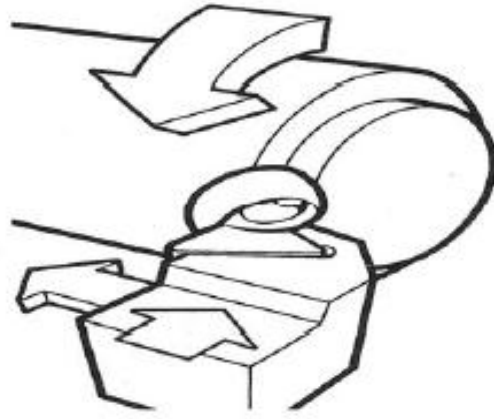
Talaş kaldırma; malzemeye belirli bir şekil, boyut ve yüzey kalitesine sahip bir parça oluşturmak için kesici takımlarla bir güç uygulanarak iş parçası üzerinden tabaka şeklinde malzeme kaldırma işlemidir (Şekil 3.1.). Kesici takımla güç uygulayarak kaldırılan tabakaya “talaş” denilir. Talaş kaldırmanın temeli plastik şekil değiştirmeye dayanan sürtünme, ısı oluşumu, talaşın oluşumu, işlenen parçanın yüzey bütünlüğü, takım ucunun aşınmasında içine alan karmaşık bir fiziksel olaydır. Malzemenin üzerinden belirli bir talaş kaldırabilmek için kesici takıma uygulanacak olan kuvvetin yeterli ve kesici takım malzemesinin işlenen parça malzemesinden daha sert olup malzemeye nüfuz etmesiyle gerçekleşir (Akkurt, 1996).



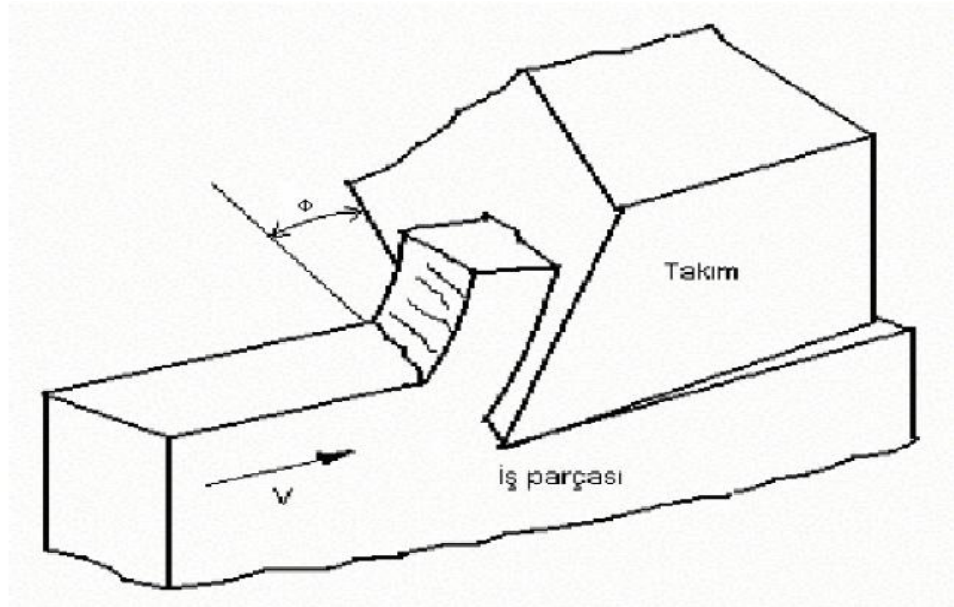
Şekil 3.1. (a) Talaş Kaldırma İşleminin Kesit Görünüşü, (b) Negatif Talaş Açısıyla Takım (Vural, 2012)

3.2. Tornalama

Belirli geometrik uç formlarıyla kesici kenarları olan kesici takımlarla, aynaya bağlanarak dönen iş parçasından dairesel olarak talaş kaldırma işlemine “tornalama” denir. İş parçası genel olarak aynaya bağlanarak dönme hareketi uygulanır. Tornalama işlemleri, klasik olarak bilinen manuel torna tezgâhlarında veya seri işlerde kullanılan CNC torna tezgâhlarında yapılmaktadır. Tornalama Şekil 3.2.’de gösterildiği gibi silindirik veya silindirik çaplı parçalara uygulanır. Torna tezgahlarında yapılabilecek işler; iç ve dış tornalama, profil tornalama, alın tornalama diş çekme, kanal açma, konik tornalamadır. Bunun yanı sıra bu tezgâhlarda parça kesme işlemleri, kavisli ve açılı pah kırma işlemleri, delik işleme gibi işlemlerde yapılabilmektedir.



Şekil 3.2. Kesici Uç Yardımı ile Tornalama İşlemi (Çakır, 2000).



Şekil 3.3. Eğik Kesmenin Şematik Görünümü (Korkut, 1996).

3.3. Talaş Kaldırmaya Etki Eden Faktörler

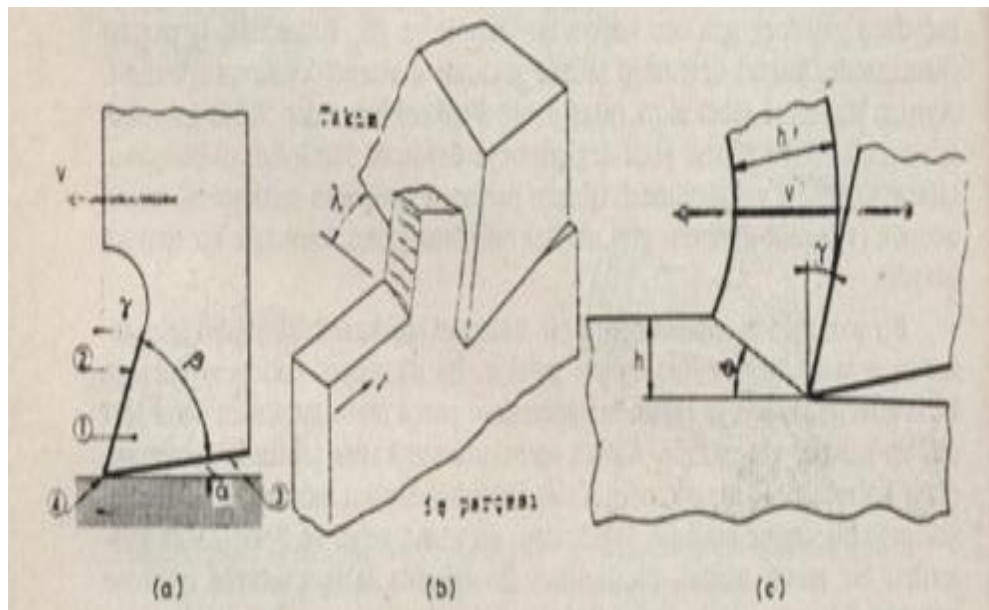
3.3.1. Takım geometrisi

Tornalama işleminde kullanılan takımlar (kalemler) tek ağızlı takımlardır. Torna kalemleri, sap ve kesici kısımdan meydana gelir. Kesici kısım; talaş yüzeyi, serbest yüzeyler, ana ağız, yan ağız ve uçtan oluşur. Sapın önemli olan yüzeyi, oturma yüzeyidir. Talaş yüzeyi, parçadan kaldırılan talaşın aktığı yüzeydir. Bazı hallerde bu

yüzeyin ağza paralel olan tarafına açı verilir, açı verilen bu yüzeye talaş yüzeyinin eğik kenarı denilir (Akkurt, 1996).

Talaşın işlenmekte olan iş parçasından ayrılması esasen mekanik bir kopma işlemidir; Bu mekanik kopma işlemi burda kesme şeklinde gerçekleşmektedir. Kopma işlemi genel olarak sünek ve gevrek olmak üzere iki şekilde incelenir. Sünek bir şekilde gerçekleşen kopmada malzeme kopmadan önce büyük ölçüde plastik şekil değiştirir. Talaşı bu şekilde kopan malzemelere sünek malzemeler denir. Gevrek kopma işleminde ise malzeme kopmadan önce ya hiç plastik şekil değiştirmez ya da çok az plastik şekil değiştirir. Bu malzemelere ise gevrek malzemeler denir.

Buna göre işlenen malzemelerin cinsine göre talaş kaldırma işlemi şu şekilde gerçekleşir; işlenen malzeme sünek ise kesici takımın kesme ağzının önünde bir plastik şekil değiştirme bölgesi oluşur ve bu bölgede malzeme talaş biçiminde sürekli bir şekilde iş parçasından ayrılmakta ve talaşlarda kopma meydana gelmektedir. Bununla beraber konuyu teorik olarak daha da basitleştirmek adına talaşın malzemeden ayrılmasının belirli bir bölge içinde değil Şekil 3.4.'te olduğu gibi kesme düzlemi adı verilen bir düzlemden gerçekleştiği kabul edilir. Burada kesici takımın kesme ağzının önünde plastik şekil değiştirme bölgesi oluşur ve malzeme kesik kesik talaş biçiminde iş parçasından ayrılır.



Şekil 3.4. Takım Modeli ve Ortogonal Kesme (Akkurt, 1999).

3.3.2. Kesme hızı

Talaş kaldırma sırasında, kesici takımın dönen malzemenin üzerinden dakikada metre cinsinden aldığı yola kesme hızı denir. Kesme hızı tornalama ile talaş kaldırma işleminde (Denklem 1.1)

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} (m/dak) \quad (1.1)$$

Olarak ifade edilir. Yukarıdaki formülde; V : Kesme hızı (m/dak), D : İşlenecek malzemenin çapı (mm), n : İşlenecek malzemenin işlenmesi için kullanılan tezgaha verilmesi gereken devir sayısını (dev/dak) göstermektedir.

3.3.3. Talaş derinliği ve ilerleme miktarı

Bitirilmemiş iş parçasından kaldırılan malzeme miktarına talaş kaldırma miktarı adı verilir, dakikada mm^3/dak veya cm^3/dak cinsinden ölçülür. Herhangi bir değişken değiştirildiği zaman bunun sonucunda talaş kaldırma miktarıda değişir. Örneğin talaş derinliğini veya kesme hızını %30 arttırsak talaş kaldırma miktarıda %30 oranında artar; fakat kesici takımın ömrü azalır. Her bir değişkendeki değişiklik, kesici takım ömrüne farklı olarak yansır.

En optimum talaş derinliği ve ilerleme miktarı düşünüldüğünde, mümkün olan en derin talaş ve mümkün olan en düşük ilerleme miktarı seçilir. Çünkü bu parametreler kesici takım ömrüne kesme hızından daha az etkiye sahip olduğundan ömrünü daha az etkiye sahip olduğundan ömrünü daha az oranda azaltıcıdır. Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda optimum ilerleme miktarı, talaş kaldırma miktarını ve kesici takım ömrünü dengelemelidir (Şahin, 1999).

3.3.4. Titreşimin etkisi

Kesici takım ile işlenen iş parçası arasında oluşan sürekli titreşimin hem yüzey kalitesine hemde kesici takım ömrüne olumsuz bir etkisi vardır. Talaş kaldırma sırasında oluşan bu titreşimler ikiye ayrılır; zorlanmış titreşim ve kendiliğinden oluşan titreşimlerdir. Tezgahın mekaniksel olan hareketlerinden kaynaklanan titreşim zorlanmış titreşimdir. Kendiliğinden doğan titreşim ise talaş kaldırma işlemi sırasında ortaya çıkan titreşimdir. Kendiliğinden doğan titreşim genel olarak kesme hızının artmasından ve kesme kuvvetinin azalmasından kaynaklanır. Bu titreşim türünün en olumsuz tarafı işlenen parça yüzeyinde titreşimden kaynaklı takım izleri bırakır ve bu izlere ‘tırlama’ adı verilir. Bu titreşimden kaynaklanıp oluşan tırlamanın yüzey kalitesine ve yüzey pürüzlülüğüne olumsuz etkisi vardır. Herhangi bir kesme işleminde tırlama veya titreşim olması iş parçası yüzeyinde kuvvetli dalgalanmalar yaratır. Tırlama olduğu zaman tezgahta farklı bir ses oluşur bu durum herhangi bir operatör tarafından da anlaşılabilir. Oluşan tüm bu durumları önleyebilmek ve daha sağlıklı bir talaş kaldırma işlemi yapabilmek için aşağıdaki faktörler dikkate alınmalıdır. Bunlar kısaca şöyle özetlenebilir:

- İş parçası bağlama mesafesi mümkün olduğunca en aza indirilmeli,
- İş parçası dengeli tespit edilmeli ve kesici takım altına altlıklar konulmalı,
- Rijit tezgâh ve takımlar kullanılmalı,
- Tezgâhın hareket eden elemanlar arasındaki boşluklar en aza indirilmeli,
- Kesme şartları (kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği) optimize edilmeli ve kesmede oluşan kuvvetleri azaltmak için talaş derinliği ve ilerleme miktarı azaltılmalı,
- Kesme işlemi gerçekleşirken oluşan kuvveti azaltmak için kesici takım formunda gerekli tasarımsal değişiklikler yapılmalı ve aşınmış kesici uçlar ile talaş kaldırma işlemine devam edilmemelidir (Şahin, 1999).

3.3.5. Kesme ve tezgâh gücü

Tornalama işleminde sadece kesme kuvveti için gereken güç önemlidir. Bu güç, F_c (Newton) olarak ve V (m/dak) alınır;

$$P_s = \frac{F_c \cdot V}{60 \cdot 1000} \text{ (kW)} \quad (1.2)$$

Bağıntısı ile hesaplanır (Denklem 1.2).

Kesme ve ilerleme gücü motordan parçaya tezgâhın kinematik sistemi ile iletilir. Kinematik sistemin verimi η_m ile gösterilirse, tezgâhın motor gücü (Denklem 1.3);

$$P_m = \frac{P_s}{\eta_m} \quad (1.3)$$

Olarak hesaplanır. Burada ilerleme için gereken güç, kesme gücüne göre çok küçük (%5 civarında) olduğundan ihmal edilir (Akkurt, 1996).

3.3.6. Takım malzemesi, aşınması ve ömrü

Talaşlı imalattaki gelişmeler, kesme ve ilerleme hızlarını artırması, üretimde değişik malzemelerin kullanılması, talaşlı üretim tezgâhlarının gelişimi kesici takımlardan istenen özelliklerinde artmasına yol açmıştır. Bu bakımdan kesici takımlardan istenen özellikler:

- Uzun ömürlü olması,
- İstenen işleme kalitesini ve ölçüsünü sağlaması,
- Parça başına takım maliyetinin uygun olması,
- Kolay temin edilebilir olması, olarak sıralanabilir (Avuncan, 1996).
- Değişik kesme kuvvetleri ve zorlanmalara maruz kalan kesici takımlarda aranan özellikler:
- Yüksek sertlik,

- Aşınmaya karşı direnci yüksek olmalıdır,
- Yüksek tokluk (yüksek kırılma mukavemeti),
- Yüksek sıcak sertlik,
- Kütlesel deformasyona direnç gösterebilmek için yüksek mukavemet,
- Yüksek kimyasal kararlılık,
- Uygun ısı özellikler,
- Tutarlı takım ömrü,
- Doğru geometri ve iyi yüzey kalitesi, olarak sıralanabilir. Malzeme ana grupları mukavemet derecelerine göre:
- Takım çelikleri,
- Yüksek hız çelikleri (HSS),
- Dökme karbürler (Dökme kobalt alaşımlar),
- Sinter karbürler,
- Sermetler (Seramik-metaller),
- Kaplanmış karbürler,
- Seramikler,
- Kübik kristal bor nitrür,
- Elmaslar, olarak sıralanabilir (Çiğdem, 1996).

Takımın aşınması: Takım ve parça malzemesi, takım ve talaş geometrisi, kesme hızı, kesme sıvısı gibi birçok faktöre bağlıdır. Takım genelde şu olaylar meydana geldiğinde aşınmış sayılır: Serbest yüzeyde aşınma bölgesinin belirli bir boyuta ulaşması, talaş yüzeyinde krater veya başka aşınma çeşitlerinin meydana gelmesi, kesme ağzından küçük parçacıkların kopması ve yüzey kalitesinin bozulması (Akkurt, 1996).

Takım ömrü: Esasen takım ömrü aşınma olayına bağlı olduğundan, aşınmayı etkileyen parça ve takım malzemesi, takım geometrisi, talaş geometrisi, kesme hızı, kesme sıvısı gibi faktörler takım ömrünü etkilerler. Bunların en önemlisi kesme hızının etkisidir. Bu hususta Taylor tarafından yapılan deneylere göre, takım ömrü (T^n) ile kesme hızı (V) arasında Taylor bağıntısı olarak bilinen eşitlik (Denklem 1.4) aşağıdaki gibidir.

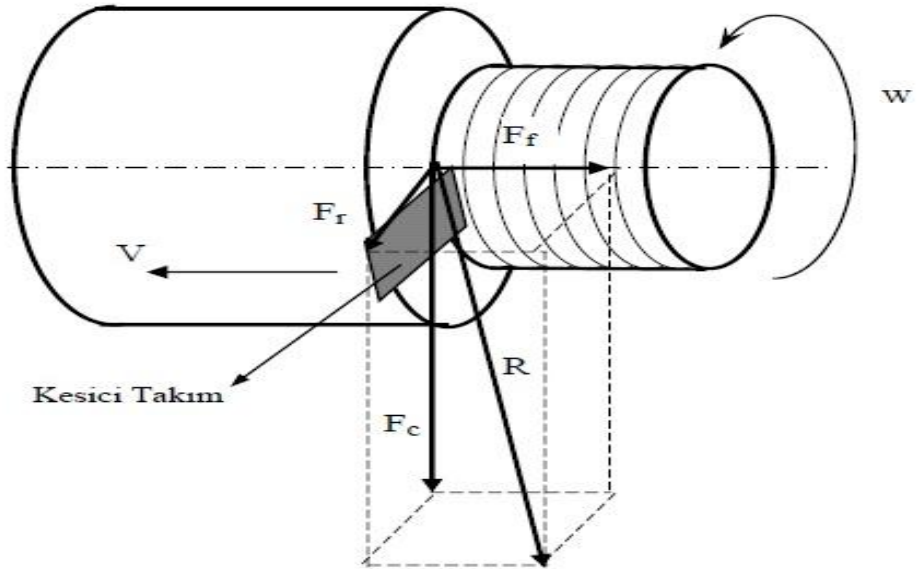
$$VT^n = C_t \quad (1.4)$$

3.3.7. Kesme kuvvetlerinin etkileri

Talaş kaldırma sırasında oluşan kuvvetler oldukça fazladır. Takım ve iş parçasının bağlanma şekilleri, birbirlerine göre konumları, oluşan kuvvet sonucunda iş parçasının ve tezgah elemanlarının esnemesine bağlı olarak değişiklik gösterir.

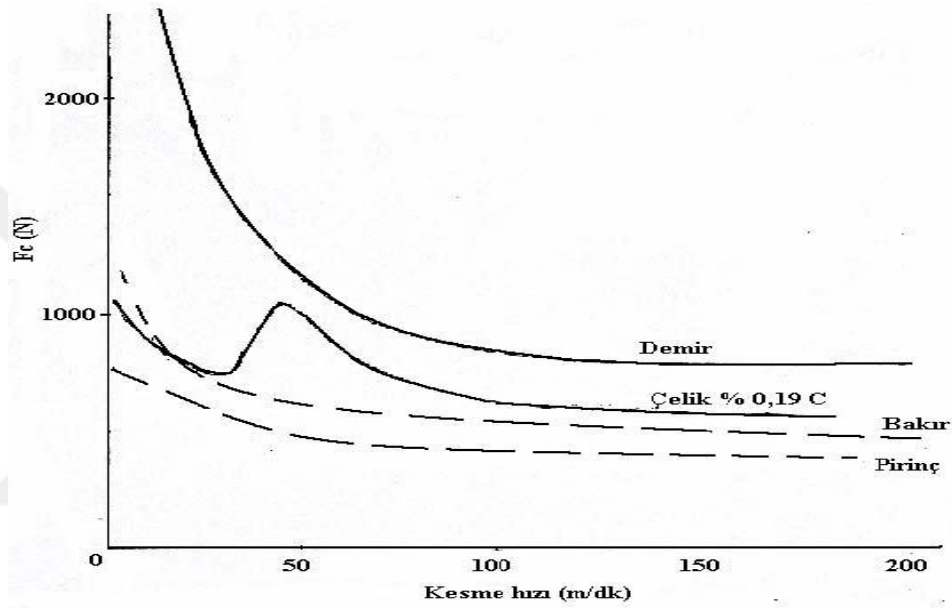
3.3.7.1. Tornalama işleminde oluşan kesme kuvvetleri

Tornalama işleminde takım ve iş parçası etkileşimi üç bileşenli bir kuvvet sistemiyle Şekil 3.5.'de gösterildiği gibi ifade edilir. Bunlardan ana kesme kuvveti (F_c) diğer bileşenlerden daha büyüktür. Radyal kuvvet (F_r) genellikle en küçük bileşen olmakla birlikte etkiye doğrultusu açısından önemli bir hata kaynağıdır. İlerleme kuvvetinin (F_f) ise gerek büyüklük ve gerekse doğrultu açısından hataya önemli bir etkisi olmadığından çoğunlukla ihmal edilir (Yang, 1997).



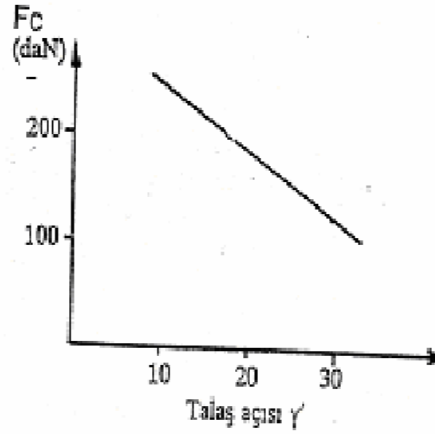
Şekil 3.5. Tornalama İşleminde Oluşan Kesme Kuvvet Bileşenleri (Yang, 1997)

Kesme kuvvetleri talaş oluşumundan, talaş şekil değiştirmesinden ve talaş ile takım arasında oluşan sürtünmelerden dolayı oluşur. Kesme kuvveti üzerinde kesme hızının ve kesme sıvısı kullanılıp kullanılmamasının etkisi azdır. Kesme hızının kesme kuvveti üzerine etkisi, hız çeliğinden yapılan takımlarda $V = (30..35)$ m/dak ve sert metalden yapılan takımlarda $V > 80$ m/dak olduğu durumlarda görülür (Akkurt, 1996). Şekil 3.6.'da farklı malzemeler üzerinde, kesme hızının, kesme kuvveti üzerine etkisi görülmektedir.



Şekil 3.6. Farklı Malzemeler İçin Kesme Hızının, Kesme Kuvvetine Etkisi (İlerleme 0,25 mm/dev, Talaş derinliği 1,25 mm için) (Trent, 1991).

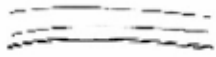
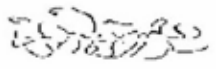
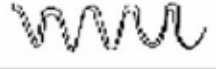
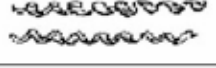
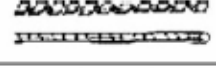
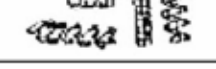
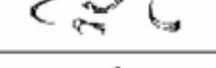
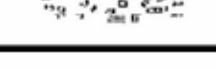
Talaş açısı ve kesme kenarı açısı büyüdükçe kesme kuvveti azalmaktadır. Belirli kesme koşullarında kesme kuvvetinin kesme hızına göre değişimi sabittir. Şekil 3.7.'de kesme kuvvetinin talaş açısına göre değişimi görülmektedir (Işık, 1995).



Şekil 3.7. Kesme Kuvvetinin Talaş Açısına Göre Değişimi (Işık, 1995).

Kesme prosesinde, iş parçası özellikleri dikkate alınarak belirlenen kesme şartları ile yapılacak işleme neticesinde değişik geometrik özelliklerde talaşlar oluşmaktadır.

Oluşan talaşların, şekillerinin sınıflandırması CIRP, ISO ve bazı araştırmacılar tarafından yapılmış ve adlandırılmıştır. Ancak bu sınıflandırmalar birbirine oldukça yakındır. Bu çalışmada, ISO sınıflandırması baz alınmıştır (Şekil II.16). ISO ya göre genel olarak on değişik türde talaş geometrisi veya diğer bir ifade ile formu vardır. Bunlarda kendi içinde kararsız, kabul edilebilir nitelikte ve kabul edilebilir nitelikte olanlardan bir kısmı da kararlı şeklinde sınıflandırılmıştır. Kararlı olarak isimlendirilen talaşların elde edildiği imalat prosesinde ideal talaş geometrisine ulaşıldığı ve buna bağlı olarak elde edilen yüzey kalitesinden koluşan kesme kuvvetine kadar birçok parametrenin kabul edilebilir sınırlar içinde olduğunun tahmini doğru olarak kabul edilebilir. Bu bağlamda, yapılan çalışmada elde edilen talaşların bu sınıflandırmaya göre yorumlanabilmesi de, yapılan çalışmaya ayrı bir anlam kazandırmakta yardımcı olabilecektir (Kim, Jae-Hyung, 2008).

1		Şerit Şekilli Talaş	Kararsız
2		Dolaşık Talaş	
3		Sarmal Talaş	
4		Helisel Talaş	Kabul edilebilir
5		Uzun Boru Şekilli Talaş	
6		Kısa Boru Şekilli Talaş	
7		Spiral Boru Şekilli Talaş	Kabul edilebilir
8		Spiral Talaş	
9		Uzun Virgül şekilli Talaş	
10		Kısa Virgül Şekilli Talaş	

Şekil 3. 8. Talaşların sınıflandırılması (Kim, Jae-Hyung, 2008)

BÖLÜM 4. KUVVET ÖLÇÜMÜ VE ÖLÇME SİSTEMLERİ

4.1. Temel Prensip

Cisimler belli bir kuvvete maruz kaldıklarında şekil değiştirirler. Malzemelerin çoğunda ve metallerde bu şekil değişiminin sebebi kendisini oluşturan kuvvetle ilgilidir. Bundan faydalanabilmek için gerilim ya da kuvvet ile şekil değişimi arasındaki bu ilişkinin tanımlanması gerekmektedir. I boyuna ve A kesitine sahip bir metal çubuğa F çekme kuvveti uygulanırsa bu kuvvetin cisimde oluşturduğu gerilim (σ), (Denklem 2.1)

$$\sigma = F/A \quad (2.1)$$

şeklinde tanımlanır. Cisme yapılan bu etki çubuğun L boyunda ΔL kadar bir boy uzamasına sebep olur. Birim boyda meydana gelen bu boy uzamasına gerinim ϵ (strain) adı verilir ve (Denklem 2.2)

$$\epsilon = \Delta L / L \quad (2.2)$$

olarak tanımlanır.

Metallerde gerilim – gerinim ilişkisi belli bir noktaya kadar doğrusaldır. Bu doğrusal ilişkinin eğimine elastisite modülü (E) adı verilir (Denklem 2.3) ve

$$E = \sigma / \epsilon \quad (2.3)$$

şeklinde ifade edilir. Doğrusal bölgeye elastik bölge, bozulduğu bölgeye (noktaya) elastiklik sınırı adı verilir. Elastik bölgedeki deformasyonlar geri dönüşlü (elastik) ve elastikliğin bozulmasından sonraki deformasyonlar geri dönüşsüz (plastik) özelliktedir. Çekme tipi yükleme için yapılan bu tanımlar diğer yüklemeler için de (basma, eğme, burma) küçük farklarla geçerlidir (Shigley, 1986).

4.2. Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi

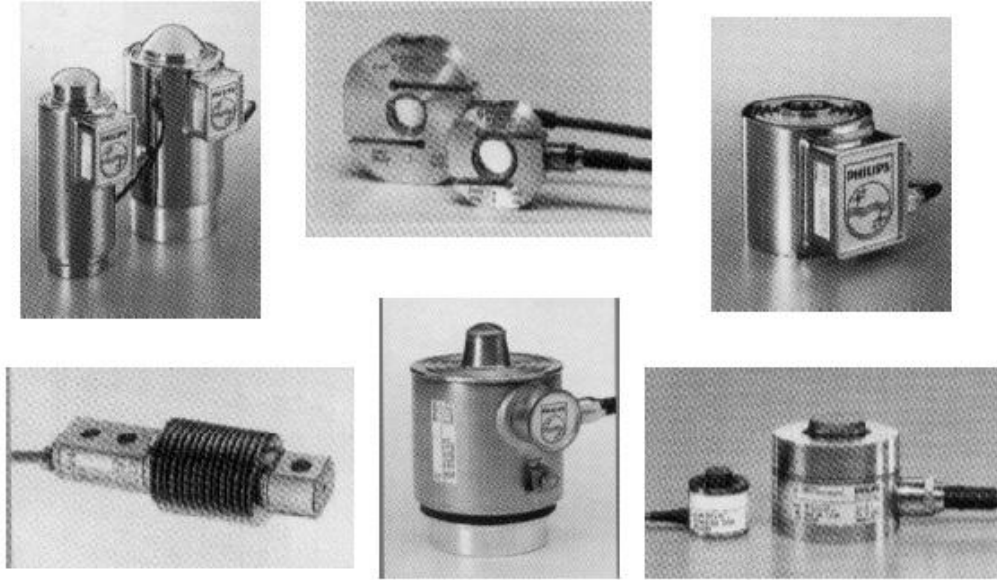
Statik ve dinamik kuvvetlerin ölçülmesinde yük hücrelerinin veya transdüserlerin kullanıldığı dinamometreler yaygın olarak kullanılmaktadır. Burada, elastik bir makine elamanına uygulanan kuvvetin bu elastik elemanda oluşturduğu deformasyon miktarından yola çıkılarak kuvvetler belirlenmektedir. Ancak deformasyonların küçük olması gerinim ölçerlerin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Normal kesme kuvvetleri sadece katı cisimler mekaniğinde karşılaşılan büyüklükler değildir. Örneğin talaş kaldırma işlemi ve talaş oluşumu esnasında oluşan kuvvetler göz önüne alınır ve kesici takımın bir ankastre çubuk gibi davrandığı düşünülürse yatay ve düşey düzlemde takımda oluşan eğilme–burulma ve basma-burkulma kuvvetleri hesaplanabilir.

Bilinen bir yükü dengelenerek kuvvet ölçme: Bu yöntemde, ölçülecek olan kuvvet, kütlesi bilinen bir karşı ağırlık ile dengelenir. Bu dengelemeye göre kuvvet, karşı ağırlığın kütlesinin yerçekimi ivmesiyle çarpılması sonucu hesaplanır. ($\text{kuvvet} = \text{karşı ağırlığın kütlesi} \times \text{yer çekimi ivmesi}$). Bu metot yüksek bir hassasiyet sağlamakla birlikte karmaşık bir yapıya sahiptir. Kullanım alanı sınırlı olup, orta büyüklükteki kuvvetlerin ölçümünde kullanılmaktadır (Günay, 2003).

Doğrudan kuvvet ölçme metodu olarak da bilinen bu metodun tipik örnekleri; basit bir analitik terazi, çoklu manivela sistemler, sarkaç kuvvet ölçme mekanizması, manivela terazi ve kuvvet dengeleme metodudur.

Elastik cismin deformasyonu ile kuvvet ölçme: Kuvvet ölçme metodunun ikinci kategorisinde yer alan bu metot, dolaylı kuvvet ölçme metodu olarak da

isimlendirilmektedir. Bu metotta ise kalibre edilmiş kütleler veya transdüserler (Şekil 4.1.) kullanılmaktadır. Yüksek bir hassasiyet elde etmek için, kaliteli bir elastik cisim seçilir ve bu cisme uygun sınırlar içinde kuvvet uygulanırsa, elastik cismin deformasyonundan kuvvet ölçülebilmektedir. Yük uygulandığında, elastik cisim elastik bölgede kalacak şekilde ölçüm yapılabilmesi için çevre şartlarına göre, uygun boyut ölçme metotlarından birisi kullanılabilir. Kuvvetin doğru ölçülebilmesi için elastik cisimde ortaya çıkan deformasyonun çok hassas olarak ölçülmesi gerekir. Bu metot, genellikle yüksek hassasiyet sağlar ve tüm yük dönüştürücülerde kullanılabilir.



Şekil 4.1. Transdüserler (Shigley, 1986)

Fiziksel özelliklerin değişimi ile kuvvet ölçme: Malzemelerin fiziksel özelliklerindeki değişiminden yararlanma esasına dayanan bu metodun güvenilirliği diğer iki metoda göre daha azdır. Çünkü fiziksel özelliklerdeki değişim her zaman doğrusal olmamaktadır. Ancak elektriksel olarak değerlendirme yapıldığı için, bilimde ve endüstrideki ölçme işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, deformasyonla elektriksel direnç değiştiğinden deformasyon özelliği ile fiziksel özelliklerin birlikte kullanılması da mümkündür.

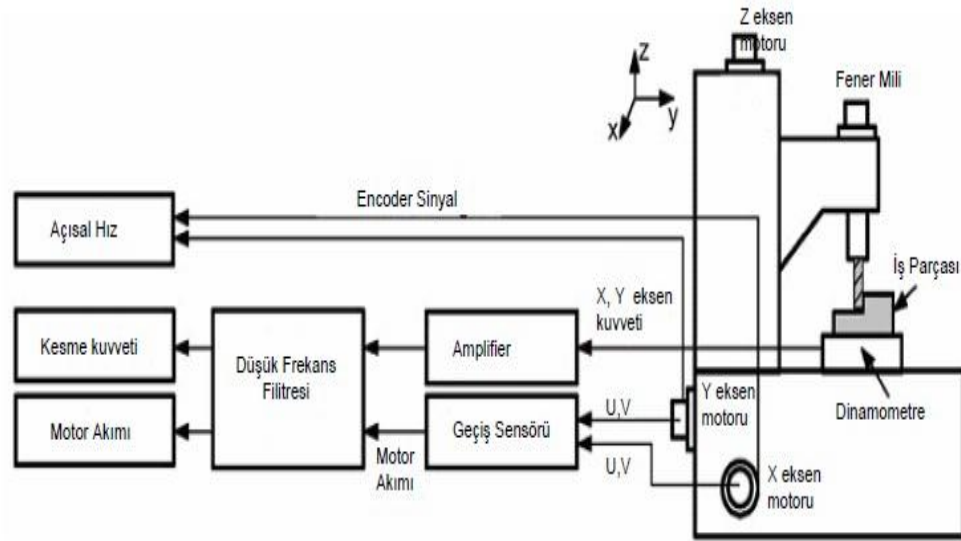
4.3. Kuvvet Ölçme Sistemleri

Ölçme aletleri, verilerin toplanması ile kayıt aletleri ve verilerin işlenmesi şeklinde iki sınıfa ayrılabilir. Ölçme sistemleri sıcaklık, basınç, kuvvet, gerinim (birim uzama), hız, yer değiştirme gibi farklı büyüklüklerin değişimi hakkında bilgi toplamak amacıyla; bir veya daha fazla aletin kombinasyonundan oluşmaktadır. Bu yolla bilgi toplamada çıktı; elde edilen bir ölçüm olarak bilinirken, girdi ise büyüklük miktarındaki değişimdir. Ölçme sistemlerinin karmaşıklığı ise, ölçüm yapan aletin tipine ve istenilen hassasiyete bağlıdır. Ölçme sistemleri temel olarak birincil, ikincil ve üçüncül ölçme sistemleri olarak üç grupta incelenebilmektedir (Shigley, 1986).

4.3.1. Adaptif kuvvet ölçme sistemleri

Adaptif kuvvet ölçmede tezgâhın kontrol paneli veya kesici takımın bağlı bulunduğu motor sayesinde kuvvet ölçümü gerçekleştirilmektedir. Kesici takımın bağlı bulunduğu motorun akımı, kesme durumu ile ilgili önemli bilgiler içerir. Bu akım, birçok çalışmada kesme kuvveti ölçmede kullanılmıştır. Adaptif (dolaylı) kuvvet ölçme olarak adlandırılan bu yöntem ile düşük frekanslardaki kuvvetler de ölçülebilmektedir (Stein, 1990).

Jeong ve arkadaşları kesme kuvvetlerini analiz etmek için Şekil 4.2.'de görülen sistemi oluşturmuşlardır. Sistem ile akım, kesme kuvveti ve motorun dönme açısı sinyalleri alınarak, kesme kuvveti ile akım arasındaki ilişkiyi ortaya koymuşlardır.



Şekil 4.2. Akım, Kesme Kuvveti ve Motorun Dönme Açısı Sinyallerini Alan Sistem (Jeong, 2002)

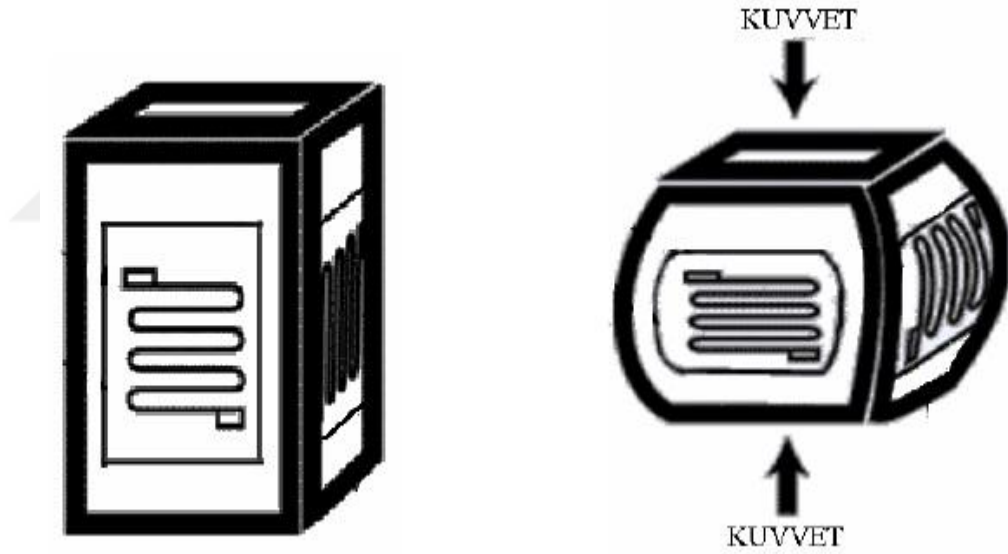
4.3.2. Kuvvet dönüştürücüleri ile kuvvet ölçme sistemleri

Genel bir yaklaşımla kuvvet ölçüm cihazı adıyla anılan kuvvet dönüştürücüleri, teknolojik uygulamalarda yaygın olarak kullanılan kuvvet ve yük ölçme sensörleridir. Kullanıldıkları alanlara göre yük hücresi, kuvvet transdüseri, kuvvet dönüştürücüsü, dinamometre, yük reseptörü gibi farklı isimler alan bu elemanlar; küçük terazilerden kantarlara kadar uzanan yük ölçümlerinde ve çok hassas sonuçların beklendiği metrolojik çalışmalarda yoğunlukla kullanılırlar. Bu cihazlar, uygulanan yük karşısında elastik deformasyona uğrayan bir yay elemanı ve bu deformasyonu dijital veya analog olarak göstermeye yarayan bir gösterge elemanından oluşmaktadır (Kuzu, 1999).

4.3.2.1. Yük hücresi (load cell)

Yük hücresi (load cell), mekanik bir büyüklük olan kuvveti elektriksel büyüklüğe çevirerek ölçmeyi sağlayan bir cihazdır. Yük hücresini bir çeşit transdüser (dönüştürücü) olarak ta tanımlayabiliriz. Transdüseri ise, her hangi bir büyüklüğü başka bir büyüklüğe dönüştüren veya başka sistemlere ileten bir aygıt olarak tanımlanır. Bu durumda, mekanik bir büyüklük olan yük veya kuvvete karşılık,

elektriksel bir çıkış elde ediliyorsa, kuvvet ölçümünde kullanılan bir transdüserin tanımı yapılmış olur. Hücre (cell) kelimesi, belirli bir ölçüm için tasarlanmış transdüserler için kullanılır. Transdüserlerde en önemli olay, mekanik enerjinin elektriksel çıkışa nasıl dönüştürüldüğü ve hangi prensiplerin kullanıldığıdır. Günümüzde en yaygın biçimde kullanılan yük hücresi, direnç değişimi prensibine göre çalışan, gerinim ölçer (strain gage-uzama ölçer) tipinde olanıdır. Bunun nedeni, kolay ve kullanışlı olmasının yanında, aynı zamanda ağır işletme koşullarında da rahatlıkla kullanılmasıdır. Gerinim ölçerler, yük hücresinin içinde bulunan, elastik sınırlar içinde çalışan bir kirişe yapıştırılır. Yük uygulandığında kirişin boyunda meydana gelen çok küçük değişimler, uzama ölçerler tarafından algılanır (Korkut, 1996). Şekil 4.3.'de kuvvete maruz kalan yük hücresindeki deformasyon (şekil değişimi) görülmektedir.



Şekil 4.3. Kuvvete Maruz Kalan Yük Hücresinin Şekil Değişimi

4.3.2.2. Gerinim ölçer (strain-gage)

Mühendisliğin temel olaylarından biride gerinimdir. “gerinim” ve “doğrusal şekil değiştirme” terimleri eş anlamlı olup, dış kuvvetlerden kaynaklanan doğrusal boyut değişimi için kullanılır. Bir lastik parçası yüklendiğinde, oluşan şekil değişimi (gerinim) gözle görülmesine karşın, rijit cisimlerde, örneğin, bir tren köprü üzerinden geçerken oluşan gerinim gözle görülemez. Bu şekilde oluşan gerinimi belirlemek için kullanılan elamanlara “gerinim ölçer” adı verilir. Gerinim, matematiksel olarak boyutsuzdur, fakat fiziksel olarak, birim uzunluk başına toplam uzunlukta oluşan değişim olarak tarif edilebilir (Korkut, 1996).

Gerinim ölçerli sistemlerde kuvvetlerin algılanabilmesi için, malzemelerin elastik deformasyonundan faydalanılmıştır. Gerinim (strain), cisim üzerine yük uygulandığında, birim uzunlukta oluşan deformasyon miktarı olarak tanımlanır. Başlangıç uzunluğundaki toplam deformasyonun, başlangıç uzunluğuna bölünmesiyle hesaplanır. Temel olarak tüm gerinim ölçerler mekanik hareketi elektronik sinyale çevirmek için tasarlanmışlardır. Gerinim ölçerler mekanik gerinimin fonksiyonu olarak değişen bir dirence sahiptir. Dirençteki değişim ohm-metre birimi cinsinden ölçülebildiği halde, birim uzama ölçüm cihazları, direnç değişimini voltaj birimine çevirir. Giriş gerinimi ile çıkış voltajı arasındaki ilişki, sistem hassasiyetinin saptanmasında kullanılabilir. Bir parça telin elektriksel direnci, telin boyu ile doğru orantılı ve kesit alanı ile ters orantılıdır. Gerinim ölçümü için, gerinim ölçer, ölçümde kullanılacak yapının yüzeyine yapıştırılır. Direnç kesit alanı ve/veya uzunluğa bağlı olarak değişir. Dirençteki bu değişim, gerinim metre yardımı ile ölçülür ve sonuç gerinim birimine dönüştürülerek görüntülenir. Her bir gerinim ölçer, üretici firma tarafından belirlenmiş olan gerinim ile direnç arasında uygunluğu sağlayan ve Denklem 2.4.’de gösterildiği gibi gage faktörü denilen, hassasiyet faktörüne sahiptir. Metalik gerinim ölçerler için gage faktörü genel olarak 2 civarındadır.

$$GF = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} \quad (2.4)$$

Burada;

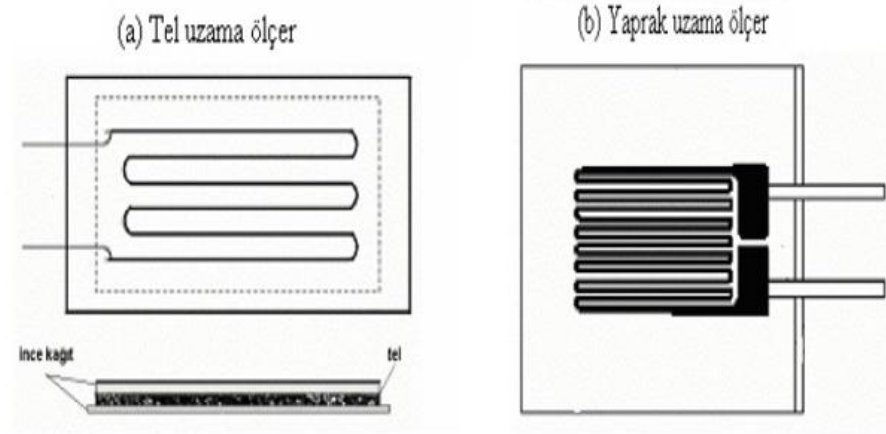
R : Gerinim ölçerin deforme olmadan önceki direnci,

ΔR : Şekil değiştirme nedeniyle gerinim ölçer üzerinde oluşan direnç değişimi,

$\frac{\Delta L}{L} = \varepsilon$: Şekil değiştirme (Birim deformasyon), olarak adlandırılmaktadır.

4.3.2.3. Gerinim ölçer malzemeleri ve yapıştırıcıları

Dirençli tip gerinim ölçer genel olarak iki sınıfa ayrılır. Biri tel, diğeri ise yaprak tipi gerinim ölçerlerdir (Şekil 4.4.). Tel tipi gerinim ölçerler, bakır-nikel veya krom-nikel alaşımlarından yapılmış olup tel çapı 0,025 mm' dir. Izgara şeklinde montaj ile daha büyük bir uzunluk elde edilip, büyük direnç değişimi sağlanır. Aynı zamanda, boyut çok küçük olduğundan, küçük bir alan işgal eder. Boyuna ölçümlerde hassasiyeti iyi olmasına rağmen, enine ölçümlerde iyi değildir. Enine hassasiyet için ayrı bir düzeltme yapılır. Tel tipi gerinim ölçerlerde tel malzemesi kağıt taşıyıcı arasına yapıştırılır.



Şekil 4.4. Tel ve Yaprak Tip Gerinim Ölçerler

Yaprak tipi gerinim ölçerlerde ise, yine aynı malzeme kullanılıp, iletken kağıt veya daha çok plastik bir taşıyıcı üzerine kimyasal yöntemle kaplanarak talaşlı veya kimyasal metotlarla ızgara şekli verilir. Metal tel, taşıyıcı üzerinde 0,0025 mm kalınlığındadır. Gerinim ölçerler, 80 °C' nin altındaki sıcaklıklarda, özel yapıştırıcılarla güvenli olarak yapıştırılabilirler. Özellikle, 400 °C' nin üzerindeki sıcaklıklarda özel seramik yapıştırıcı malzemeler kullanılır. Taşıyıcı malzemesi olarak kağıt, plastik, mika, seramik gibi malzemelerden faydalanılır.

Gerinim ölçerler test parçasına yapıştırılmadan önce yüzey, yağ, pas, kir, boya gibi maddelerden temizlenip, taşlanarak veya zımparalanarak düzeltilmelidir. Daha sonra iyi bir temizleyici ile (karbon tetraklor vb.) yüzey silinip kurulanır. Sonra, yüzeye uygun bir yapıştırıcı, gerinim ölçerin altına da asetat sürülüp yüzeyler birbiri üstüne hafif bir basınçla yapıştırılır. 8-12 saatlik bir kuruma sonunda gerinim ölçer, ölçüm yapmaya hazır duruma gelir (Korkut, 1996).

BÖLÜM 5. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Talaşlı imalat sırasında, işleme metodu, işlenen iş parçası ve kesme parametreleri, kesici takımın cinsi, fiziksel, kimyasal ve ısı faktörleri ile iş parçası ve kesici takım arasındaki mekaniksel hareketlere bağlı olarak, nominal yüzey çizgisinin altında veya üstünde düzensiz sapmalar meydana gelir ve buna bağlı olarak iş parçası yüzeyinde istenmeyen izler oluşur. Bu duruma yüzey pürüzlülüğü denir (Güllü, 1995). Bir makine parçasının uzun ömürlü çalışması ve gerektiği gibi hizmet edebilmesi büyük oranda yüzey kalitesine bağlıdır. Resimlerde işlenecek olan parçalar teorik olarak gösterilir fakat gerçekte işlenmiş makine parçalarının yüzeylerinde çeşitli düzensizlikler ve yükseklikler mevcuttur. Bunlar takım tezgahındaki işlemler sırasında oluşurlar. İş parçasında oluşan bu yükseklik ve yüzey düzensizlikleri, dağılmaları ve yönleri birçok etkene bağlıdır. Bu etkenler şu şekilde sıralanabilir.

- Kesme ve ilerleme hızı
- Kesici takımın soğutulması ve yağlama koşulları
- İşlenecek olan malzemenin kimyasal ve mikro yapısı
- Kesici takımın tasarımı ve geometrisi
- Takım tezgahının tipi ve şartları
- Kalıp ve bağlama apartları (Danilevsky, 1967).

Talaşlı imalatla en önemli kalite karakteristiklerinden biri yüzey pürüzlülüğüdür. Talaşlı imalatla ulaşılması gereken hedef minimum yüzey pürüzlülüğü değerleridir. İyi bir yüzey kalitesi elde etmek ve boyutsal kesinlik için en uygun kesme şartlarını seçmek ve tahmin etmek imalatın kalitesinde ve prosesin planlanmasında çok önemli rol oynar. Genel olarak metal kesme işlemlerinde şartların belirlenmesinde makineyi kullanacak olan operatörün tecrübesine güvenilir, ancak tecrübeli ve iyi bir operatörün olması halinde bile en uygun değerleri belirlemek zordur.

Makine elemanlarının çalışma performansları ve özellikleri üzerinde en büyük etkiyi işlenmiş yüzeylerin pürüzlülüğü yapar. Aşınmaya karşı en dayanıklı yüzeyin çok iyi işlenmiş parça olduğu her zaman ve her durumda söylenemez çünkü çeşitli sürtünme şartlarında yağlama yağının yüzeyde tutulması büyük ölçüde mikro düzensizliğe bağlıdır. Bu nedenledir ki en uygun yüzey pürüzlülüğü ancak sürtünme şartlarına göre hesaplanabilir.

Birbiriyle temas halinde çalışan parçaların üzerlerindeki çıkıntıların asdece tepe noktalarından birbirlerine değerler, bu sebepten yüzeyleri ne kadar dalgalı ise temas basıncı o kadar yüksek olur. Bu düzensiz olan dalgalar zamanla parçaların birbirlerine sürtünmesinden dolayı parçalanabilir ya da ezilebilirler. Eğer bir yağlama maddesi kullanılıyorsa, bu yağ filmi bu düzensizlik tepecikleri tarafından kesilir ve sonuç olarak bu kısımlarda kuru sürtünme olur. Birçok halde, makine parçasının dayanıklılığı, imalat yapılırken işlemede elde edilen yüzey kalitesine bağlıdır. Çeşitli çizgilerin derin ve keskin kazıntıların, iç gerilim konsantrasyon noktaları haline geldikleri ve parçanın kırılmasına neden oldukları bilinmektedir. Mikro düzensizlikleri olan bir yüzeyde tepecikler arasında kalan girintiler, böyle konsantrasyon noktalarıdır. Bu, gerilim konsantrasyonları çok küçük derecelerde olduğu açıkça bilinen döküm demirden veya demirsiz alaşımlardan yapılmış parçalar için dikkate alınmaz.

Temaslı alıştırırmaların dayanıklılığı da yüzey pürüzlülüğüne, özellikle mikro düzensizliklerin yüksekliklerine bağlıdır. Bir parça diğerine preslenerek geçirildiğinde elde edilen geçme, eğer parçalar pürüzlü yüzeyli iseler düzgün yüzeyli parçalarda (pres geçme yapılan parçalarla aynı ölçülmüş çaplarda) elde edilenden farklı olacaktır.

Yüzey pürüzlülüğünün etkilediği bir diğer faktör de korozyon direncidir. Yüzey kalitesi sınıfı ne kadar yüksek olursa, yüzeyin korozyon yapıcı ortamla temas halinde olan alanı o ölçüde az olacaktır, dolayısı ile korozyon yapıcı madde, yüzeyi daha az etkileyecektir. Mikro düzensizliklerde tepecikler arasındaki girintiler ne kadar derin ve keskin çizgili olursa, metalin derinliklerinde korozyonun yıkıcı etkileri o ölçüde

fazla olur (Danilevsky, 1967).

Talaş kaldırma işleminde amaç yapım resminde belirtilen tolerans derecesine göre parçaların istenilen geometrik ölçü ve yüzey kalitesinde parça imal edilmesidir. Makine parçasının geometrisi, boyutu, ve yüzey kalitesi işleme kalitesini oluşturur. Ancak parça yapım resminde gösterilen ideal ölçülere göre üretimi tamamlanan parça üzerinde boyut, yüzey kalitesi ve geometrisi yönünden bazı hatalar ortaya çıkabilir. Bu hatalar “tolerans” olarak adlandırılır ve parçanın kullanıldığı yere göre müsaade edilen belli bir değerde tutulduğu takdirde parçanın çalışmasına engel teşkil etmez. Bu toleranslar da parçanın hem boyutu hem de yüzey kalitesini meydana getirirler. Ancak hatalar (toleranslar) ne kadar küçük olursa, o kadar yüksek yüzey kalitesi elde edilir. Kesme maliyeti ve toleranslar arasında ters bir ilişki mevcuttur. Çünkü toleranslar büyüdükçe parça maliyeti büyük oranda azalır. Fakat parçanın fonksiyonunu yerine getirmesi yüzey kalitesi toleranslarının küçülmesi ile artar. Bu nedenle, imalat mühendisliği açısından parçaların kullanılacağı yere göre ekonomiklik de dikkate alınarak parçanın uygun yüzey kalitesinde işlenmesini gerçekleştirecek üretim metodu yanında yüzey kalitesi tolerans ve maliyet arasında bir uzlaşma sağlayacak şekilde belirlenmelidir (Şahin, 2001).

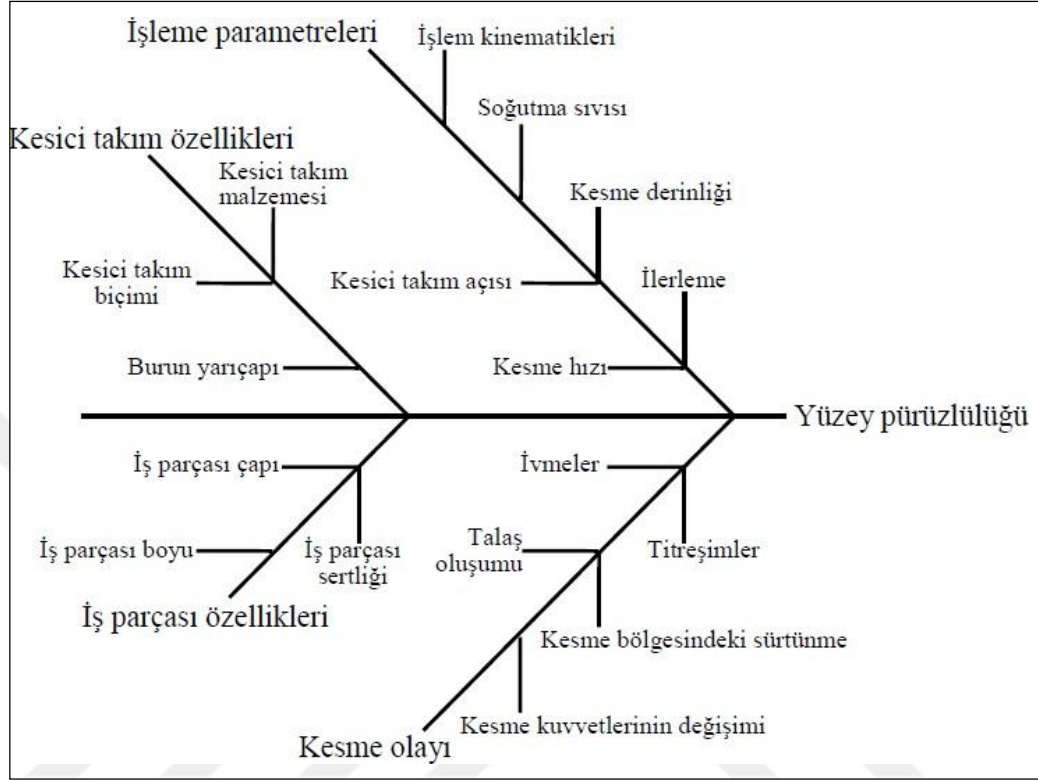
5.1. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler

Talaş kaldırarak şekillendirme sırasında; seçilen işleme yöntemine, kesici cinsine ve işleme şartlarına bağlı olarak fiziksel, kimyasal, ısı faktörlerin ve kesici ile iş parçası arasındaki mekanik hareketlerin etkisi ile işlenen yüzeylerde genellikle istenmediği halde işleme izleri oluşmaktadır. Değişik parçaların bir araya gelmesiyle oluşan ürün kalitesini ve endüstriyel makinelerin performansını arttırmak, yeterli seviyede hassas işlenmiş yüzeyleri gerektirmektedir. Aynı malzemenin farklı metotlarla aynı yüzey pürüzlülüğü değerinde işlendiği, bazen bunların korozyon, sürtünme, aşınma ve yorulma dayanımı olarak farklı davranışlar gösterdikleri bilinmektedir. Yüzeylerin pürüzlülüğünden başka, yüzeydeki işleme izlerinin yönü ve dağılımları da malzemenin performansını önemli derecede etkilemektedir (Thomas, 1981-Güllü, Özdemir, Demir, 2003).

İşleme sırasında kesici takımlardaki hatalar, titreşimler, kesici kenarındaki malzeme sıvanması gibi faktörlerin olumsuz etkisi en aza indirilerek; kullanılan kesici türüne, geometrisine ve ilerleme hızına bağlı olarak en iyi bitirme değeri elde edilmesi amaçlanmaktadır. Yüzey pürüzlülüğüne birden fazla faktörün etkisi bulunmakla birlikte; talaş kaldırmada etkili olabilecek en önemli parametrelerler, aşağıda belirtildiği gibi özetlenebilir.

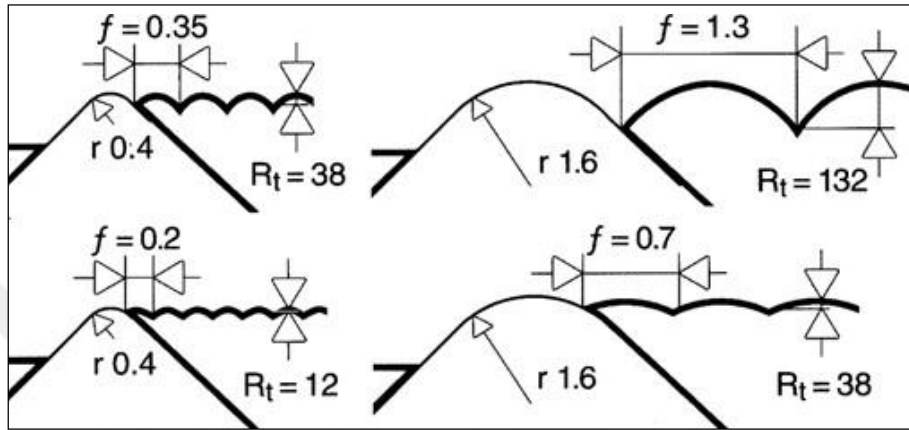
- Bağlamadan dolayı işlenen malzemede oluşan deformasyon,
- İlerleme mekanizmasındaki düzensizlikler,
- İşlenen malzemedeki yapı bozuklukları,
- Kırılgan malzemelerin işlenmesi sırasında düzensiz talaş akışı,
- Kolay şekillendirilebilir malzemelerin düşük kesme hızlarında işlendiği zaman, işlenen malzeme yüzeyindeki yırtılmalar,
- Talaş akışının sebep olduğu bozukluk,
- Kesme hızında meydana gelen düzensizlikler,
- İlerleme hızında meydana gelen düzensizlikler,
- Kesme esnasındaki kesme derinliği,
- Kesici takımın soğutulma ve yağlanma koşulları,
- İşlenen malzemenin kimyasal bileşimi ve metalürjik (atomik) yapısı,
- Kesicinin tasarımı, geometrisi ve kesme kapasitesi,
- Takım tezgâhının tipi, rijitliği ve çalışma şartları,
- Kalıp ve bağlama aparatları,
- İşlenen malzemeden talaş kaldırma şekli,
- Yatak ve takımlarda oluşacak geometrik bozukluklar,
- Kesme hızı
- İlerleme

- Kesici geometrisi vb.



Şekil 5.1. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametrelerin diyagramı (Benardos, Vosniakos, 2003)

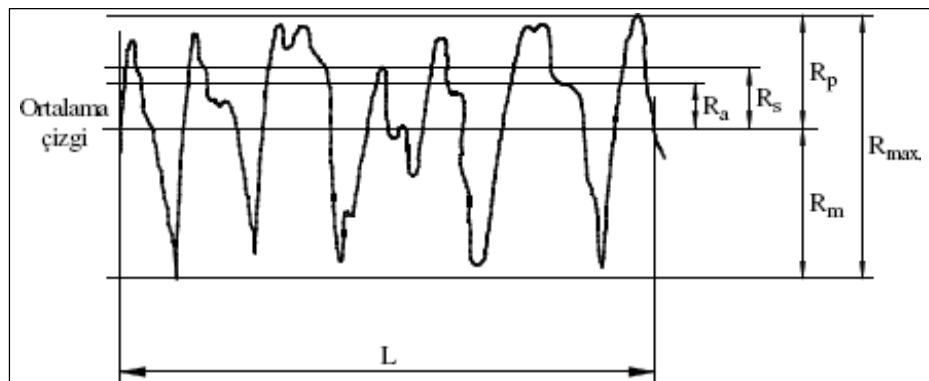
İlerleme ve kesici takım uç yuvarlatma yarıçapının teorik maksimum yüzey pürüzlülüğü değerine (R_t) etkisi Şekil 5.2.'de gösterilmiş olup; daha yüksek kesme hızları ve daha pozitif bir kesme geometrisi kullanılarak (R_t) değeri azaltılabilir. Kesme hızının artırılmasının talaşın yapışmasına, titreşime ve aşınmaya olan etkisinden dolayı yüzey pürüzlülüğü üzerinde ikinci dereceden bir etkiye sahiptir.



Şekil 5.2. Takım uç yarıçapı ve ilerleme hızının pürüzlülüğe etkisi (Sandvik, 1996)

5.1.1. Yüzey pürüzlülüğü parametreleri

Gelişmiş ülkelerin büyük bir çoğunluğu M yöntemini benimsemekte, bu ülkelerin bir kısmı ortalama pürüzlülüğü (R_a) bir kısmı da en büyük pürüzlülüğü (R_{max}) yüzey pürüzlülüğü ölçme kriteri olarak kullanmaktadır (Şekil 5.3.). Yüzey pürüzlülüğü, pürüzlülük değerine bağlı olarak değişen ve “değerlendirme uzunluğu” olarak tanımlanan standart bir aralıkta ölçülmektedir (Thomas ve Charton, 1981).



Şekil 5.3. Yüzey kalitesi için sayısal değerler (Scarr, 1991)

5.1.2. Yüzey pürüzlülüğü ölçme yöntemleri

Literatürde yüzey pürüzlülüğü ölçme yöntemleri, ölçme hızı dikkate alınarak; uygulama şekli (tahribatlı veya tahribatsız, temaslı veya temassız) ve ölçme hassasiyeti bakımından kaba, orta veya hassas olarak gruplandırılmıştır (Güllü ve ark, 2003).

Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesinde; pürüzlülük aralığı, pürüz tepelerinin ve yanaklarının yaptığı açılar, pürüzlülük dağılım eğrisi gibi önemli kriterler etkili olmaktadır. Bu kriterlerin gözle tespitine ve değerlendirilmesine imkan veren pürüzlülük grafiklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Grafik alma özelliği olan cihazlar pürüzlerin kaydedilmesi yönüyle daha somut ve kapsamlı bilgi edinme ve karar vermeye yardımcı olması bakımından uygulamalarda tercih edilmektedir (Güllü ve ark, 2003).

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

Temas metodu: Yüzey üzerinde dolaştırılan bir probun sürtünme katsayısı bilinen bir yüzeye göre elde edilen neticelerinin karşılaştırılması esasına dayanır.

Mekanik metot: Çelik bilye kullanılarak minimum 500 gr ağırlığın yüzeyde; yüzeyin içine doğru 1 mikronluk yer değiştirmesi ile yapılan yüzey pürüzlülüğünü ölçme tekniğidir.

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

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

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

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

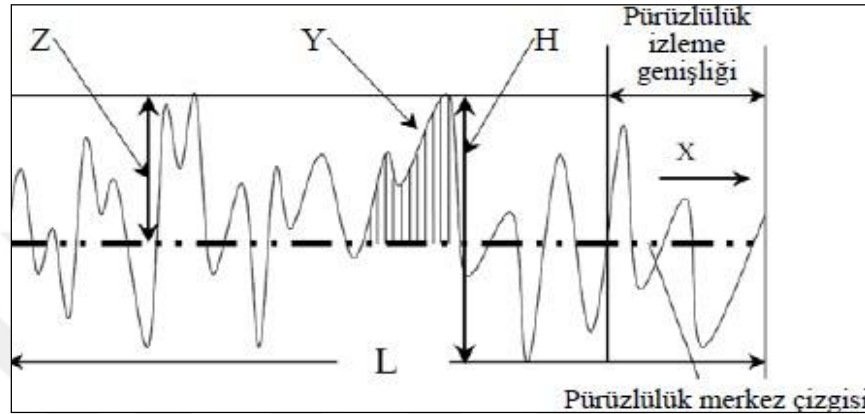
Replika metodu: Parça üzerindeki konumu nedeniyle ölçüm yapılacak yüzeye erişilemediği durumlarda yüzeye selüloz-asetat filmi, asetonla yumuşatılarak sertleşene kadar temizlenmiş yüzeye bastırılırsa elde edilen maske yüzey karakteri hakkında % 80 oranında bilgi verir.

İzleyici uçlu cihazlar: Çok sivri bir izleyici ucun parça üzerinde değerlendirme uzunluğu boyunca hareket ettirilmesi ve hareket esnasında oluşan titreşimlerin büyütülerek hareketli bir şerit üzerine aktarılması veya elektronik cihazlar yardımıyla yorumlanması esasına dayanır. İzleyici ucun inceliği ölçüm esnasında doğruluk açısından önem arz ettiğinden 0,00004 mm çapında iğneler kullanılmaktadır. Kullanımı en kolay ve ideal bir ölçüm sistemidir (Bayrak, 2002).

Elektro fiber optik metot: Yüzey pürüzlülüğü ölçülecek malzeme X,Y yönünde hareket edebilen tablaya bağlanarak yatay konuma getirilir. Fiber optik algılayıcı ile parça yüzeyine dik olarak ışın gönderilir. Parça yüzeyinin pürüzlülüğüne göre dağılan ışınlar fiber optik algılayıcılara bağlanmış foto algılayıcılarla yorumlanarak pürüzlülük değeri bulunur (Özses, 2002).

5.1.3. Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi

İşlenmiş bir yüzey üç boyutlu bir yapıya sahip olduğundan, bir yüzeyin hatasız kabul edilen başka bir yüzeye göre incelenmesi, üç boyutlu bir geometri problemidir. Ancak yüzeye dik alınan bir kesit düzlemi üzerinde hata profillerinin incelenmesi ile



Şekil 5.4. Yüzey pürüzlülük profili (Yang, Chen, 2001)

problem iki boyuta indirgenebilir. Bu durumda pürüzlülüğün derecesi, seçilen bu düzlemin konumuna bağlıdır. yüzey pürüzlülüğü profilinde genel olarak oluşabilecek dalgalılık ve pürüzlülüğün iki boyuta indirgendiği Şekil 5.4.'de verilen grafikte; Y, profil eğrisini, X, profil yönünü, Z, ortalama pürüzlülük yüksekliğini; L, örneklem uzunluğunu ve H, profil yüksekliğini göstermektedir.

Pürüzler doğrultusunda ölçüm yapılırsa, elde edilen pürüzlülük değerinin, pürüzler doğrultusuna dik yapılan ölçümle elde edilene göre daha az olması doğaldır. Bu, tek doğrultulu pürüzlü yüzeyler için doğrudur. Çok yönlü karmaşık izlerde, iki ayrı yönde yapılan ölçüm sonuçları arasında fark daha az olur. Tek yönlü izlerin olduğu yüzeylerde, herhangi bir yön belirtilmemişse, ölçümler iz doğrultusuna dik yapılmalı, çok yönlü izlerde ise birkaç değişik yönde yapılan ölçümlerin ortalaması alınmalıdır. Tatmin edici bir değer vermesi için esas pürüzlülük izlerinin dalga boyu ne kadar büyük ise, numune uzunluğu o kadar büyük alınmalıdır. Yüzey tamlığı numarası; taşlama, honlama gibi farklı metotlarla üretilen, fakat eşit pürüzlülük değerine sahip yüzeyler arasındaki yapı farklılıklarını göstermez. Bunun için yüzeylerin grafiklerinin çizilmesi gereklidir. Yüzey kalitesi ölçme problemini çözmek için, üç

boyuttan iki boyuta indirgemek ve grafik ortalamalarıyla sonucu göstermek mümkün olmasına rağmen, tasarımcının bu şekilde gerekli olan yüzey kalitesini açıkça belirleyebilmesi pratik bir metot değildir. Grafik metodunu, ne üretim mühendisi ne de kalite kontrol elemanı kolayca yorumlayamaz. Bu yüzden ihtiyaç duyulan husus, yüzeyin fonksiyonel özelliklerine ait bazı ilişkilerin yer aldığı ve sayısal olarak yorumlanabilmesidir. Yüzey kalitesinin sayısal değerlerinin belirlenebileceği iki metot genel kabul görmüştür. Bunlar; genellikle ortalama çizgi ve zarf sistemi olarak bilinir (Şahin, 2001).

5.1.4. Ortalama çizgi (*M*) sistemi

Ortalama çizgi, elde edilen geometrik profili tasdik eden bir yöntem olarak tanımlanabilir. Bu ortalama çizgi öyle bir yere yerleştirilmiştir ki, bu çizgi ile profil arasındaki ordinatların karelerinin toplamı minimum olmalıdır. Dolayısıyla ortalama veya merkez çizgisi pratikte profilin genel yönüne paralel bir çizgi olarak belirlenebilir ve bu çizginin altında ve üstündeki profili oluşturan alanlar (*a* ve *b*) birbirlerine eşittir. Şekil 5.5.'de verilmiş olan bir profil ortalama çizgisinin konumu (*c*) için uygun örnekleme uzunluğu (*L*)'nin üzerindeki profilin genel yönüne paralel olan XX doğrusu çizilir. Bir düzlem ölçer veya ordinat metodu kullanılarak *a* ve *b* alanları ölçülür. Sonra XX ve istenen ortalama çizgi YY arasındaki *c* mesafesi aşağıdaki (Denklem 3.2) gibi hesaplanır.

$$c = \left(\sum \text{Alan}(a) - \sum \text{Alan}(b) \right) L \quad (3.2)$$

BÖLÜM 6. DİNAMOMETRENİN TASARIMI VE KULLANILAN MATERYAL VE METODLAR

6.1. Giriş

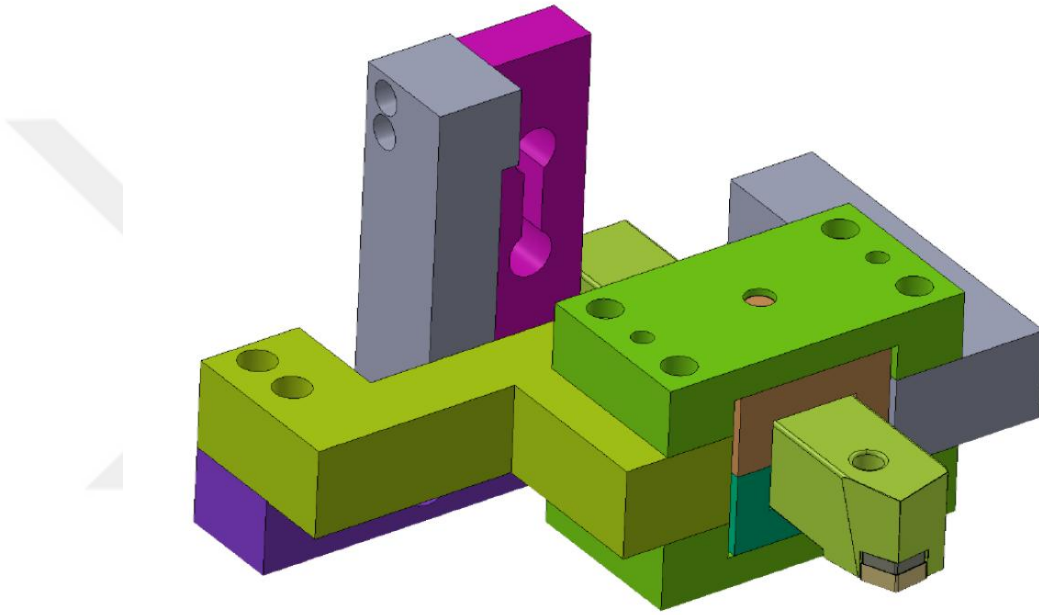
Bu çalışmada, CNC tezgâhında işleme parametrelerindeki değişimin kesme ve ilerleme kuvvetine, yüzey pürüzlülüğüne, kesici takımdaki aşınması incelenmek istenmiştir. Bu çerçevede tornalama işleminde kesici takımın maruz kaldığı kesme ve ilerleme kuvvetlerini ölçmek için bir dinamometre tasarlanmış ve imal edilmiştir. Dinamometreler gerinim ölçerlerle ölçüm yapma esasına göre dizayn edilmiştir. Gerinimi ölçmek için 1 adet 8 kg ve 1 adet 50 kg kapasiteli (1'er gr hassasiyetli) basma tip load cell ler seçilmiştir. Loadceller den gelen sinyaller Pulselektronik firmasının pd-20 model indikatörlerinin yardımıyla dijital ekranlar tarafından sayısal olarak kayır altına alınmış olup aynı zamanda DasyLab 2016 programıyla veriler bilgisayara aktarılmıştır. Böylece deneylerde elde edilen sayısal veriler kayıt altına alınmış ve Microsoft Excel yardımıyla grafiksel olarak görüntülenmiştir.

Deneylerde iş parçası olarak Alüminyum 5083 malzemeler kullanılmıştır. Deneyler cnc torna tezgâhında farklı devir sayıları, farklı ilerleme hızları ve farklı talaş derinliklerinde yapılmıştır. Daha sonra işlenen parçaların yüzey pürüzlülükleri yüzey pürüzlülük ölçme cihazıyla ölçülmüştür. Bu veriler incelenmiş olup kesme ve ilerleme kuvvetiyle yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki incelenmiştir.

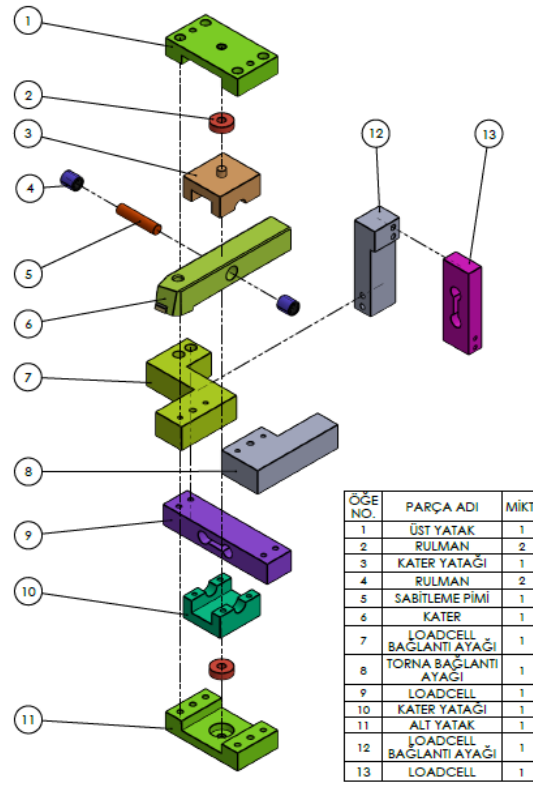
Kesme işlemi sırasında çıkan talaş şekilleri ve kesici uç formda oluşan farklılıklar daha sonra incelenmek üzere resimlenip toplanmıştır.

6.2. CAD ve Grafik Yazılımı

Dinamometrenin tasarımı Solidworks 2016 bilgisayar destekli tasarım programında çizilmiştir ve analizleri yapılmıştır. Tasarlanan dinamometre deneyde kullanılacak olan cnc torna tezgâhının özellikleri dikkate alınarak tasarlanmıştır. Dinamometre gelen kuvvetleri doğru ölçebilmek adına tam orta noktasından rulmanlarla yataklandırılarak doğru sonuç alınması amaçlanmıştır (Şekil 6.1. ve Şekil 6.2.).



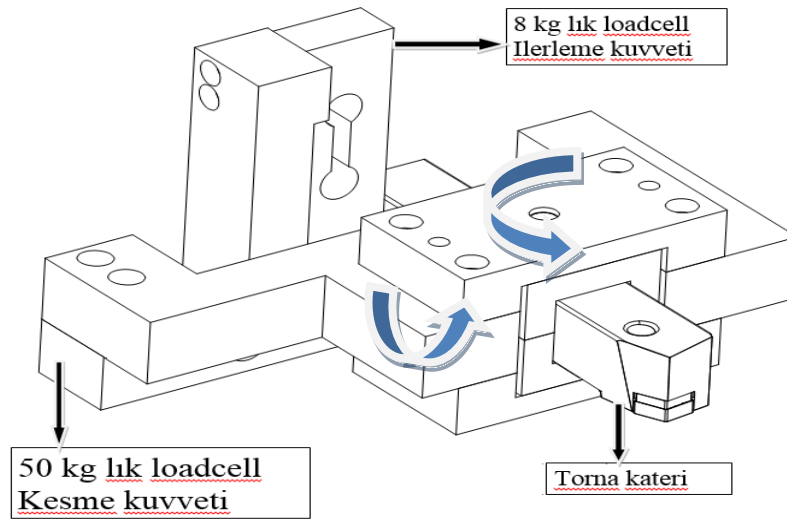
Şekil 6.1. Torna Dinamometresinin Solidworks Programında Görünümü



Şekil 6.2. Torna Dinamometresinin solidworks programındaki patlatılmış görüntüsü

6.3. Sistem Donanımı

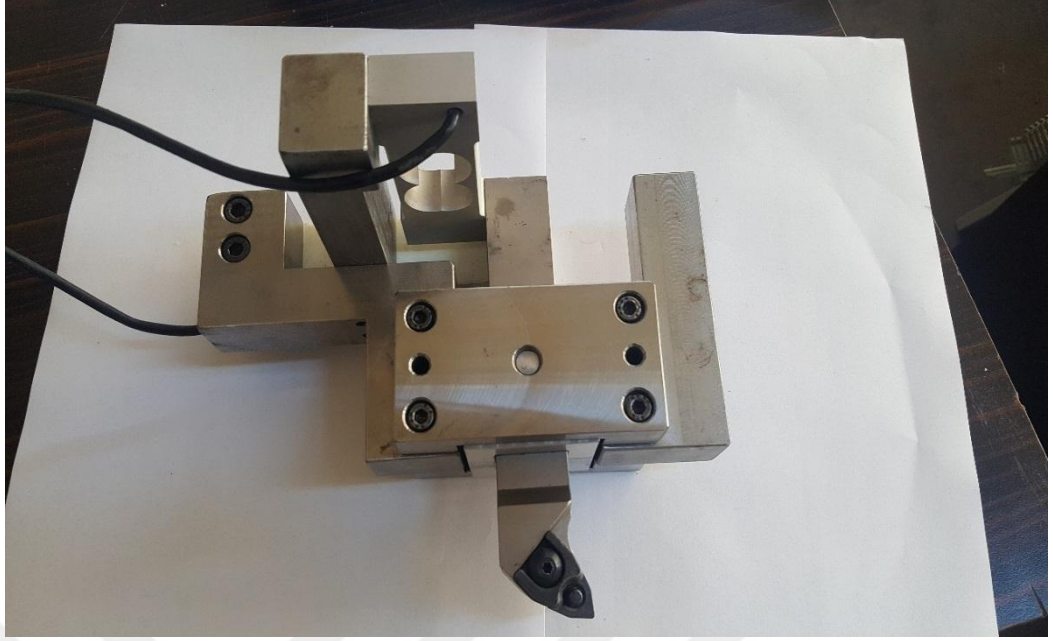
Tornalama işleminde kullanılacak dinamometrede oluşturulan sistem donanımı Şekil 6.3.'de gösterilmektedir. Sistem CNC ve universal tezgâhlarda rahatlıkla çalışılabilecek şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 6.3. Torna Dinamometresi Sistem Tasarımı

6.4. Torna Tezgâhı Dinamometresi

Tornalama işleminde kesici takım üzerine gelen kesme ve radyal kuvvetlerini ölçmek için tasarlanan ve imalatı yapılan dinamometre Şekil 6.5.'de görülmektedir. 50 ve 8 kg' lık 2 gerinim ölçer TWLNR 25 25 M08 (25x25x120) cinsi katere bağlanarak kuvvet ölçümü sağlanmaktadır. Kesme anında oluşan titreşimleri minimum seviyeye indirmek için cıvata, pul ve ekstra parça takviyesi ile sabitleme yapılmıştır. Gerinim ölçerlerin sabitlenmesi ve kesme anında oluşan talaşların zarar vermesini engelleyecek şekilde bir tasarım yapılmıştır. Dinamometre nin kesme ve ilerleme kuvvetini ölçebilmesi için Şekil 6.3.'te gösterildiği gibi ok yönlerinde hareket kabiliyetinin olması gerekmektedir. Torna katerinin tam merkezine yerleştirilen iğneli rulmanlar sayesinde kesme kuvvetini ölçmede gerekli hareketi vermemize yardımcı olmuştur. Daha sonra kateri alüminyumdan oluşan kafes sisteminin içine montajlayarak bu seferde ilerleme kuvvetini ölçmek için başka bir rulmanlı sistemle birleştirilmiştir. Bu sayede oluşan kuvvet minimum sürtünmeyle load-cell'lere aktarılmıştır. Tasarlanan dinamometre aynı deneyleri gerçekleştirmek için kullanılan dinamometrelerden % 70 daha az maliyetle imal edilmiştir.



Şekil 6.4. Tornalamada Kullanılacak Dinamometre



Şekil 6.5. Tornalamada Kullanılacak Dinamometrenin Deney Anı

6.5. Yük Hücreleri (Loadcell)

Dinamometrelerde toplam 2 adet basma tipi yük hücresi (loadcell) kullanılmıştır. Bu gerinim ölçerler 8 kg ve 50 kg (1 gram hassasiyetinde) olup kuvvet lme konusunda doğru sonuçlar vermektedirler. Sistemin temelini oluşturan gerinim ölçerlere uygulanan kuvvet (gram veya kilogram cinsinden) sonucu oluşan gerilim farkı hem gerinim ölçerlere bağlı puls elektronikten alınan dijital ekranlarda okunmuştur. Hemde dasyLab programından anlık veriler alınıp bilgisayar ekranında dijital olarak incelenip grafikler oluşturulmuştur.

6.6. Sistem Kalibrasyonu

Deneylere başlamadan önce dinamometre kalibre edilmiştir. Kalibrasyon için daha önce kalibresi yapılmış bi terazide ağırlığı ölçülen parçalar dinamometredeki katerin ucuna konularak puls elektronik marka indikatörde okutulmuştur. İndikatörün kullanma kılavuzunda kalibrasyon nasıl yapılacağı hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Kalibrasyon yapıldıktan sonra farklı ağırlıktaki malzemeler konularak ölçümün doğruluğu tespit edilmiştir. Ölçülen kuvvet kg şeklinde llmştir.

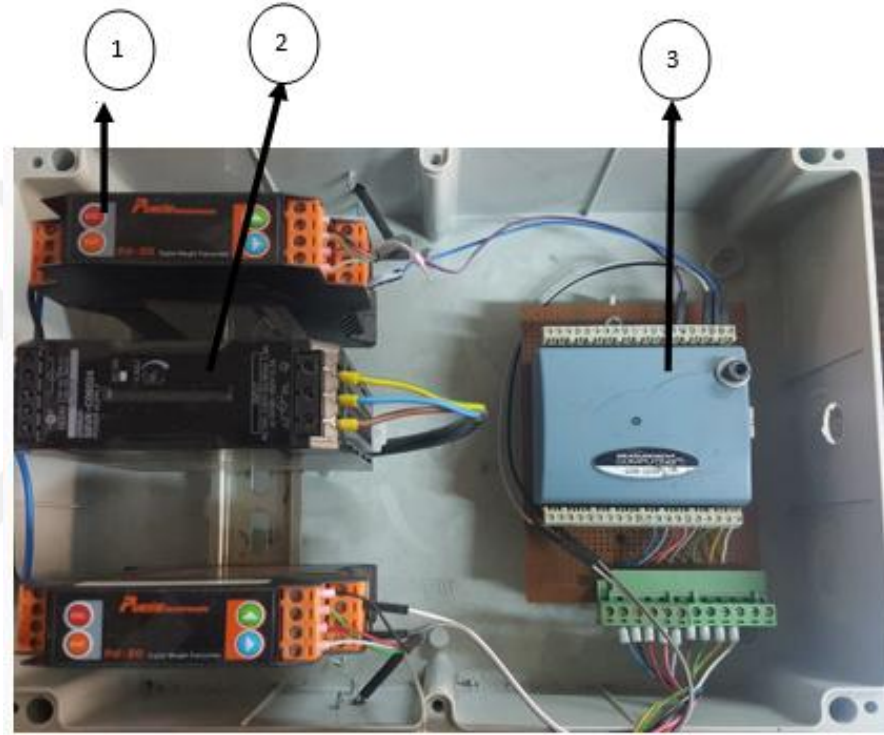
6.7. DasyLab Analiz Programı

DasyLab programı, sensrlerler aracılığıyla fiziksel sistemlerden alınan analog verilerin dijital ortamda görüntülenmesini, kıyaslanmasını ve bunlarla birlikte çalışmaya özel bir arayüz tasarlanarak çeşitli fonksiyonlar ve gösterim şekilleriyle verilerin işlenmesine olanak tanır.

Analog verilerin bilgisayar ortamına aktarılarak DasyLab' ta görüntülenmesine olanak tanıyan ekstra bir donanıma ihtiyaç duyulur. Aslında bu donanımın görevi, analog verileri dijital verilere yani bilgisayarın anlayabileceği türde sinyallere çevirmektir. Burada kullanacağımız cihaz, üzerinde FBGA işemcisi bulunan "Measurement Computing" markasının "USB-1608G" modelidir. Ayrıca bu

donanımı bilgisayara tanıtmak amacıyla “Instacal” isimli bir yazılım da gerekmektedir. Bu yazılım yüklendikten sonra “DasyLab” ayarlarından, USB-1208fs cihazından gelecek giriş(ölçülmek istenen) verilerini temsil eden kutucukları aktif hale getirmemiz gerekmektedir.

Deneyler oluşan kesme kuvveti verilerinin dasyLab programında okunabilecek verilere dönüştürülmesi için oluşturulan pano Şekil 6.6.’te gösterilmiştir.

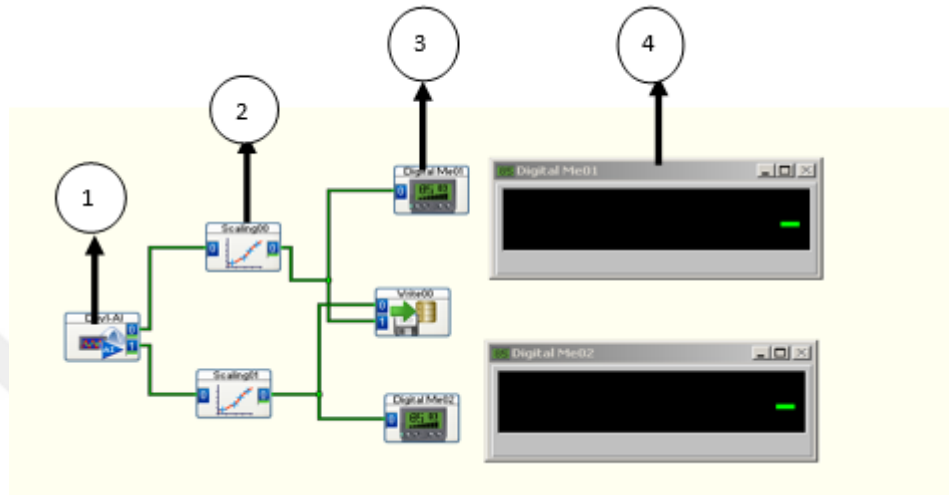


Şekil 6.6. Torna tezgahında oluşan kuvvetlerin bilgisayara aktarılması için oluşturulan pano

1. İndikatörler
2. Güç kaynağı
3. USB-1608G sinyal çevirici

DasyLab programında verilen aktarılmasını sağlayan program Şekil 6.7.’da gösterilmiştir. Programda elektronik olarak alınan verilerin bilgisayara dijital olarak aktarımını yapmak ve bu değerlerin bir gösterge yardımıyla dijital olarak gösterimini sağlamak amacıyla aşağıdaki program yapılmıştır.

1. Elektronik değerleri dijital eviren komut
2. İstenilen değer aralığını görmek için skala komutu
3. Dijital değeri ekranda görmek için dijital ekran komutu
4. Değerleri dijital olarak gösteren ekran



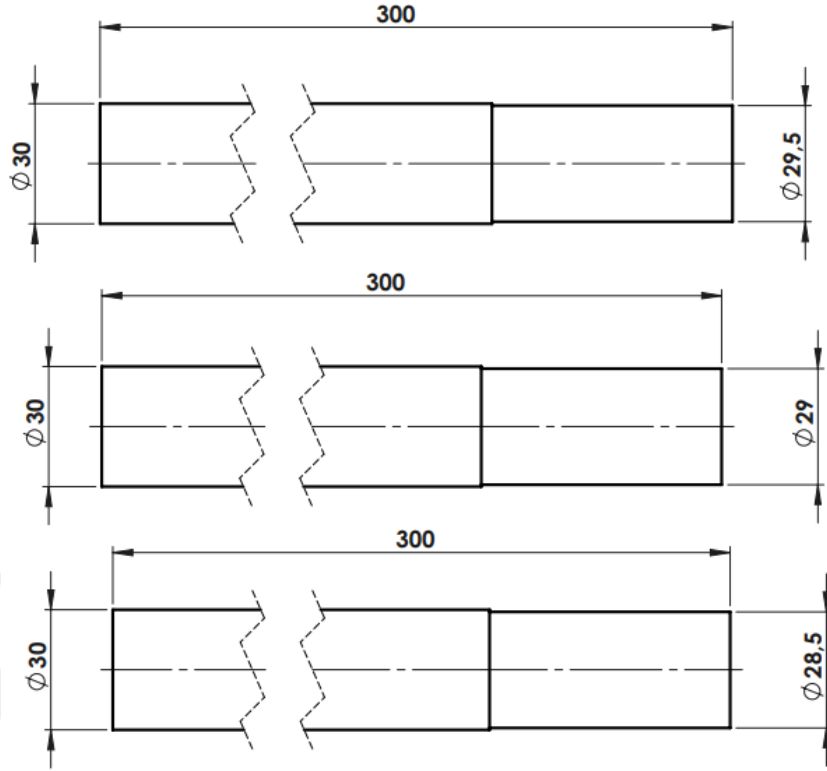
Şekil 6.7. Veri aktarımı sağlayan programın yazılımı

6.8. Deneysel alışma

Deneysel çalışmalarda tornada Alüminyum 5083 silindirik numunelerden yararlanılmıştır. Çalışmada kullanılan numunelerin hepsi aynı çap ve uzunlukta olup her bir parçanın işlenmesinde bağlama şekli ve işleme şekilleri aynı tutulmuştur. Deneylein hangi şartlarda gerçekleştirildiği Tablo 6.1.'de verilmiştir.



Şekil 6.8. Deneyleerde işlenmiş alüminyum numunesi



Şekil 6.9. Numunelerin işlenmiş hallerinin teknik resimleri

Tablo 6.1.'deki veriler esas alınarak bunlar üzerinde sonuç ve değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir.

Tablo 6.1. Tornada Kesme Şartları

	İŞ PARÇASI ÇAPI	DEVİR SAYISI	TALAŞ DERİNLİĞİ	İLERLEME HIZI m/sn
1. DENEY	Ø 30	1000	0,5 mm	100
	Ø 30	1500	0,5 mm	100
	Ø 30	2000	0,5 mm	100
2. DENEY	Ø 30	1000	0,5 mm	100
	Ø 30	1000	1 mm	100
	Ø 30	1000	1,5 mm	100
3. DENEY	Ø 30	1000	0,5 mm	100
	Ø 30	1000	0,5 mm	200
	Ø 30	1000	0,5 mm	300

6.9. Deneylerde Kullanılan Takım Tezgâhı

Deneyler Fanuc kontrol ünitesine sahip TAKISAWA NEX 110 sanayi tipi CNC torna tezgahında yapılmıştır. Bu tezgahın özellikleri Tablo 6.3.'te verilmiştir. Deney numunesi CNC torna tezgahında aynaya bağlanıp farklı talaş derinlikleri, farklı ilerleme hızları ve farklı devir sayılarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Cnc torna tezgahının resmi Şekil 6.10.'da gösterilmiştir.



Şekil 6.10. Deneylerde kullanılan cnc torna tezgâhı

Tablo 6.2. Takisawa Nex 110 cnc torna tezgahı özellikleri

X eksen	400 mm
Z eksen	600 mm
Tezgah gücü	18,5 kw
Maksimum iş parçası bağlama ölçüleri	Ø400x600
Devir sayısı (max)	3500 rpm
Hidrolik ayna çapı	250 mm
Hassasiyet	0,001 mm
Taret, takım bağlama kapasitesi	12

6.10. Yüzey Pürüzlülük Cihazı ve Ölçme Şartları

Numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri (R_a - μm) yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı (Mahr MarSurf PS1) ile ölçülmüştür. Şekil 6.11.'de yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı görülmektedir.



Şekil 6.11. TIME TR-200 Portatif yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.

Tablo 6.3. Yüzey pürüzlülük ölçme cihazı teknik özellikleri

Model	Marsurf PS1
Ölçme Aralığı μm	350
Ölçme Kuvveti	Ca. 0,7 mN
Uç malzemesi	Elmas
Kalibrasyon fonksiyonu	Dinamik, R_a , R_z , R_{sm}
Boyutlar H x W x TD	140 x 50 x 70

BÖLÜM 7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

7.1. Kesme ve İlerleme Kuvveti Deney Sonuçları

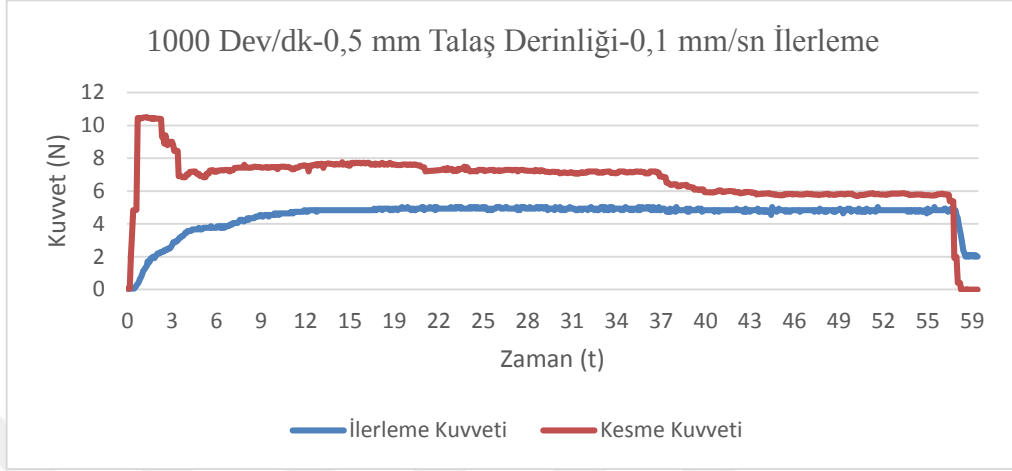
Deneyler 3 farklı işleme şartlarında yapılmıştır. Bu deneylerde devir sayısının, talaş derinliğinin ve ilerleme hızının kesme ve ilerleme kuvvetine nasıl etki edeceği ve yüzey pürüzlülüğüne nasıl etki edeceğinin incelenmesi amaçlanmıştır. Deneylerde elde edilen veriler dasylab programıyla kayıt altına alınıp Microsoft excel programıyla grafiklere dökülmüştür. Deneylerin herbir parametresi numaralandırılmış olup gerçekleştirilen deney sırasına göre isimlendirilmiştir.

İlk Deneyde devir sayısındaki değişikliğin kesme ve ilerleme kuvvetine nasıl etki ettiği incelenmiştir. Bu kapsamda 30 çapındaki al 5083 malzemeye aynı şartlarda önce 1000 dev/dk da daha sonra 1500 dev/dk da en son olarak 2000 dev/dk da 0,5 mm talaş derinliğinde 0,1 mm/ sn ilerleme hızında deneyler gerçekleştirilmiştir. Ölçülen kuvvetler Şekil 7.1.'de gösterilmiştir.

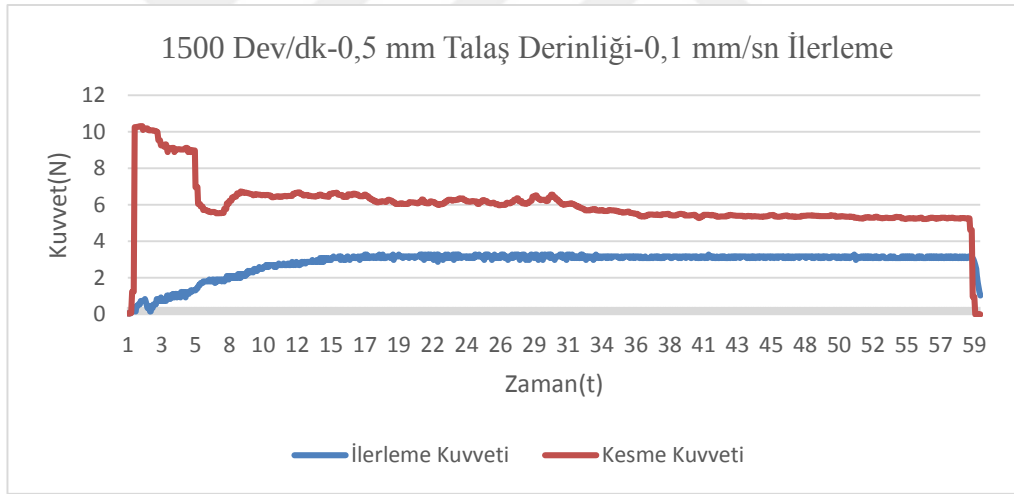
İkinci deneyde talaş derinliğindeki değişikliğin kesme ve ilerleme kuvvetine nasıl etki edeceği incelenmiştir. 30 çapındaki al 5083 malzememeye devir sayısı ve ilerleme hızı sabit tutularak talaş derinliği değiştirilmiştir. 1000 dev/dk da 0,1 mm/sn ilerleme hızında önce 0,5 mm ardından 1mm en son ise 1,5 mm paso verilerek çıkan değerler incelenmiştir. Ölçülen kuvvetler Şekil 7.2.'de verilmiştir.

Son deneyde ise ilerleme hızındaki değişikliğin kesme ve ilerleme kuvvetine nasıl etki edeceği incelenmiştir.30 çapındaki al 5083 malzemeye devir sayısı ve talaş derinliği sabit tutularak ilerleme hızları değiştirilmiştir. 1000 dev/dk da 0,5 mm talaş derinliği verilerek önce 0,1 mm / sn ardından 0,2mm / sn son olarak ise 0,3 mm/sn

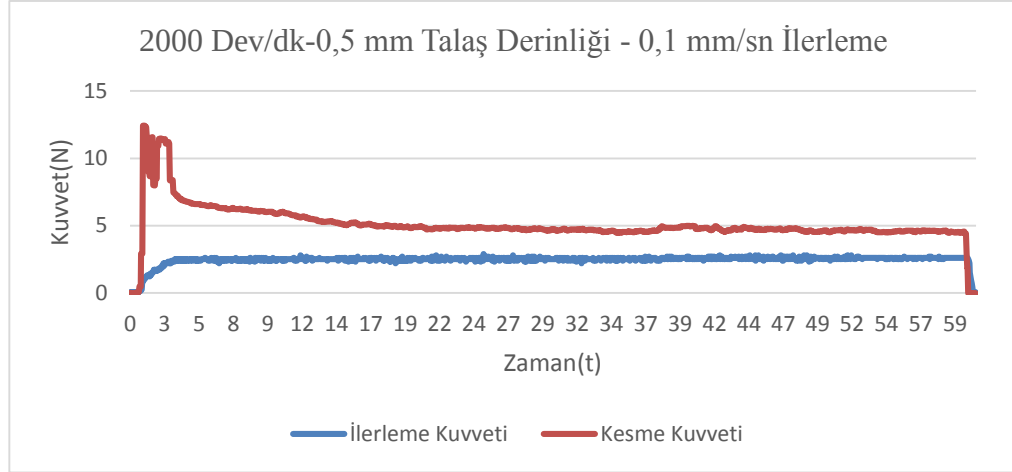
ilerleme hızları verilerek kesme ve ilerleme kuvvetlerindeki değişiklikler incelenmiştir. Ölçülen kuvvetler Şekil 7.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 7.1. 1000 dev/dk-0,5 mm talaş derinliği-0,1mm/sn ilerleme hızı

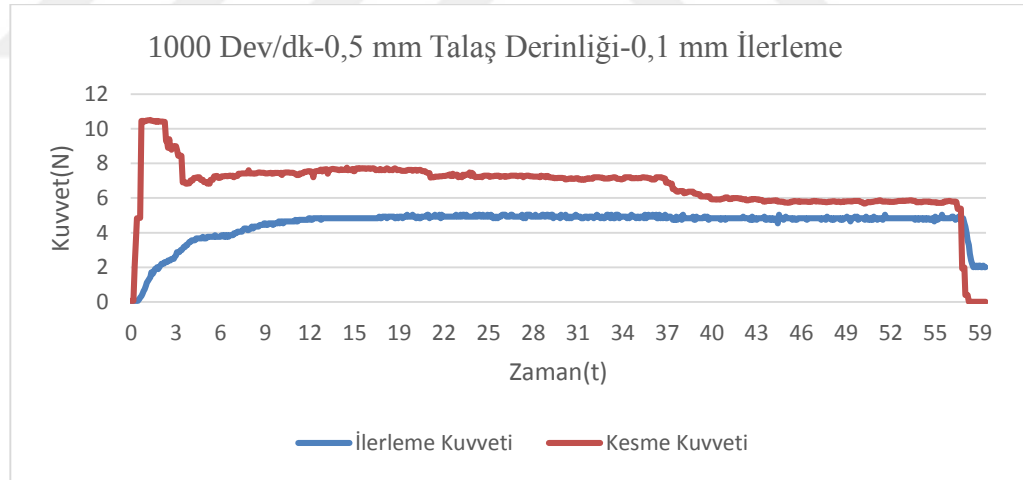


Şekil 7.2. 1500 dev/dk-0,5 mm talaş derinliği-0,1mm/sn ilerleme hızı

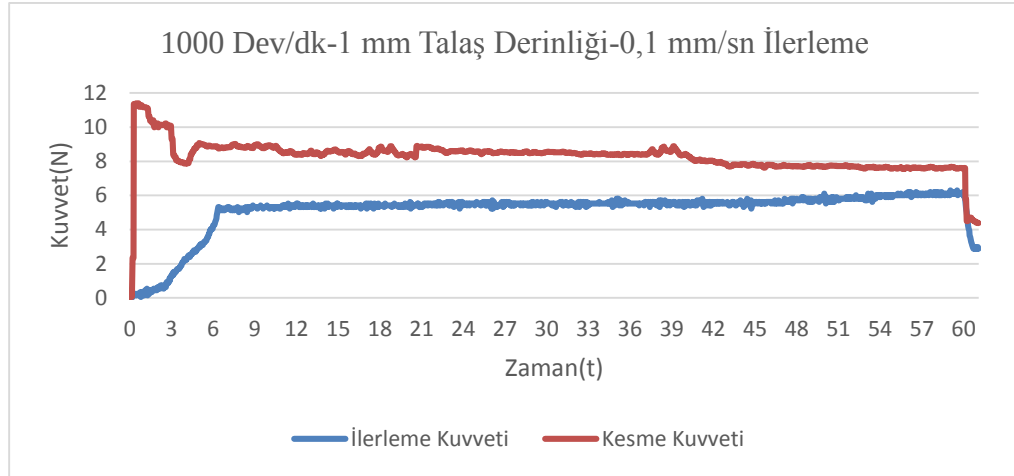


Şekil 7.3. 2000 dev/dk - 0,5 mm talaş derinliği - 0,1mm/sn ilerleme hızı.

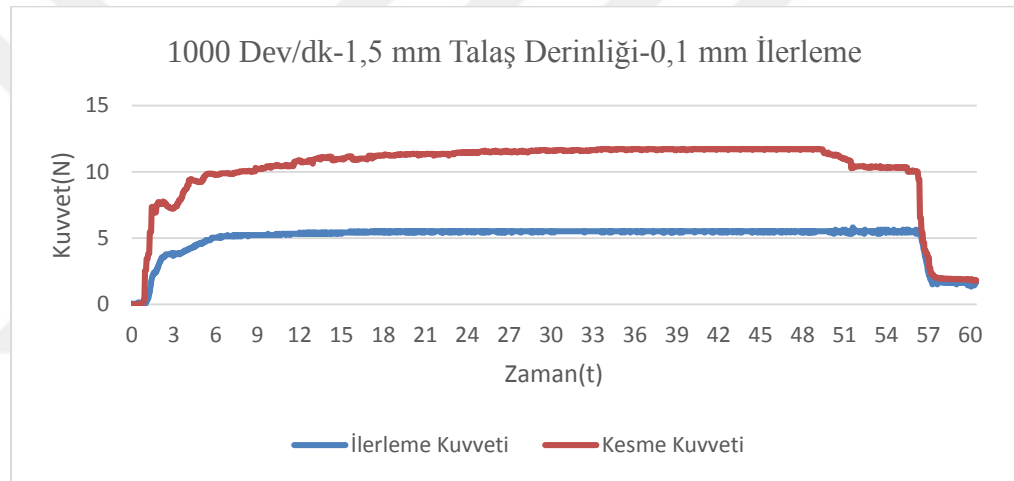
Deneylerde devir sayısının artmasının kesme ve ilerleme kuvvetini azalttığı görülmektedir. En düşük kuvvet 2000 dev/dk devir sayısının olduğu deneylerde gözlemlenmiştir.



Şekil 7.4. 1000 dev/dk-0,5 mm talaş derinliği-0,1mm/sn ilerleme hızı

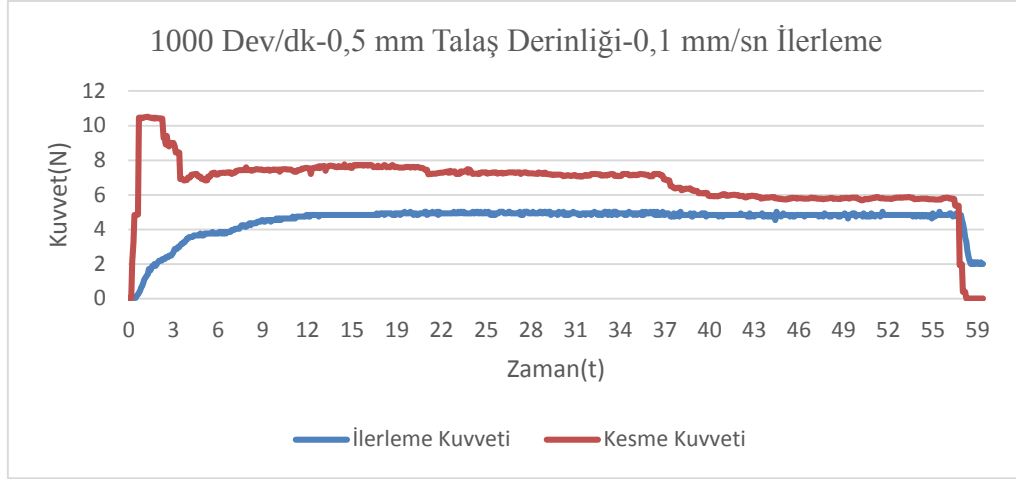


Şekil 7.5. 1000 dev/dk-1 mm talaş derinliği-0,1mm/sn ilerleme hızı

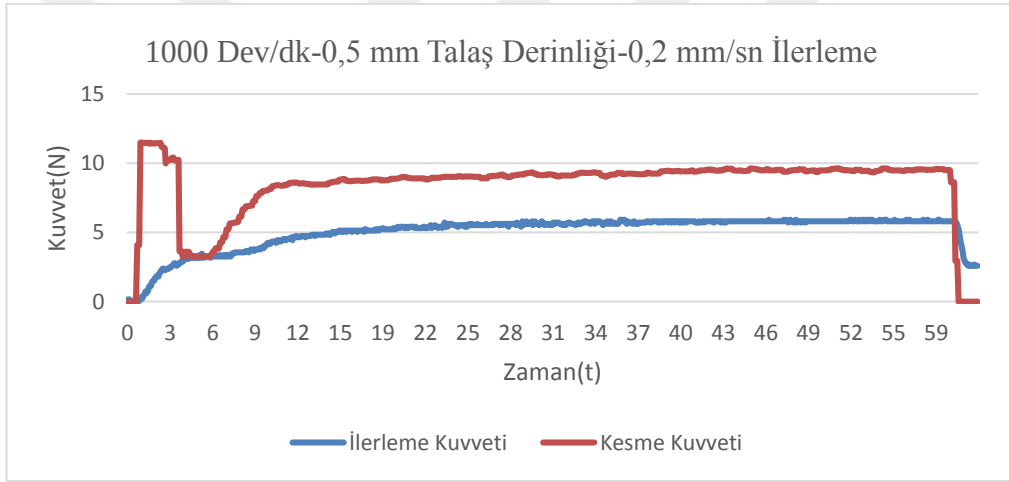


Şekil 7.6. 1000 dev/dk-1,5 mm talaş derinliği-0,1mm/sn ilerleme hızı

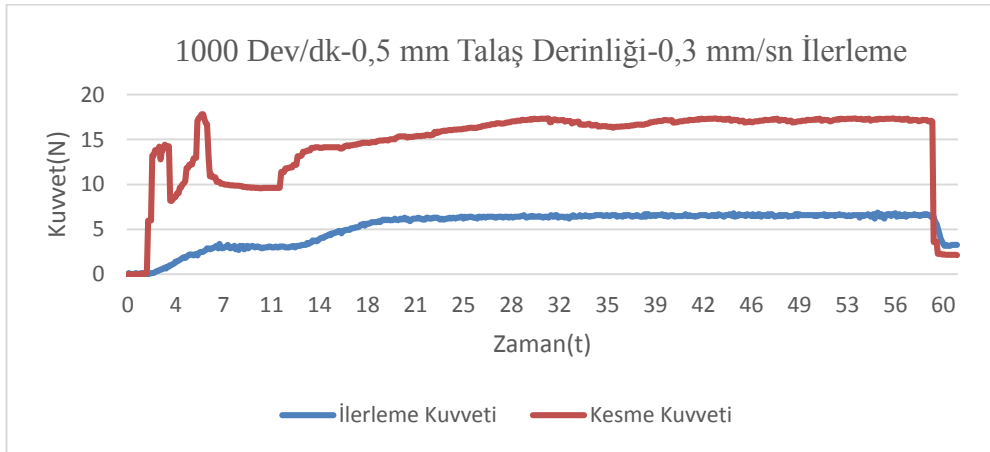
Deneylerde talaş derinliği arttıkça kesme ve ilerleme kuvvetinin de arttığı görülmektedir. Daha fazla talaş kalılabilmek için daha çok güç harcanmıştır. En optimum kesme şartlarının düşük talaş derinliğinde olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 7.7. 1000 dev/dk-0,5 mm talaş derinliği-0,1mm/sn ilerleme hızı



Şekil 7.8. 1000 dev/dk-0,5 mm talaş derinliği-0,2mm/sn ilerleme hızı

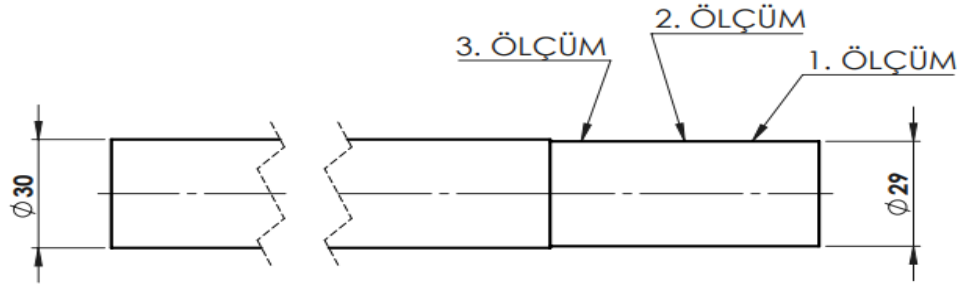


Şekil 7.9. 1000 dev/dk-0,5 mm talaş derinliği-0,3mm/sn ilerleme hızı

Deney sonuçlarına göre ilerleme hızı arttıkça kesme kuvveti ve ilerleme kuvvetinde artma gözlemlenmiştir.

7.2. Yüzey Pürüzlülük Deney Sonuçları

Tornada deney şartları belirtilen şartlarda işlenen parçalar yüzey pürüzlülük cihazında 3 farklı noktada ölçüm alınarak yazılmıştır. Ölçüm sonuçları Ra- μ m cinsinden aşağıdaki tabloda yazılı olarak verilmiştir.



Şekil 7.10. Yüzey Ölçümü yapılan bölgelerin gösterimi

Tablo 7.1. Devir sayısındaki artışın yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi

	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm
Deney No 1-1	0,748	0,795	0,715
Deney No 1-2	0,588	0,600	0,614
Deney No 1-3	0,441	0,413	0,464

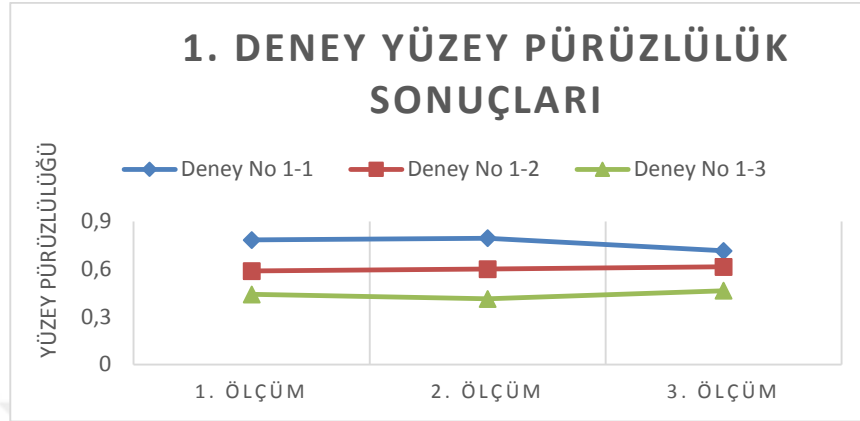
Tablo 7.2. Talaş derinliğindeki artışın yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi

	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm
Deney No 2-1	0,748	0,795	0,715
Deney No 2-2	0,757	0,804	0,716
Deney No 2-3	0,978	0,887	0,898

Tablo 7.3. İlerleme hızındaki artışın yüzey pürüzlülüğüne etkisi

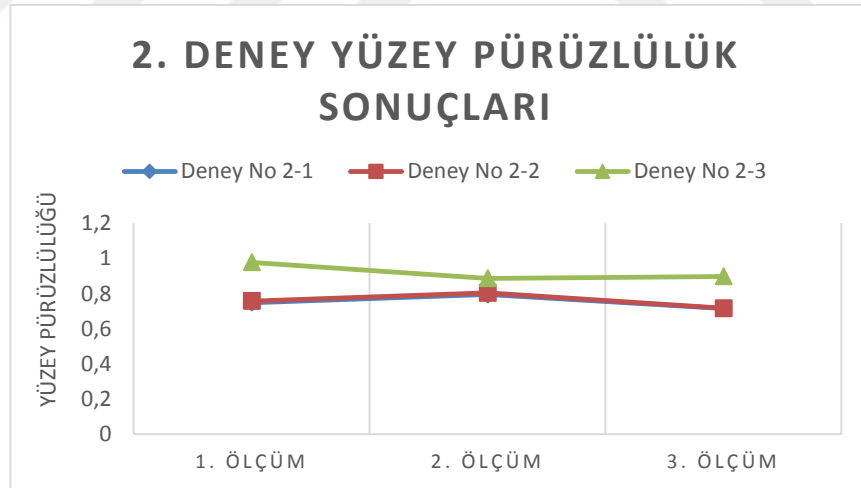
	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm
Deney No 3-1	0,748	0,795	0,715
Deney No 3-2	3,017	2,820	2,492
Deney No 3-3	3,357	2,869	3,089

Deneylerde elde edilen talaş resimleri ve kesici uç resimleri daha sonra incelenmek üzere kayıt altına alınmıştır. Şekil 7.14.'te, Şekil 7.15.'te ve Şekil 7.16.'da gösterilmiştir.



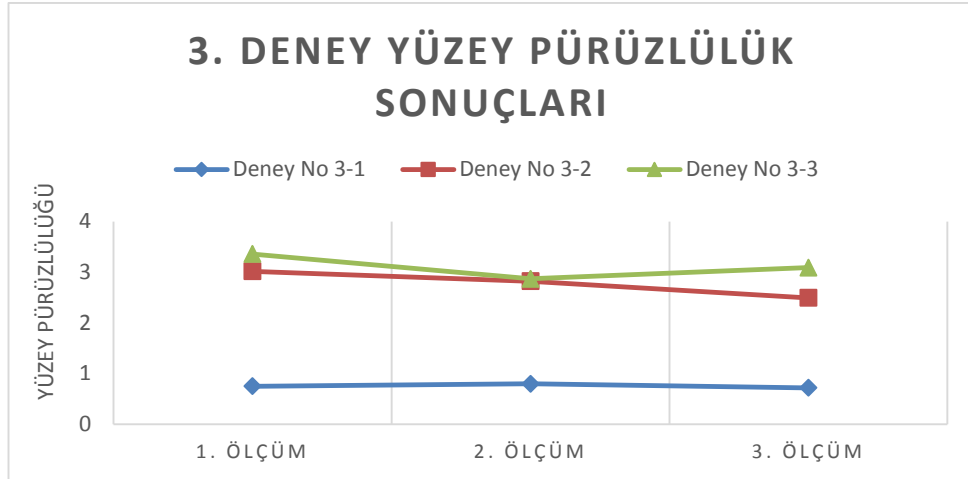
Şekil 7.11. Devir sayısındaki artışın yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi

Bu deneyde devir sayısındaki değişimin yüzey pürüzlülüğüne olan etkisinin grafiksel olarak incelenmesi gösterilmiştir. Devir sayısı arttıkça yüzey pürüzlülüğü azalmıştır.



Şekil 7.12. Talaş derinliğindeki artışın yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi

Bu deneyde talaş derinliğindeki artışın yüzey pürüzlüklüklerine etkisi grafiksel olarak gösterilmiştir. Talaş derinliği arttıkça yüzey pürüzlülüğü artmıştır.



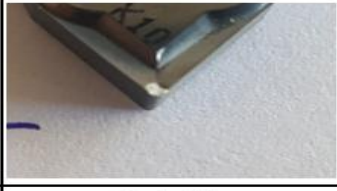
Şekil 7.13. İlerleme hızındaki artışın yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi

Bu deneyde ilerleme hızındaki artışın yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi grafiksel olarak gösterilmiştir. İlerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğü artmıştır.

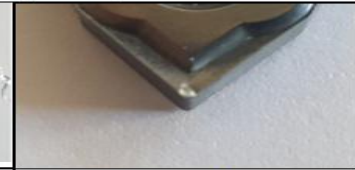
7.3. Deneyler Sonucunda Elde Edilen Talaş Ve Kesici Uç Resimleri

1000 dev/dk-0,5 mm talaş derinliği-0,1 mm/sn ilerleme hızı	
Talaş Resimleri	Kesici Uç
1500 dev/dk-0,5 mm talaş derinliği-0,1 mm/sn ilerleme hızı	
Talaş Resimleri	Kesici Uç
2000 dev/dk-0,5 mm talaş derinliği-0,1 mm/sn ilerleme hızı	
Talaş Resimleri	Kesici Uç

Şekil 7.14. Devir sayısındaki artışın talaş şekillerine ve kesici uca üzerindeki etkisi

1000 dev/dk-0,5 mm talaş derinliği-0,1 mm/sn ilerleme hızı	
	
Talaş Resimleri	Kesici Uç
1000 dev/dk-1 mm talaş derinliği-0,1 mm/sn ilerleme hızı	
	
Talaş Resimleri	Kesici Uç
1000 dev/dk-1,5 mm talaş derinliği-0,1 mm/sn ilerleme hızı	
	
Talaş Resimleri	Kesici Uç

Şekil 7.15. Talaş derinliğindeki artışın talaş şekillerine ve kesici uca etkisi

1000 dev/dk-0,5 mm talaş derinliği-0,1 mm/sn ilerleme hızı	
	
Talaş Resimleri	Kesici Uç
1000 dev/dk-0,5 mm talaş derinliği-0,2 mm/sn ilerleme hızı	
	
Talaş Resimleri	Kesici Uç
1000 dev/dk-0,5 mm talaş derinliği-0,3 mm/sn ilerleme hızı	
	
Talaş Resimleri	Kesici Uç

Şekil 7.16. İlerleme hızındaki artışın talaş şekillerine ve kesici uca etkisi

Kesici uçlar incelendiğinde kesme – ilerleme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü doğru orantılı olarak aşınmaları gözlemlenmiştir. Talaş şekilleri ISO sınıflandırılmasına göre incelendiğinde 1000 dev/dk - 0,5 mm talaş derinliği - 0,1 mm/sn ilerleme hızındaki talaş şekilleri, 1000 dev/dk – 1 mm talaş derinliği – 0,1 mm/sn ilerleme hızındaki talaş şekilleri ve 1500 dev/dk – 0,5 mm talaş derinliği – 0,1 mm/sn ilerleme hızındaki şekillerinin helisel talaş şekilleri sınıflandırılmasında olduğu görülmüştür. Helisel talaş, talaş şekilleri arasında kabul edilebilir olarak gösterilmiştir. Diğer deneylerde oluşan talaş şekillerinde ise 2000 dev/dk- 0,5 mm talaş derinliği - 0,1 mm/sn ilerleme hızı ve 1000 dev/dk - 1,5 mm talaş derinliği - 0,1 mm/sn ilerleme hızındaki deneylerde oluşan talaş şekillerinin dolaşık talaş olarak oluştuğu görülmüştür. 1000 dev/dk-0,5 mm talaş derinliği 0,2 mm/sn ilerleme hızındaki deney ile 1000 dev/dk-0,5 mm talaş derinliği-0,3 mm/sn ilerleme hızındaki deneylerde ise talaş şekillerinin sarmal talaş sınıflandırılmasına girdiği tespit edilmiştir. Dolaşık talaş ve sarmal talaş, talaşların sınıflandırılmasında kararsız olarak kabul edilmektedir. Son olarak talaş şekilleride incelendiği zaman tüm sonuçların bir bütün içinde birbirlerini destekler nitelikte olduğu görülmüştür.

BÖLÜM 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

5083 alaşımlı alüminyumun cnc torna tezgahında farklı devir sayıları, farklı talaş derinlikleri ve farklı ilerleme hızlarında işlenerek oluşacak kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi sonucunda elde edilen bulgular aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Deneylerde devir sayısının artması kesme kuvvetini ve yüzey pürüzlülüğünü azaltmıştır. 1. Deneyde en yüksek kesme kuvveti 1000 dev/dk da yapılan deneyde meydana gelmiştir. Oluşan yüzey pürüzlülüğü ölçümünde bu sonucu desteklemektedir.
- Talaş derinliğinin artması kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü arttırmıştır. En yüksek kesme kuvveti 1,5 mm talaş derinliğinde meydana gelmiştir. Yine aynı şekilde yüzey pürüzlülük değerlerine bakıldığında en yüksek yüzey pürüzlülük değerinin 1,5 mm talaş derinliğinde meydana geldiği görülmüştür.
- İlerleme hızının artması kesme kuvvetini ve yüzey pürüzlülüğünü arttıran sebeplerden biri olduğu yapılan deneyler sonucunda görülmüştür. En yüksek kesme kuvveti 0,3mm/sn ilerleme hızında yapılan deneyde meydana gelmiştir. En yüksek yüzey pürürlülüğüde yine bu deneyde görülmüştür.
- Deneylerde en optimum sonuçlar 2000 dev/sn 0,5mm talaş derinliği ve 0,1 mm/sn ilerleme hızında gerçekleşmiştir. Bu deneyde 5083 alüminyum malzemenin yüzey pürüzlülüğü 0,441 Ra- μ m olarak ölçülmüştür. En düşük kesme kuvveti 50 newton en düşük ilerleme kuvveti 22 newton ile bu deneyde ölçülmüştür.
- Deneylerde en olumsuz sonuçlar 1000 dev/sn 0,5 mm talaş derinliği ve 0,3 mm/sn ilerleme hızında gerçekleşmiştir. Bu deneyde ise 5083 alüminyum malzemede ölçülen yüzey pürüzlülüğü değeri 3,357 Ra- μ m olarak

ölçülmüştür. Kesme ve ilerleme kuvveti açısından en yüksek değerler yine bu deneylerde ölçülmüştür. En yüksek kesme kuvveti 172 newton dur.

- Elde edilen bulgular incelendiğinde yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçlarıyla kesme ve ilerleme kuvveti sonuçlarının bir tutarlılık içinde olduğu görülmektedir. Buda deneylerde kullanılmak üzere tasarlanıp imalatı yapılan dinamometrenin doğruluğunu göstermektedir.
- Deneylerin sonucunda kesici uçlar incelendiğinde kesme ve ilerleme kuvvetindeki artış kesici form üzerinde gözle görülebilir bir aşınma meydana getirmiştir.
- Talaş şekilleri, kesici uç formları yüzey pürüzlülükleri, kesme ve ilerleme kuvvetleri bir bütün halinde incelendiğinde cnc torna tezgâhında kesici takım ömrünü ve tezgâh verimliliğini arttırmak için kullanılcak olan yöntemin yüksek devir, düşük talaş derinliği ve düşük ilerleme hızı olduğu görülmüştür.

Cnc torna tezgâhlarında kuvvet ölçümü için dinamometre tasarlanıp kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü ölçmeyi amaçlayan bu tez daha sonra yapılacak çalışmalara yönelik öngörülen öneriler ışında daha da geliştirelebilir.

- Kesme işlemi sırasında farklı soğutma sıvıları kullanılarak, bu soğutma sıvılarının kesme kuvvetine ve yüzey pürüzlülüğü incelenebilir.
- Farklı bir alüminyum alaşımı deneylere katılarak iki alaşım arasındaki farklar incelenip kesme kuvvetinin artmasının yüzey pürüzlülüğüne olan etkisinin farklı alaşımlarda oluşturduğu etki incelenebilir.
- Kullanılan kesici uç formunun açıları değiştirilerek yüzey pürüzlülükleri incelenebilir.
- Deneylerde taguchi metodu kullanılarak daha çok deney sonucu ortaya çıkartılıp sonuçlar incelenebilir.
- Talaş kayma açıları değiştirilerek farklı talaş kayma açılarının yüzey pürüzlülüğüne ve kesme kuvvetine etkisi incelenip Merchant modeli ile sonuçlar teorik olarak karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Akkurt, M. 1996. Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Kesici Takımlar, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Akkurt, M. 1996. Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları, İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi, İstanbul.
- Aksoy, Z., Otmanbölük, N., Ay, I. 1987, "Tornalamada Kesme Kuvvetlerinin Ölçümü İçin Oktogonal-Ring Dinamometresi Tasarımı", Malzeme ve İmalat Sempozyumu, Dokuz Eylül Üniversitesi, Denizli.
- Avuncan, G. 1996. Talaş Kaldırma Ekonomisi ve Kesici Takımlar, Makine Takımları Endüstrisi.
- Çakır, C. 2000. "Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri", Vipaş.A.Ş, Bursa.
- Çiğdem, M. 1996. İmal Usulleri, Çağlayan Kitapevi, İstanbul.
- De Garmo, E.P., Black, J.T. and Kohser, R.A. 1997. "Materials and processes in manufacturing", Prentice-Hall Inc., New Jersey, 214-652.
- Günay M. 2003 "Talaş Kaldırma İşlemlerinde Kesici Takım Talaş Açısının Kesme Kuvvetlerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-49.
- Gygax, P.E. 1980. "Experimental Full Cut Milling Dynamics", Annals of the CIRP, Vol. 29/1, pp. 61-66.
- Hamid, A., Ali, Y. 1995. "Experimental Determination Of Dynamic Forces During Transient Orthogonal Cutting", Journal of Materials Processing Technology, Vol.55.
- Işık, Y. 1995. "Torna Tezgahında Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi ve Analizi İçin Bir Kuvvet Ölçer Tasarımı ve İmalatı", Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Inasaki, ve Sukkvittayawong, 1991. "Optimization Of Turning Process By Cutting Force Measurement", JSME International Journal, Series III, Vol.34.

- Jeong Y.H., Cho D.W. 2002. "Estimating Cutting Force From Rotating and Stationary Feed Motor Currents on a Milling Machine", International Journal of Machine Tools & Manufacture, 42, 1559–1566.
- Karabay, M., Karabay, S. 1986. "Takım Tezgahları İçin Dinamometre Tasarımı", 2. Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, ODTÜ, Ankara.
- Kavlak, K. 1993. "Normal ve Kesme Kuvvetlerini Ölçmek İçin Bir Dinamometre Dizaynı", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Korkut, İ. 1996. "Torna Tezgahında Strain Gage İle Ölçüm Yapan Bilgisayar Bağlantılı Dinamometre Tasarımı ve İmalatı", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- (Köksal, 2000) Köksal, S, "Face milling of nickel-based superalloys with coated and uncoated carbide tools", PhD Thesis, School of Engineering, Coventry University, England, Coventry.
- Kuzu, C., Fank, S., Doğan, Ç., Parlaktürk, H. 1999. "Kuvvet Ölçme Cihazlarının Ölçüm Belirsizliği", III. Ulusal Ölçümbilim Kongresi, Eskişehir, 113-118.
- Özdemir, H. 2006. "Tornalama İşleminde Kesme Kuvveti Ölçümünde Kullanılacak Dinamometre Tasarımı ve Üretimi", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Sağlam, H. 2001. "Frezelemede Kesme Parametreleri İle Kesme Kuvvetlerinin Değişimi ve Bunların Takım Aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin deneysel incelenmesi", http://alaeddin.cc.selcuk.edu.tr/~tekbil/Subat_Mayis_2001/haci_saglam/saglam.htm,
- Shaw, M.C. 1984. "Metal Cutting Principles", Oxford Science Publications, Oxford.
- Shaw, M.C. 1984. "Metal cutting principles", Oxford University Press, Oxford, 1-9.
- Shigley, J. E. 1986. "Mechanical Engineering Design", McGraw-Hill 1st edition, Singapore.
- Stein, J.L., Wang, C.H. 1990. "Analysis Of Power Monitoring In Ac Induction Drive Systems", Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control 112, 239–248.
- Şahin, Y. 1999. "Talaş Kaldırma Prensipleri", Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Trent, E.M. 1991. "Metal Cutting", Butterworth-Heinemann Ltd. 3rt edition.

- Turgut, Y. 2007. “Baglama Kalıplarında Baglama Kuvvetlerinin Hesaplanmasında Kullanılan Emniyet Katsayılarının Deneysel Olarak İncelenmesi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yang, S., et al. 1997. “Real-time Cutting Force Induced Error Compensation on a Turning Center”, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 37 (11), 1597–1610.
- Vural, M. 2012 “Üretim Yöntemleri”, <http://web.itu.edu.tr/vuralmu/eut21.pdf>,
- Güllü, A., “Silindirik Taşlamada istenen Yüzey Pürüzlülüğünü Elde Etmek için Taşlama Parametrelerinin Bilgisayar Yardımıyla Optimizasyonu”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 1–5.
- Özses, B., “Bilgisayar Sayısal Denetimli Takım Tezgahlarında Değişik işleme Koşullarının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara, 6-25.
- Bayrak, M., “Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi ve Uzman Sistemle Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 1-35.
- Scar, A. J. T. “Metrology and Precision Engineering”, Mc. Graw-Hill Publishing Company Limited, New York, 126-167.
- Galyer, J.F.W., Shotbolt, C.R., “Metrology For Engineers”, Cassel Publishers Limited, London, 9: 191-194.
- Akkurt, M., “Talaş kaldırma yöntemleri ve takım tezgahları”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 214-221.
- Demir, H., Ulaş, H. ve Zeyveli, M. 2009. Stavax ESR çeliğinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri açısından değerlendirilmesi. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09), Karabük.
- Çakmak, İ. 2013. Frezeleme İşleminde Takım Talaş Kırıcı Formunun Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Kuvvetlerine Etkisinin Deneysel Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara. 1-3.
- Danilevsky, V. 1967. İmalat Mühendisliği. Ankara: (çev. Kantaroğlu, E. B.) Makine Mühendisleri Odası, No:121, 41.
- Şahin, Y. 2001. Talaş Kaldırma Prensipleri. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım, 186- 195.
- Thomas, T.R. 1981. Characterizing of surface roughness. Precision Engng, 1-3 (2), 97-104.

- Sherington, I. and Smith, E.H. 1987. Parameters for characterizing the surface topography of engineering components. Proc. Instn Mech. Engrs, 201 (c4), 297- 306.
- Güllü, A., Özdemir, A. ve Demir, H. 2003. Yüzey pürüzlülüğü ölçme yöntemleri ve mukayesesi. Z.K.Ü. Karabük T.E.F. Teknoloji dergisi, 6(1-2), 79-92.
- Benardos, P.G. and Vosniakos, G.C. 2003. Prediction surface roughness in machining a review. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 43, 833-844.
- Akkurt, M. 2000. Talaş kaldırma yöntemleri ve takım tezgahları. İstanbul: Birsen Yayınevi, 104-105.
- Sandvik, 1996. Modern metal cutting-a practical handbook. Sweden: Sandvik Coromant, Sandviken, V1, 18-24.
- Thomas, T.R. and Charton, G. 1981. Variation of roughness parameters on same typical manufactured surfaces. Precision Engineering, 3(2), 91-96.
- King, T.G., Spedding, T.A. 1982. On the relationships between surface profile height parameters. Wear, 83, 91-108.
- Scarr A.J.T. 1991. Metrology and Precision Engineering. New York: Mc. Graw- Hill, 56-68.
- Bayrak, M. 2002. Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi ve Uzman Sistemle Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,1-35.
- Özses, B. 2002. Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 6-25.63.
- Yang, J.L. and Chen, J.C. 2001. A systematic approach for identifying optimum surface roughness performance in end-milling operations. Journal of Industrial Technology, 17(2), 2-8.
- Raju, I.S., Newman, J.C., “Stress-Intensity Factors for a Wide range of Semielliptical Surface Crack in Finite-Thickness Plates”, Engineering Fracture Mechanics, Vol.11, 817-829, 1992.
- Behnam D., Ghalom H. P., Mohammad R. E., “Cutting Forces in Dry Machining of Aluminum Alloy 5083 with Carbide Tools”, 2012.

ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında İstanbul'da doğdu. Lise öğrenimini Bahçelievler Anadolu Lisesinde tamamladıktan sonra 2008 yılında Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine ve İmalat Mühendisliği'nde eğitime başlayıp 2012 yılında mezun oldu. 2012 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü Tasarım ve İmalat Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2012-2013 yılları arasında Kiwa Meyer Belgelendirme Hizmetleri A.Ş.'de Teknik Mühendis olarak görev yapmıştır. 2014 yılından beri Utku Otomasyon Makine Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.'de çalışmaktadır.